



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Desidratador de pequeno porte para castanhas

André Filipe Nepomuceno Pires

Tese apresentada à:

Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Instituto Politécnico de Bragança

para obtenção do grau de Mestre em:

Engenharia Industrial

Área de especialização em Engenharia Mecânica

maio de 2021

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Desidratador de pequeno porte para castanhas

André Filipe Nepomuceno Pires

Tese apresentada à:

Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Instituto Politécnico de Bragança

para obtenção do grau de Mestre em:

Engenharia Industrial

Área de especialização em Engenharia Mecânica

Orientador:

Prof. Dr. Luís Frólén Ribeiro

maio de 2021

Dedico este trabalho aos meus pais,
à minha família e aos meus amigos que estiveram
sempre ao meu lado e me ajudaram à conclusão
desta etapa importante da minha vida.

Agradecimentos

Agradeço às pessoas mais importantes da minha vida, pais e restante família, por todo o apoio que me proporcionaram e todas as palavras essenciais que me levaram à conclusão deste projeto.

Quero agradecer também ao meu orientador Prof. Doutor Luís Frólén Ribeiro pela excelente orientação, pelas palavras de incentivo, a sua disponibilidade, as valorosas indicações e pelas ajudas fornecidas durante a preparação deste projeto. Estou-lhe muito grato por todo o conhecimento transmitido e por todas as experiências partilhadas ao longo do meu percurso académico.

Por último, mas não menos importante, não poderia deixar de agradecer aos meus amigos próximos e colegas por toda a sua amizade, companheirismo, solidariedade e espírito de entajuda que sempre houve entre nós, ajudando assim à conclusão de todas as etapas ao longo do curso.

A todos eles, o meu mais sincero Muito Obrigado!

Resumo

Esta tese consiste num dimensionamento e projeto de um desidratador de pequeno porte para castanhas que seja de baixo custo de aquisição, de pouca manutenção e funcional, tendo este a capacidade de desidratar 1000 kg de castanha. O intuito deste projeto é beneficiar o agricultor europeu de castanhas, as cooperativas agrícolas e as pequenas indústrias, aumentando o valor agregado do produto final sendo este superior à venda das castanhas *in natura*.

Assim o sistema é composto por um projeto estrutural e um projeto térmico, sendo que o projeto estrutural é toda a estrutura e mecanismo da câmara de desidratação, projetada em coluna com 5 patamares, sendo os 4 primeiros onde ocorre o processo de desidratação, cada um com a capacidade de 250 kg de castanhas. As castanhas são inseridas no patamar superior e através de um mecanismo mecânico manual de comportas passam de patamar em patamar atingindo os valores de 6 % a 8 % de humidade pretendidos no fim do processo. O tempo previsto para o processo completo da desidratação dos 1000 kg de castanha será cerca de 8 horas, 2 horas por cada patamar.

O projeto térmico é o sistema e os equipamentos que tornaram possível o aquecimento do ar e a sua condução para o interior da câmara de desidratação. Começando assim pela bomba de calor da marca BOSCH com o modelo COMPRESS 6000 AW-17t com a potência mecânica de 17 kW, é ela a responsável pelo aquecimento de água à temperatura de 55 °C e por sua vez armazenada num depósito de inércia da marca TESHY com o modelo V200 60 F40 P4 com a capacidade de 200 litros. Para a indução do ar na câmara recorreu-se a uma caixa de ventilação da marca SODECA com o modelo CMR-1445-2T IE3 que força o ar por uma conduta e ao passar pelo permutador de calor da marca TDA com o modelo 27T-750L-3F, este com a capacidade térmica de 71.30 kW, o ar é aquecido e segue à temperatura de cerca 45 °C até à câmara de desidratação dando início ao processo de desidratação.

Palavras Chaves: desidratação de castanhas, bomba de calor, câmara de desidratação, caixa de ventilação, permutador de calor, depósito de inércia.

Abstract

This thesis consists of the sizing and design of a small dehydrator for chestnuts, that has a low cost of acquisition, low maintenance, but is functional, with the capacity to dehydrate 1000 kg of chestnuts. The aim of this project is to benefit the European chestnut farmer, agricultural cooperatives, and small industries, increasing the added value of the final product, this being superior to the sale of chestnuts in natura.

Thus, the system is composed of a structural project and a thermal project, being that the structural project is the entire structure and mechanism of the dehydration chamber, designed in column with 5 levels, the first 4 being where the dehydration process occurs, per each with the capacity of 250 kg of chestnuts. The chestnuts are inserted in the upper level and through a manual mechanical mechanism of gates that move them from level to level reaching the values of 6% to 8% humidity desired at the end of the process. The time foreseen for the complete process of dehydration of the 1000 kg of chestnut will be about 8 hours, 2 hours for each level.

The thermal design is the system and the equipment that made it possible to heat the air and conduct it into the dehydration chamber. Starting with the BOSCH heat pump with the model COMPRESS 6000 AW-17t with the mechanical power of 17 kW, responsible for heating water at a temperature of 55 °C and storing it in an TESY inertia tank, model V200 60 F40 P4, with the capacity of 200 liters. For the induction of air in the chamber, was used a SODECA ventilation box, model CMR-1445-2T IE3, that forces the air through a conduct and when passing through the TDA heat exchanger, model 27T-750L-3F, that has the thermal capacity of 71.30 kW, the air is heated up to 45 °C, following the dehydration chamber and finally starting the dehydration process.

Keywords: small dehydrator for chestnuts, heat pump, dehydration chamber, ventilation box, heat exchanger, inertia tank.

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVOS	1
1.2. ENQUADRAMENTO	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	3
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
2.1. ESTADO DA ARTE	4
2.1.1. O fruto - Castanha.....	4
2.1.2. Produção mundial	4
2.1.3. Produção portuguesa	5
2.1.4. Potencial económico	7
2.1.5. Métodos de 1ª transformação da castanha.....	7
2.1.5.1. História da desidratação	8
2.1.5.2. Definição da desidratação	8
2.1.5.3. Vantagens da desidratação	9
2.1.5.4. Desidratação natural.....	9
2.1.5.5. Desidratação artificial	10
2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	10
2.2.1. Calor	10
2.2.1.1. Calor sensível.....	11
2.2.1.2. Calor latente	11
2.2.1.3. Calor específico	12
2.2.1.4. Potência térmica.....	12
2.2.2. Perda de carga.....	12
2.2.3. Bomba de calor	14
2.2.4. COP.....	18
2.2.5. Exemplo de máquina.....	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1. ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO 2D	21
3.2. PROJETO ESTRUTURAL	23
3.2.1. Câmara de desidratação	23
3.2.2. Comportas de descarga	25
3.2.3. Envolvente	26
3.3. SISTEMA TÉRMICO.....	27
3.4. POTÊNCIA TÉRMICA.....	28
3.5. PERDA DE CARGA	31

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1. SELEÇÃO DA BOMBA DE CALOR	36
4.2. CAIXA DE VENTILAÇÃO COM PERMUTADOR DE CALOR	37
4.2.1. Caixa de ventilação	38
4.2.2. Permutador de calor ou bateria de aquecimento.....	39
4.3. DEPÓSITO DE INÉRCIA.....	41
4.4. SENSOR DE TEMPERATURA E HUMIDADE	43
4.5. PROJETO FINAL	44
4.6. DESENHOS DE INDIVIDUAIS	46
5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	71
5.1. CONCLUSÕES.....	71
5.2. TRABALHOS FUTUROS	72
REFERÊNCIAS	73
ANEXOS	75
ANEXO A	76
ANEXO B.....	86

Índice de figuras

Figura 1 - Produção, Área de Colheita e Produtividade (2006 a 2010)	5
Figura 2 - Produção Nacional de Castanhas.	6
Figura 3 – Perda de carga em camada de rochas.	13
Figura 4 - Ciclo de compressão do vapor ideal e restantes componentes	15
Figura 5 - Diagrama P-h do ciclo de uma máquina térmica inversa.	17
Figura 6 - Máquina de desidratação da SORTEGEL.....	20
Figura 7 – Esquema de funcionamento do desidratador.	22
Figura 8 – Câmara de desidratação.	24
Figura 9 – Componentes do mecanismo.	26
Figura 10 – Sistema térmico.	27
Figura 11 - Caixa de ventilação SODECA CMR-1445-2T IE3.....	38
Figura 12 - Características da caixa de ventilação.	39
Figura 13 - Permutador TDA 27T-750L-3F.	40
Figura 14 - Sensor de temperatura e humidade TECMISIS SEM 162.	43
Figura 15 – Projeto final.	44

Índice de tabelas

Tabela 1 - Área e produção por Região.	6
Tabela 2 - Características da Bomba de calor.	37
Tabela 3 - Características do permutador de calor.	41
Tabela 4 - Características do depósito de inércia.	42
Tabela 5 - Componentes do projeto final.	45

Abreviaturas

COP – Coeficiente de performance

SI - Sistema internacional de unidades

Símbolos

Símbolos	Descrição	Unidade
A_c	Área da castanha	[m ²]
A_p	Área do patamar	[m ²]
C_c	Comprimento da castanha	[m]
C_p	Comprimento do patamar	[m]
$Cp_{\text{água}}$	Calor específico da água	[kJ/kg*K]
H_c	Altura de uma castanha	[m]
H_{cp}	Altura de castanhas por lote	[m]
$\Delta H_{\text{latente}}$	Calor latente de vaporização da água	[kJ]
L_c	Largura da castanha	[m]
L_p	Largura do patamar	[m]
$m_{\text{água}}$	Massa de água	[kg]
m_{cA}	Massa de castanha por área	[kg]
m_{cp}	Massa de castanhas por patamar	[kg]
N_c	Número de castanhas	[un]
N_f	Número de filas de castanhas	[un]
Q	Energia térmica	[J]
\dot{Q}	Potência térmica	[W]
\dot{q}_m	Caudal mássico do ar	[kg/s]
\dot{q}_v	Caudal volúmico de ar	[m ³ /s]
ρ_{ar}	Massa específica do ar	[kg/m ³]
$\Delta T_{\text{sensível}}$	Variação de temperatura	[°C]
t	Tempo do processo de desidratação	[s]

v	Velocidade do ar	[m/s]
W_{entra}	Trabalho mecânico	[W]

1. Introdução

1.1. Objetivos

O objetivo deste projeto é dimensionar um protótipo de uma máquina de pequeno porte para a desidratação de castanha, com um preço acessível. Este projeto tem como público alvo os agricultores europeus de castanha, as cooperativas agrícolas e as pequenas indústrias europeias. Estes utilizam a castanha desidratada como ingrediente para a produção dos seus produtos alimentares e/ou em outros processos. O foco europeu é principalmente Portugal, Espanha, França e Itália, dado que são os principais produtores de castanha na Europa.

Atualmente, esta primeira transformação não está disponível aos pequenos e médios produtores de castanha, pois os vários processos de 1ª transformação existentes só são explorados pelos produtores de maior dimensão, ou seja, indústrias de transformação específicas com maior capacidade financeira. Estes processos de 1ª transformação aumentam o valor acrescentado da castanha. Os preços elevados das maquinarias necessárias para estes processos são fatores que excluem os pequenos produtores (agricultores de castanha), os principais elementos do mercado e os que tem o menor valor do lado deles.

Assim, pretende-se aumentar a rentabilidade do fruto para o agricultor, projetando uma máquina de baixo custo com um rápido retorno do investimento. Este equipamento é projetado para uma capacidade de 1000 kg, com um número de componentes elétricos/eletrónicos reduzido ao menor possível, garantindo um baixo custo de manutenção. Com esta máquina será obtida castanhas desidratadas nas condições ideais de humidade para comercialização, 6 % a 8 %.

O propósito deste projeto é facilitar a passagem direta da castanha do agricultor para a venda a retalho ou até mesmo diretamente para o consumidor, rentabilizando mais rápido o investimento e sucessivamente aumentando o lucro. Portanto, evita-se a primeira etapa de transformação apenas concentrada nas grandes indústrias.

1.2. Enquadramento

Castanea sativa Miller é uma espécie de grande importância para a economia da Europa mediterrânica e, particularmente, em Portugal. A região de destaque na produção de castanha em Portugal é a região Norte, onde são colhidas aproximadamente 30 mil toneladas das 34 mil toneladas totais, o que equivale a 88,15 % da produção nacional de castanha [1]. Trás os Montes, mais propriamente a região da cidade de Bragança, tem como forte da sua cultura a produção e comercialização de castanha, contribuindo com uma elevada taxa percentual no Norte do país.

A castanha é um produto sazonal, tradicionalmente vendido em fresco, *in natura*, com um tempo de conservação em estado natural relativamente curto, e sujeita a sua valorização à produção anual obtida. Dada a elevada exigência da apanha deste fruto e a restrição na sua comercialização, deixa o agricultor, o primeiro interveniente na cadeia de transformação, à merce do preço que os retalhistas estipulam entre si para a compra. Atualmente, a castanha é um fruto em expansão comercial devido às suas características e nutrientes, sendo a isenção de glúten uma grande vantagem para o uso variado.

Um método para prolongar a preservação e armazenagem do produto é a desidratação. Este método ancestral era utilizado para garantir a disponibilidade do alimento durante todo o ano, combatendo a eventual sazonalidade. A castanha desidratada origina diversos produtos para consumo, como por exemplo, farinha, compotas de castanha, sabonetes, entre outras [2].

Este projeto oferece assim, uma proposta de um equipamento de pequeno porte para a desidratação da castanha com auxílio de uma bomba de calor. A valorização deste produto numa primeira escala leva à necessidade de um equipamento viável economicamente e eficiente. Este projeto surge da estreita relação do autor ao produto.

1.3. Organização dos capítulos

Esta tese está em 5 capítulos, dos quais o primeiro capítulo retrata o objetivo pretendido com este projeto e o seu enquadramento.

No segundo capítulo está representado o estado da arte, a fundamentação teórica da castanha e os pontos socioeconómicos. É ainda retratada toda o processo de desidratação, o princípio da bomba de calor e um exemplo de uma máquina do género em funcionamento.

O terceiro capítulo apresenta todos os materiais e métodos utilizados para o dimensionamento do projeto, demonstrado ainda o modelo de funcionamento da máquina e a subdivisão do projeto final em projeto estrutural e projeto térmico. São determinadas as potências necessárias no processo e dos equipamentos.

O quarto capítulo contém os resultados e discussões do projeto, sendo estes os equipamentos dimensionados e escolhidos como também os desenhos técnicos do projeto final e as suas peças.

Por último, o quinto paragrafo representa a conclusão desta tese e algumas sugestões de trabalhos futuros.

2. Fundamentos teóricos

Este capítulo visa apresentar alguns fundamentos teóricos considerados revelantes para a correta compreensão do estudo apresentado nesta dissertação. No início, apresenta-se uma breve descrição da castanha, a produção mundial e nacional, o potencial econômico, seguindo-se os princípios da desidratação e da bomba de calor. Por último um exemplo de máquina em operação.

2.1. Estado da arte

2.1.1. O fruto - Castanha

A castanha é o fruto derivado do castanheiro europeu (*Castanea sativa* Miller), explorado essencialmente para a produção do fruto e para a obtenção de madeira. O género *Castanea* é originário da Ásia Menor, existindo 4 tipos de castanheiros distribuídos pelo mundo. Estes são: a espécie *Castanea mollissima* Blume produzida na China, a *Castanea crenata* Siebold & Zucc produzida no Japão, a *Castanea dentata* (Marsch) Borkh produzida na América do Norte e por último a *Castanea sativa*, esta presente pela Europa. Esta espécie foi introduzida em muitas regiões pelos gregos. Em Portugal, o castanheiro já existia no período pré-romano, mas foram os romanos os principais responsáveis pelo cultivo e pela disseminação na Europa Ocidental [1].

2.1.2. Produção mundial

Os níveis mundiais de área e produção de castanha tem aumentado nos últimos anos. Na figura 1 está ilustrada a evolução da produtividade e da área de colheita por ano nos anos de 2006 até 2010. No período em questão, houve um aumento da produtividade de 3.35 para aproximadamente 3.73 toneladas por hectare [1].

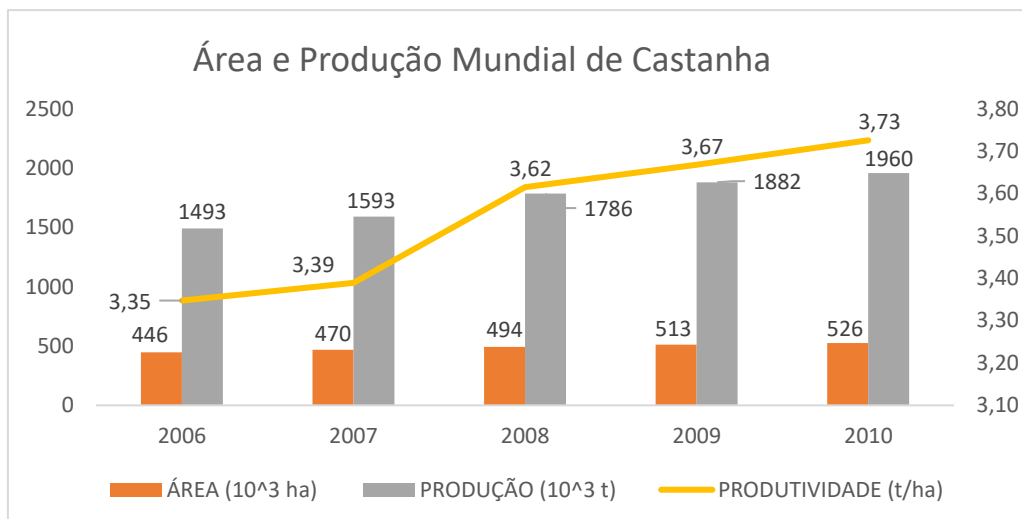


Figura 1 - Produção, Área de Colheita e Produtividade (2006 a 2010)
 Fonte: FAOSTAT [1].

2.1.3. Produção portuguesa

A produtividade de castanhas em Portugal também tem aumentado com o passar dos anos, mesmo com os entraves: a força do peso do mercado paralelo, do autoconsumo e da não divulgação de toda a informação disponível. A figura 2 retrata essa evolução. Em 2018, a área de castanheiros em Portugal era aproximadamente de 39 mil hectares com uma média de produção de castanha de cerca de 34 mil toneladas, tendo uma produtividade de 0.87. Também em 2018, verificou-se um aumento na produtividade comparados com os dois anos anteriores. Em 2016 havia cerca de 36 mil hectares de castanheiros com uma produção de 27 mil toneladas e uma produtividade de 0.75 e em 2017 havia cerca de 37 mil hectares e uma produção de 30 mil toneladas, e com uma produtividade de 0.81 [3].

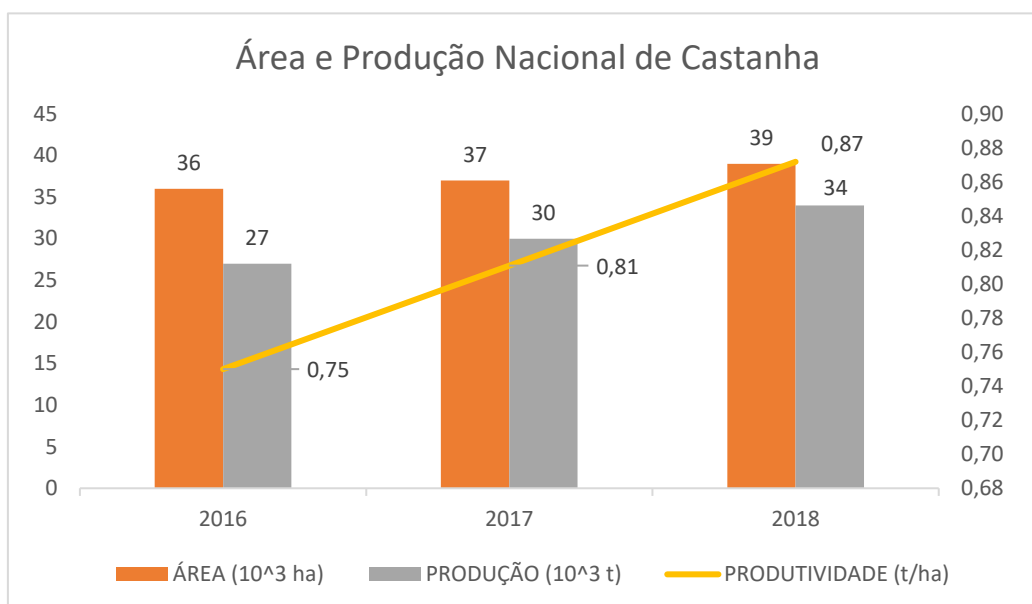


Figura 2 - Produção Nacional de Castanhas Fonte: FAOSTAT [1].

A maior parte da produção centra-se, sobretudo no Norte, de acordo com a tabela 1. Na zona Norte são produzidas quase 30 mil toneladas das 34 mil toneladas totais. Isso equivale a 88,15 % da produção da produção nacional de castanhas [1]. A região de Trás-os-Montes possui aproximadamente 85 % da produção de castanhas do Norte, o que representa 25,5 mil toneladas, correspondendo a quase 75 % da produção nacional [4].

Tabela 1 - Área e produção por região [1].

Região	Superfície (ha)	Produção (ton)	Produtividade (ton/ha)
Continente	38728	33929	0,88
Norte	34504	29908	0,87
Centro	3683	2756	0,75
Área de Lisboa	5	6	1,20
Alentejo	520	1245	2,39
Algarve	16	15	0,94

2.1.4. Potencial económico

A vertente turística associada à produção de castanha também é relevante. Desenvolvem-se atividades de natureza social, feiras, investigação e gastronomia. Além disso, tem impacto positivo ao nível da empregabilidade local, pelo aumento de postos de trabalho para a realização desta atividade, promovendo assim uma maior atração e fixação de pessoas ao meio rural. Além disso, favorece uma característica para o desenvolvimento e para a manutenção de uma fauna e uma flora típica de reconhecida beleza.

No estudo económico do Fórum Florestal, sobre o desenvolvimento da fileira da castanha, têm algumas medidas para ampliar-se o mercado de castanha. Caso sejam implementadas as ações previstas no documento, estima-se que em 2028, o valor formal da fileira da castanha de cerca de 65 milhões de euros, atualmente, passará para mais de 150 milhões. O crescimento da fileira gerará um maior número de postos de trabalhos, mais de 3.850 postos, da produção à comercialização [1].

O preço de compra da castanha ao agricultor, *in natura*, varia de ano para ano. Não existe um valor fixo dentro do próprio ano. Isto tudo varia devido à qualidade da castanha, ao tamanho, o estado da castanha e à quantidade existente no ano. Sendo assim, segundo dados da SORTEGEL, o preço varia entre 1 € a 2.5 €/kg podendo em casos raros chegar a 3 €/kg. Já o preço da castanha desidratada no mercado é de aproximadamente 5 € por cada 250 g, ou seja, 20 €/kg.

Este projeto propõe a construção de uma máquina protótipo de desidratação da castanha que permita aos produtores terem um produto com maior valor acrescentado.

2.1.5. Métodos de 1ª transformação da castanha

A transformação torna possível a utilização da castanha por um período muito mais longo, abrangendo um maior número de consumidores, já que amplia a sua durabilidade, e dela, se obtém uma grande diversidade de produtos. O seu consumo em fresco na época sazonal, e assim contrariado, passando a existir a disponibilidade dos vários produtos durante todo o ano. Estas vendas de produtos derivados da 1ª transformação permitem acrescentar um valor económico importante à castanha.

Como métodos de 1ª transformação existe a frigoconservação, a congelação e a desidratação, onde a desidratação se divide em natural e artificial. Estes são os 3 métodos mais utilizados atualmente na indústria e artesanalmente [2].

Contudo o foco desta tese é no método de desidratação artificial com fonte de energia através de bomba de calor.

2.1.5.1. História da desidratação

A desidratação é o método de 1ª transformação mais antigo para preservar e conservar os alimentos sazonais. Os povos primitivos desidratavam ervas, raízes, fruta e carne através da exposição solar para resistirem a longos períodos de inverno, devido aos escassos ou inexistentes recursos alimentares. O facto de os alimentos serem desidratados, logo mais leves, era uma vantagem para quando eles tinham de percorrer grandes distâncias [5].

2.1.5.2. Definição da desidratação

A desidratação tem como finalidade a redução da humidade de um produto a um nível desejado. Este método utilizado em alimentos, consiste na aplicação de alguns princípios físicos ou químicos (uso de altas e baixas temperaturas, eliminação de água, adição de substâncias químicas, uso de certas radiações e filtração) e tem uma grande importância na indústria de alimentos. No entanto, tais métodos podem produzir mudanças estruturais nos alimentos.

Quando o alimento húmido é sujeito a esta condição térmica, ocorrem dois processos simultaneamente:

- Transferência de energia, por norma de calor, do ambiente circundante para o alimento húmido. Este processo decorre devido aos processos de condução, convecção ou radiação, e em alguns casos à combinação dos três, em que a extração dessa água na forma de vapor da superfície do alimento dependendo da humidade e velocidade do ar em contacto com a área da superfície;
- Transferência de humidade do centro para a superfície do alimento e, posteriormente, a sua evaporação devido ao processo anteriormente referido. Esta transferência é limitada pela própria natureza física do alimento que está associada à temperatura e ao seu grau de humidade [6].

2.1.5.3. Vantagens da desidratação

Durante o processo existe uma redução de peso devido à transferência de massa de água do interior para o exterior do alimento como dito anteriormente, sendo assim a redução da água limita o crescimento microbiano, evitando deste modo a deterioração dos alimentos [7].

Assim, a desidratação apresenta marcáveis vantagens, tais como [8]:

- Aumento da vida útil do produto;
- Introdução de novos produtos no mercado;
- O alimento desidratado é nutritivo, apesar da possível perda de alguns nutrientes, pois o valor alimentício do produto concentra-se devido à perda de água;
- Facilidade no transporte e comercialização, pois o alimento desidratado é leve, compacto e as suas qualidades permanecem inalteradas por mais tempo;
- O método de desidratação é económico. Os desidratadores semi-industriais têm baixo custo de aquisição, a mão de obra não precisa de ser especializada, e os alimentos desidratados têm baixo custo de armazenamento;
- Redução nas perdas após colheita, por sua vez existe um aumento na rentabilidade.

2.1.5.4. Desidratação natural

A desidratação natural de alimentos é um método aplicado em regiões com temperatura média de 35 °C a 40 °C, com boa taxa de radiação solar, baixa humidade relativa do ar e baixo índice de poluição. É também um método de baixo custo, sendo necessário apenas uso de tabuleiros para a desidratação ou apenas lonas, onde são espalhados numa superfície, e redes protetoras contra insetos no caso de alimentos de alta perecibilidade.

Os alimentos desidratados naturalmente, ao sol, apresentam uma coloração mais intensa que os desidratados artificialmente. No entanto, ocorrem maiores perdas nutricionais do que por um meio de desidratação artificial como por exemplo por convecção forçada, onde a desidratação ocorre sob condições controladas [7].

2.1.5.5. Desidratação artificial

A desidratação artificial de alimentos, ocorre por aplicação direta de calor, convecção forçada, por meio de vapor superaquecido ou sistemas de vácuo. A fonte de energia para aquecimento do ar por sistemas indiretos pode ser o sol, a lenha, o gás, o óleo, o vapor e a energia elétrica [7].

Na desidratação artificial através do sistema de bomba de calor, algumas características do alimento são modificadas e outras perdidas, como acontece nos desidratadores que utilizam resistências elétricas para aquecer o ar. Mas esse tipo de alteração é reduzido, pois as temperaturas a ser usadas para o processo são temperaturas inferiores às utilizadas pelos desidratadores com resistências elétricas.

Assim este método de desidratação artificial, utilizando bomba de calor para o aquecimento do ar, é bastante adequado para a desidratação de alimentos devido à sua capacidade de produzir condições de desidratação controladas, como a temperatura e a humidade do ar, assim garante produtos de maior qualidade, com o mínimo de alterações possíveis, um tempo inferior para o processo e é ainda muito eficiente reduzindo o consumo de energia elétrica [9].

Com este processo consegue-se ainda controlar o tempo necessário para a desidratação do alimento, assim sendo pode ser adicionado uma nova quantidade de alimento e retirado o alimento já seco-desidratado. Assim, este processo ocorre de forma contínua ou, também se pode chamar de forma cíclica. Na maioria dos processos de desidratação artificial, é utilizado um fluxo de ar quente com uma velocidade entre os 0.5 m/s a 3 m/s [10].

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Calor

O calor é o termo dado à transferência de energia térmica, através da fronteira comum de um sistema para outro, ou apenas entre partes do mesmo sistema, unicamente se houver diferença térmica entre eles. Está ainda relacionado com a dinâmica aplicada às substâncias nos 3 estados sendo estes o sólido, o líquido e o gasoso, para além disso existem 3 tipos de calor que são o calor sensível, o calor latente e o calor específico. No SI, sistema internacional de unidades, o calor é quantificado em joule (J) [11].

2.2.1.1. Calor sensível

O calor sensível é definido como o calor absorvido ou cedido por um corpo que é acompanhado por uma mudança de temperatura do corpo. Assim, o calor sensível é a quantidade de calor ou energia necessária para variar a temperatura de um corpo sem que haja variação do seu estado físico. A equação que mede a quantidade de calor cedida ou recebida a um corpo está representada na equação 1 [11].

$$Q = m_{\text{água}} * Cp_{\text{água}} * \Delta T_{\text{sensível}} \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

Q – Quantidade de calor sensível;

$m_{\text{água}}$ – Massa de água a retirar do lote de castanhas;

$Cp_{\text{água}}$ – Calor específico da água a pressão constante;

$\Delta T_{\text{sensível}}$ – Diferença entre o valor da temperatura do ar pretendida e de entrada;

2.2.1.2. Calor latente

O calor latente é a quantidade de energia que causa e acompanha uma mudança de fase de um corpo sem alterar a sua temperatura. Pode ser determinado pela equação 2 [11].

$$Q = m_{\text{água}} * \Delta H_{\text{latente}} \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que:

Q – Quantidade de calor latente;

$m_{\text{água}}$ – Massa de água a retirar do lote de castanhas;

$\Delta H_{\text{latente}}$ – Calor latente de vaporização da água à pressão atmosférica.

2.2.1.3. Calor específico

O calor específico (C_p), ou capacidade térmica mássica, de qualquer substância pode ser definido como a quantidade de energia necessária para elevar ou baixar 1 Kelvin a temperatura de 1 kg da sua massa. No SI a capacidade térmica mássica expressa-se em $kJ/kg.K$ [11].

2.2.1.4. Potência térmica

A potência térmica (\dot{Q}) pode ser definida como a rapidez ou velocidade em que a energia se transforma em trabalho ou a rapidez com que o calor é trocado entre dois corpos. Para que tal possa acontecer é necessária a energia térmica sobre um determinado tempo. Determina-se a partir da equação 3 [11].

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que:

\dot{Q} – Potência térmica necessária para retirar uma certa quantidade de água;

t – Tempo do processo de desidratação.

2.2.2. Perda de carga

A perda de carga é a perda de energia dinâmica do fluido num canal de escoamento sendo este um tubo ou uma conduta. Essa perda dá-se devido à fricção existente das partículas do fluido entre si e contra as paredes do canal de escoamento. Ou seja, sempre que o fluido se desloque no interior de um canal existirá atrito do fluido com as paredes do canal ou com os sólidos existentes no mesmo espaço. Este fenômeno faz com que a pressão que existe dentro do canal vá diminuindo com o avanço no sentido do escoamento [12].

Para este projeto, e devido à falta de estudo da perda de carga em castanha, foi seguido um estudo de Jamie Trahan sobre a perda de carga num leito de camadas de rochas e onde se utilizou um gráfico, representado na figura 3, para determinar, aproximadamente,

a perda de carga na camada total de castanhas existente dentro da câmara de desidratação [13].

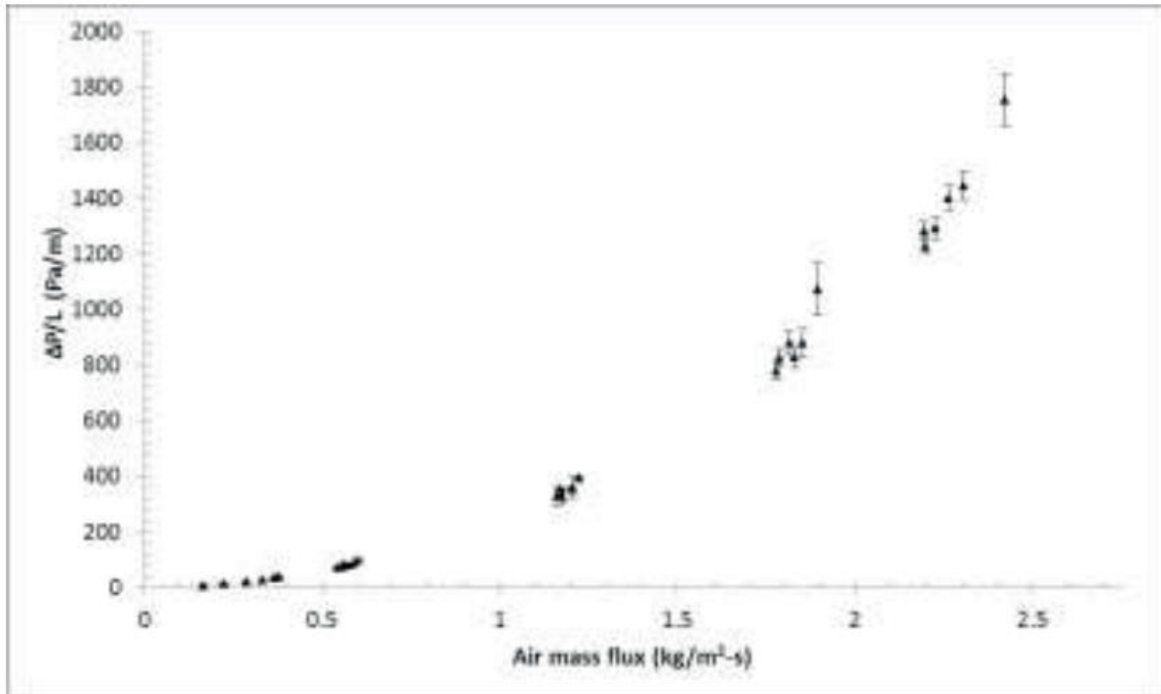


Figura 3 – Perda de carga em camada de rochas [13].

No caso do estudo de Jamie Trahan, e como se pode verificar na figura 3, a perda de carga aumenta com o avanço no leito, ou seja, quanto maior a camada de rochas, maior será a perda de energia dinâmica [13]. Neste projeto, para ser possível a análise deste gráfico para a perda de carga na camada de castanhas é necessário o cálculo do caudal mássico e o caudal volúmico, representados na equação 4 e na equação 5 respetivamente [11].

$$q_m = \rho_{ar} * q_v \quad \text{Eq. (4)}$$

Em que:

q_m – Caudal mássico do ar;

ρ_{ar} – Massa específica do ar;

q_v – Caudal volúmico de ar.

E:

$$\dot{q}_v = A_p * v \quad \text{Eq. (5)}$$

Em que:

A_p – Área do patamar;

v – Velocidade do ar.

2.2.3. Bomba de calor

Na natureza, por norma, a transferência de calor dá-se sempre da zona de maior temperatura para a de menor temperatura. Para inverter o sentido dessa transferência de calor e se utilizarmos um ciclo termodinâmico para tal processo, obtemos um sistema denominado máquina térmica inversa. Este tipo de máquina térmica poderá ser por exemplo um ar condicionado, aparelho frigorífico ou ainda também uma bomba de calor. Qualquer um destes sistemas, realizam o seu trabalho através de um circuito de tubagem de cobre onde circula um fluído refrigerante.

Nesse circuito de tubagem ocorre a absorção e libertação de calor da e para a vizinhança, assim quando o fluído refrigerante muda de estado líquido para gasoso através da evaporação, ele absorve calor, já quando este muda de estado gasoso para líquido através da condensação, ele liberta calor. As condições necessárias para que aconteçam estas mudanças de fase são através das relações pressão-temperatura das substâncias puras.

Com as condições necessárias, sendo esta a pressão inferior à pressão atmosférica, a água pode vaporizar a uma temperatura inferior a 100 °C para absorver calor da vizinhança. Da mesma maneira, um fluído refrigerante pode condensar a uma temperatura elevada e libertar calor desde que a sua pressão seja superior à pressão atmosférica.

Assim sendo, o esquema de funcionamento de uma bomba de calor é demonstrado na figura 4, onde \dot{W} e \dot{Q} são respetivamente o trabalho fornecido ao sistema e o calor trocado com a vizinhança [14].

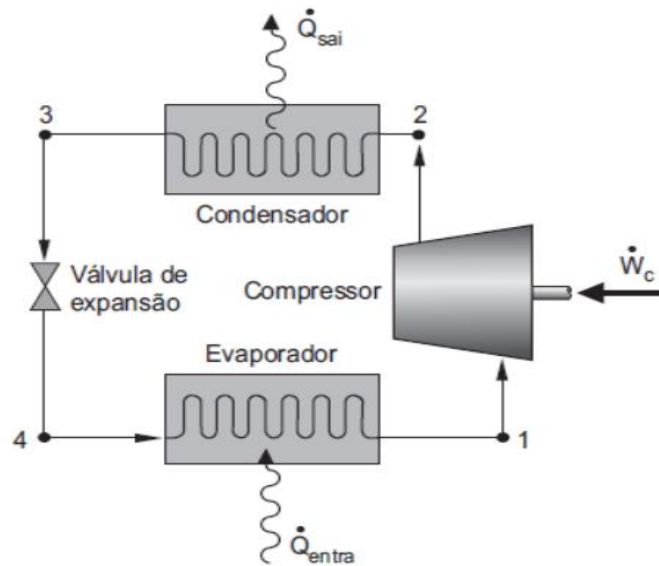


Figura 4 - Ciclo de compressão do vapor ideal e restantes componentes [15].

Na figura 5 está representado o diagrama, pressão-entalpia P-h, de compressão do vapor de uma máquina térmica inversa ilustrando assim o ciclo ideal de refrigeração ou bomba de calor, ilustrado anteriormente na figura 4 [16]. Representados neste ciclo estão os 4 processos térmicos principais nele existentes, sendo eles: a evaporação, a compressão, a condensação e a expansão. Cada etapa deste ciclo é seguidamente descrita [17]:

- **(1-2) Compressão adiabática reversível** - Do evaporador, chega ao compressor o vapor refrigerante saturado de baixa pressão e é comprimido no condensador pela redução de volume e do aumento de pressão e temperatura.
- **(2-3) Rejeição de calor a pressão constante** - Do compressor, entra no condensador em alta pressão, o vapor refrigerante e é liquefeito com o auxílio da aplicação de água ou ar.
- **(3-4) Expansão irreversível com entalpia constante** - Do condensador, saturado a alta pressão, o fluido refrigerante passa pela válvula de expansão e assim a pressão e a temperatura nele existentes são deste modo reduzidas.
- **(4-1) Absorção de calor reversível a pressão constante** - Da válvula de expansão, chega ao evaporador o refrigerante líquido a baixa pressão. Assim sendo, o fluido evapora e durante esse processo, ele absorve o calor do meio circundante, proporcionando assim um coeficiente de refrigeração.

Como representado na figura 4, os componentes essenciais para um ciclo de compressão do valor ideal são pormenorizados de seguida:

- **Evaporador** - Neste equipamento é onde ocorre a troca de calor provida pelo refrigerante, assim sendo, no mesmo ocorre a evaporação do líquido refrigerante a baixa temperatura, este processo provoca a absorção do calor do meio circundante pelo fluído refrigerante.

- **Linha de sucção** – Esta linha de sucção é o tubo de ligação entre o evaporador e o compressor. Após o líquido refrigerante absorver o calor do meio circundante, a linha de sucção transporta o fluído refrigerante até ao compressor. Nesta linha o fluído está na zona de vapor sobreaquecido.

- **Compressor** - Este equipamento separa no sistema, a área de baixa pressão da área de alta pressão e tem dois objetivos principais: (i) remover vapor do evaporador para que a temperatura de evaporação se mantenha baixa e (ii) comprimir o vapor do fluído refrigerante a baixa temperatura para um volume menor, criando assim um vapor sobreaquecido com alta temperatura e pressão.

- **Linha de descarga quente** – Esta linha de descarga quente é o tubo de ligação entre o compressor e o condensador. Após o compressor ter descarregado o vapor refrigerante superaquecido de alta pressão e alta temperatura, esta linha encaminha-o para o condensador.

- **Condensador** - Este equipamento é usado para troca de calor, semelhante ao evaporador, sendo que o trabalho deste equipamento é expulsar o calor e não o absorver. O condensador muda o estado do fluído refrigerante, de vapor sobreaquecido a líquido. Esse efeito é provocado através da alta pressão existente nesse equipamento, assim aumenta a temperatura de evaporação do fluído removendo então o calor suficiente para que o fluído refrigerante condense novamente à fase líquida.

- **Linha de líquido** - Esta linha interliga o condensador com o dispositivo de controlo do fluído refrigerante, incluindo a válvula de expansão. Somente o fluído refrigerante líquido pode estar nesta linha. Além disso, a linha pode estar um pouco quente devido à quantidade de fluído refrigerante que ainda está a alta pressão.

- **Controle do refrigerante** – Este equipamento funciona unicamente como um dispositivo de medida. Este monitoriza o fluído refrigerante líquido que entra no evaporador e garante que todo o líquido é evaporado antes do fluído refrigerante ir para a linha de sucção. Se o fluído refrigerante líquido entrar na linha de sucção, e por sua vez no compressor, irá causar uma falha no sistema.

Para além dos componentes em cima mencionados, existem ainda mais elementos constituintes do sistema como por exemplo o recetor de líquido, as válvulas de trabalho, de descarga e sucção. Todos eles podem enriquecer as operações no ciclo de compressão a vapor.

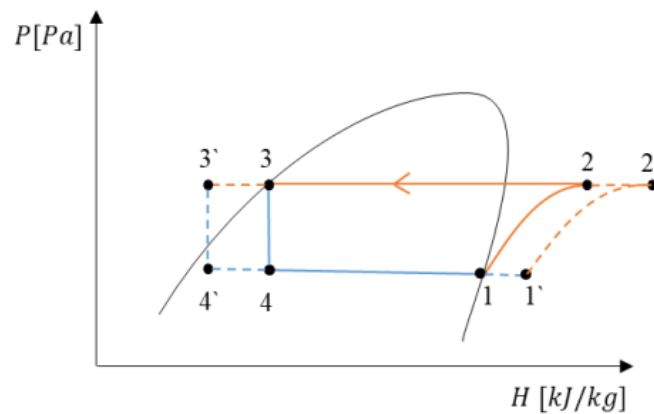


Figura 5 - Diagrama P-h do ciclo de uma máquina térmica inversa.

Na figura 5 está representado o diagrama P-h do ciclo ideal de refrigeração de uma máquina térmica inversa (ou bomba de calor) e também os estados do fluido refrigerante num ciclo real de refrigeração. No caso do ciclo ideal, os pontos de início e fim dos estágios estão nos limites da zona de saturação do fluido de trabalho. Sendo que, isso não é o que acontece na realidade devido às perdas por atrito e a devido à própria entropia do sistema, os estados reais são representados no mesmo diagrama P-h pelo ciclo com linhas a tracejado.

Na continuidade da fase de condensação do fluido, é natural que esse processo se prolongue até à região de líquido comprimido (lado esquerdo da curva na figura 5 para assegurar um maior aproveitamento na extração de calor do ambiente. Outra alteração é que na saída do evaporador, o fluido refrigerante sofre um sobreaquecimento para que se encontrar na zona de vapor sobreaquecido. Assim é assegurado que não existe líquido na entrada do compressor, visto que poderia influenciar e afetar o funcionamento do sistema. Por último, o compressor utilizado não é o ideal, logo não consegue transformar toda a potência recebida em trabalho útil para o sistema [17].

2.2.4. COP

O *COP*, que significa Coeficiente de Performance, é o fator de medida do desempenho de uma bomba de calor. Este é assim um fator muito essencial na simulação de sistemas de desidratação através de bombas de calor [11].

O fator *COP* é então calculado em função do trabalho aplicado no sistema W_{entra} [W] e do calor transferido na atividade fim q_{fim} [W], assim pode ser descrito pela equação 6:

$$COP = \frac{q_{fim}}{W_{entra}} \quad \text{Eq. (6)}$$

Um dos objetivos da bomba de calor é então a extração do calor da fonte fria aplicando assim o calor na fonte quente. Uns exemplos deste tipo de equipamento são os aparelhos de ar condicionado, os frigoríficos ou ainda as bombas de calor de aquecimento simplesmente de águas quentes sanitárias, pois estes equipamentos possuem um sistema refrigerador, que é uma bomba de calor à qual, a fonte fria é o ar interno. Assim a eficiência do equipamento é medida pelo fator *COP*, e este é calculado dividindo o calor extraído do ambiente pelo trabalho realizado pelo compressor, ignorando assim o calor rejeitado.

Sendo o objetivo o aquecimento do ar, a situação é bem mais vantajosa. Pois o *COP* nesse caso é o valor rejeitado pela fonte quente sobre o valor que foi fornecido pelo trabalho do compressor. Assim nestas situações, o sistema de bomba de calor demonstra uma vantagem sendo que a energia consumida para realizar o trabalho mecânico acresce ao valor retirado da fonte fria do sistema, então quanto maior for o calor extraído do meio, menor será assim a energia necessária para garantir o mesmo output de calor da unidade condensadora [18].

2.2.5. Exemplo de máquina

Neste tópico é demonstrada a máquina existente na Sortegel para fazer a desidratação da castanha. Este modelo é de nível industrial, de grandes dimensões, com uma capacidade de alojamento entre 16 e 20 toneladas castanha dividida em 4 patamares distintos com temperaturas diferentes.

O processo de desidratação desta máquina, tem auxílio da rede de vapor sobreaquecido existente pela fábrica, circulando por um permutador que está situado em frente ao ventilador de grande débito de ar instalado na máquina, induzindo assim por uma conduta até ao patamar inferior da máquina. Neste patamar é onde as castanhas estão sujeitas a maior temperatura, tendo passado pelos 3 patamares anteriores com temperaturas inferiores sucessivamente.

Segundo informações da Sortegel, as castanhas são desidratadas no intervalo de temperatura de 30 °C a 45 °C e a humidade óptima para estarem desidratadas é no intervalo de 6 % a 8 %.

As castanhas são transportadas para o 1º patamar, o superior, com o auxílio do tapete rolante que as leva do depósito situado no chão até à máquina como se pode verificar na figura 6.

A castanha para garantir a qualidade pretendida na desidratação, tem de ser devidamente seleccionada antes e deve fazer todo o processo com casca. Para evitar que a casca parta ou estale, então no primeiro patamar, o primeiro contacto das castanhas com a temperatura deve ser com a temperatura de 30 °C e ir aumentando conforme passa de patamar em patamar.

A passagem de patamar em patamar é feita com um mecanismo de comportas devidamente automatizado e cada patamar é controlado a nível de temperatura, humidade e tempo. O tempo da castanha em cada patamar varia conforme a percentagem de humidade com que a castanha entra na máquina. Conforme a castanha passa de patamar em patamar, fica sujeita a uma temperatura superior, pode-se até dizer que a cada patamar aumentam 5 °C, no qual o último patamar se encontra assim aos 45 °C, temperatura fornecida pelo ao induzido pelo ventilador ao passar pelo permutador.

A castanha está pronta a retirar da câmara de desidratação quando se encontra no último patamar e com o controlo de humidade a indicar na castanha uma humidade de 6 % a 8 %, sendo esta a humidade ideal de desidratação. O tempo que a castanha demora a fazer todo o processo depende da percentagem de humidade de entrada, mas também não se teve

acesso nem indicação do tempo médio, pois são dados privados da empresa ao qual não puderam ser fornecidos. Na figura 6 é demonstrada a máquina de desidratar da empresa SORTEGEL.



Figura 6 - Máquina de desidratação da SORTEGEL.

3. Materiais e Métodos

Neste capítulo será mostrado o esquema de funcionamento da máquina projetada, os materiais utilizados na construção da câmara, os seus mecanismos durante o processo, e os cálculos necessários ao dimensionamentos dos equipamentos externos.

3.1. Esquema de funcionamento 2D

A desidratação da castanha será realizada recorrendo a uma máquina composta por uma bomba de calor, um depósito de inércia, uma caixa de ventilação com permutador e uma câmara de desidratação. A máquina foi dimensionada com o objetivo de obter uma estrutura compacta, prática e que não ocupasse uma grande área no local de instalação, nomeadamente no armazém dos agricultores ou nas associações cooperativas de agricultores.

No dimensionamento da máquina teve-se em conta que teria de ser o mais compacta possível para a ocupação do menor espaço no armazém dos agricultores, ou de associações cooperativas de agricultores. Assumiu-se que a capacidade de desidratar a castanha durante todo o processo seria de 1000 kg. Dividiu-se a máquina por 4 fases de desidratação, em 4 patamares separados por comportas, dentro de uma estrutura vertical, em coluna, sendo alimentada pela parte superior. Cada patamar tem um comprimento de 2 m, uma largura de 1 m e uma altura de 0.5 m, assim como a zona de entrada de ar / descarga de castanhas e 0.5 m de altura dos apoios da estrutura. Logo as dimensões da estrutura da câmara de desidratação completa são cerca de 3 m de altura e 1 m de largura.

As castanhas são introduzidas no topo da câmara de desidratação para dar início ao processo. Cada patamar tem a capacidade de alojar aproximadamente 250 kg de castanha. No primeiro patamar, patamar 1 indicado na figura 7, inicia-se o processo de desidratação, começando com a temperatura mais baixa do processo para que a casca da castanha se vá ajustando lentamente à temperatura, evitando que estale. A temperatura prevista para o primeiro patamar é de aproximadamente 30 °C. O tempo previsto para esta etapa inicial do processo é duas horas, seguindo posteriormente para o segundo patamar. Neste segundo patamar as castanhas estão expostas a uma temperatura prevista mais elevada, aproximadamente 35 °C.

Com a passagem de patamar em patamar, em queda livre, as castanhas vão-se movimentando favorecendo uma desidratação uniforme. Esta movimentação da castanha, será repetida no terceiro até ao quarto e último patamar. Neste último patamar, as castanhas estarão sujeitas a uma temperatura prevista de aproximadamente 45 °C. Aqui, irão permanecer, pelo menos 2 horas até atingirem a humidade ideal entre 6 % a 8 %, como referenciado anteriormente.

A passagem entre patamares é feita por comportas de abertura simples projetadas de propósito para o efeito. Em cada patamar haverá sensores de temperatura e humidade para controlo do processo de desidratação. Na figura 7 está representado o desenho esquemático do desidratador.

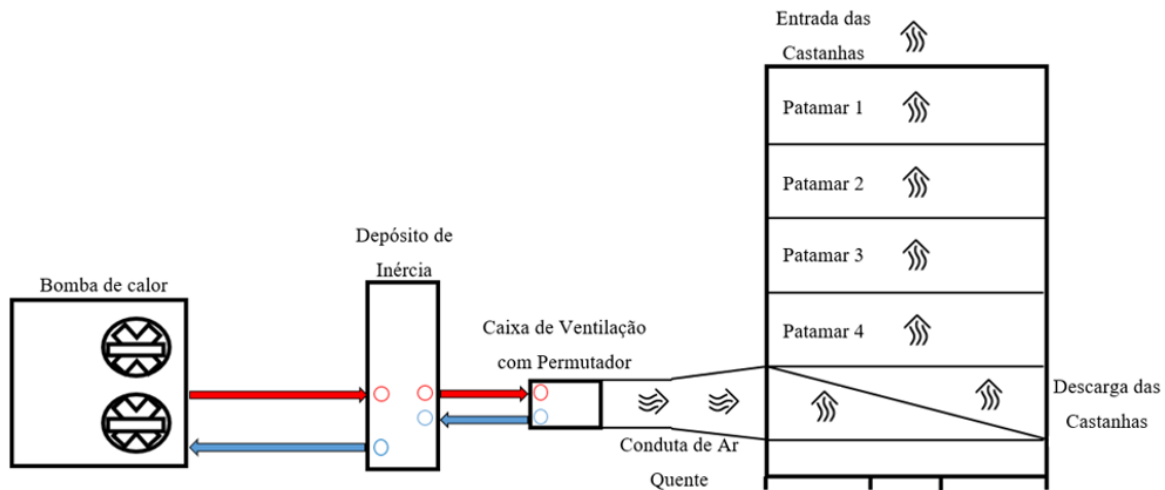


Figura 7 – Esquema de funcionamento do desidratador.

Neste processo, a insuflação de ar quente será feita por uma caixa de ventilação com permutador, instalada na entrada da câmara de desidratação. O ar quente será conduzido ao longo de uma conduta até à entrada da máquina. O aquecimento do ar será realizado através de um sistema em que a fonte de energia é uma bomba de calor. A bomba de calor irá fazer o aquecimento da água que se encontra no depósito de inércia, até aproximadamente 55 °C, recorrendo à tubagem de interligação entre os dois equipamentos. Após a temperatura de toda a água existente no depósito de inércia estar à temperatura pretendida, outro circuito auxiliar, fará a água circular pelo permutador de calor existente na caixa de ventilação.

O ventilador localizado na caixa de ventilação, antes do permutador, fará passar o ar extraído do ambiente em redor pelo permutador, sendo então esse ar aquecido pela libertação

de energia da água de circulação. O ar depois de aquecido, segue pela conduta que interliga a caixa de ventilação à câmara de desidratação subindo no seu interior passando pelos quatro patamares de castanha, iniciando-se o processo de desidratação das castanhas.

3.2. Projeto estrutural

3.2.1. Câmara de desidratação

O projeto estrutural é toda a estrutura da máquina e o seu revestimento. A estrutura exterior e interior servem como suporte ao equipamento e são projeto mecânico. A estrutura exterior foi dimensionada com perfis quadrados de aço, barras de aço para a sua estabilidade e fixadores em aço para fixar/prender os perfis às barras. A estrutura interior conta com diferentes componentes que auxiliam o suporte da castanha e ajudam na parte mecânica. Já o revestimento da máquina será em placas de PVC. Toda a estrutura está dimensionada para ser de fácil montagem e desmontagem com todos os componentes ligados por parafusos M8, tornando a estrutura independente de patamar para patamar como demonstrado na figura 8.

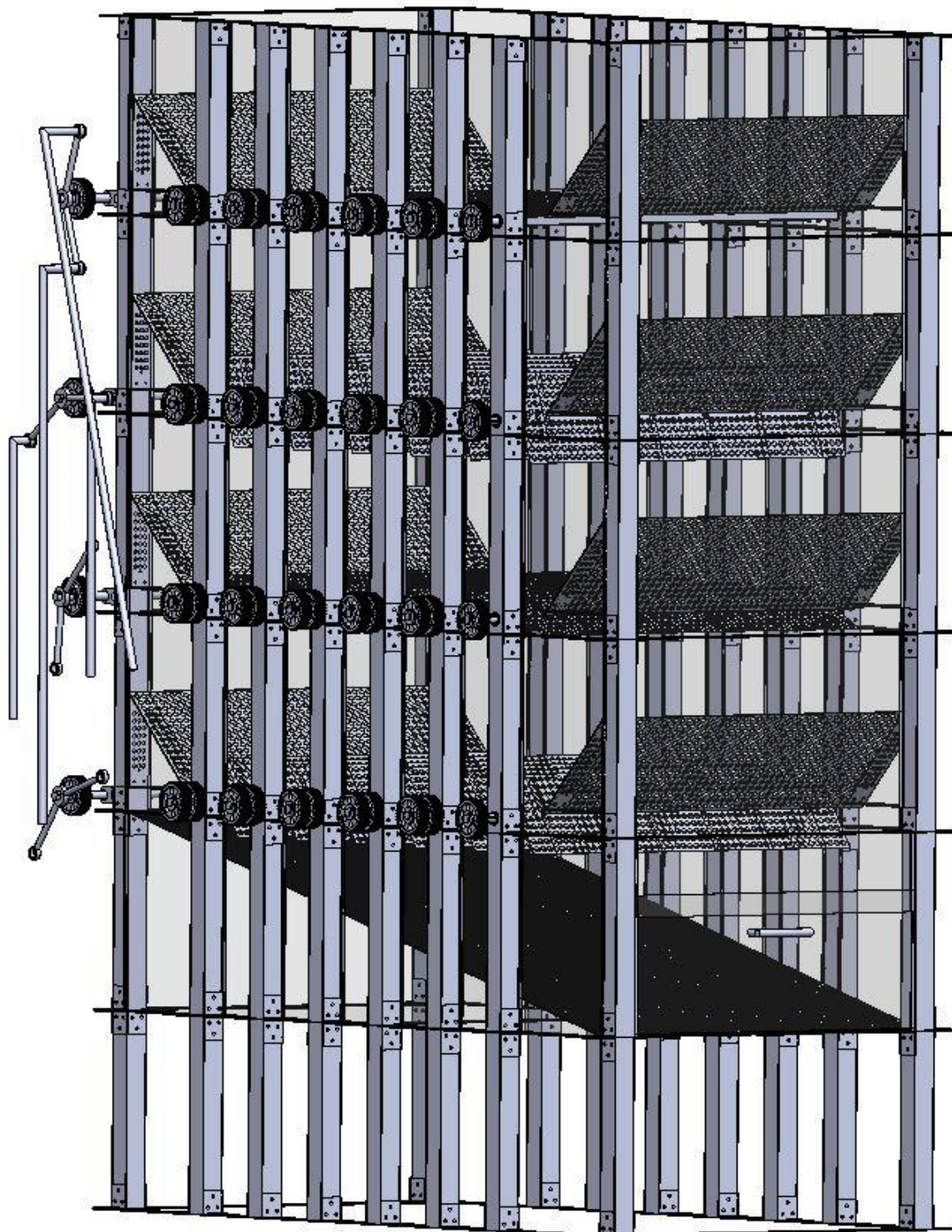


Figura 8 – Câmara de desidratação.

Analisando a figura 8 são perceptíveis a maior parte dos componentes estruturais da câmara de desidratação e pode-se verificar ainda o mecanismo mecânico de abertura das comportas. Descrevendo o mecanismo das comportas e analisando do patamar superior para

o inferior, no patamar 1 a abertura das comportas é acionada manualmente, como em todos os patamares. Pelo facto do manípulo, situado à esquerda, estar a 2.5 m de altura é necessário um puxador com a função de alavanca. Puxando do lado direito desse puxador, e as 6 comportas estando interligadas entre si por correias, abrem-se simultaneamente até as castanhas caírem para o patamar inferior. Após a mudança das castanhas de patamar, volta-se a fechar as comportas puxando pelo puxador aposto e empurrando para cima o direito. Isto repete-se em todos os patamares. Pode ainda se verificar que em todos os patamares, existe uma grelha lateral fixa, auxiliando na mudança das castanhas para o patamar inferior. Nos dois últimos patamares, não é necessário o puxador, pois o manípulo no patamar 3 está a 1.5 m de altura e no patamar 4 está a 1 m de altura. Por último, a zona de descarga é constituída por uma grelha inclinada que cobre toda a área da estrutura, auxiliando a extração das castanhas já desidratadas pela porta de descarga, também em PVC, visível na figura 8.

Para o projeto de construção da estrutura metálica da máquina foi selecionado um aço de construção comum, neste caso, o aço CK45.

3.2.2. Comportas de descarga

Esta estrutura metálica tem como finalidade suportar as castanhas e fazer a passagem de patamar em patamar. Isto acontece devido ao mecanismo manual localizado numa extremidade da câmara e que se interliga com rodas dentadas ligadas entre si através de correias dentadas. Na figura 9 estão representados os componentes que fazem parte deste mecanismo.

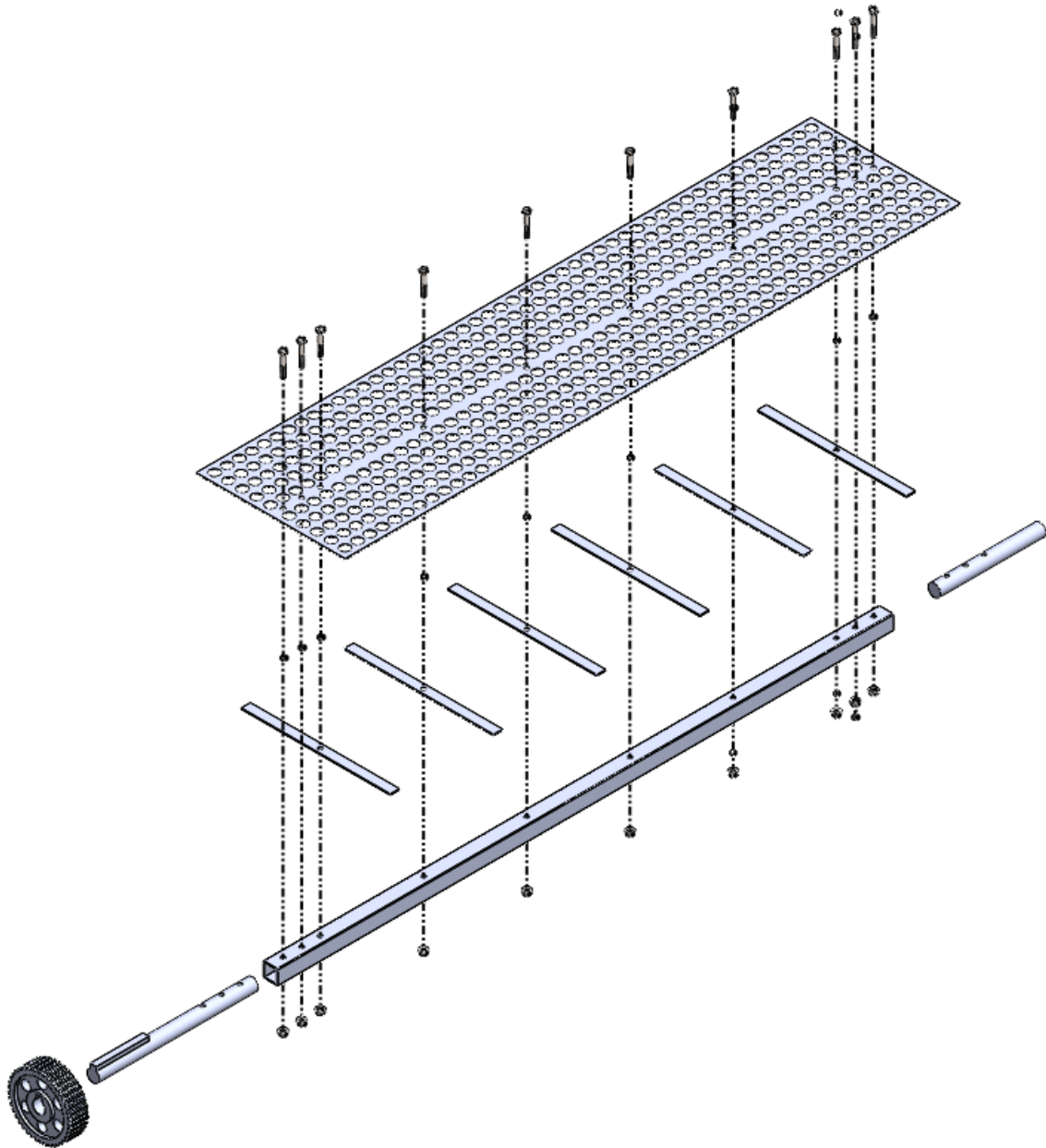


Figura 9 – Componentes do mecanismo.

A comporta é composta por 1 veio quadrado, 2 veios redondos, uma polia dentada, 1 chapa retangular perfurada, 6 reforços para a chapa retangular perfurada e por último 10 parafusos M6 completos.

3.2.3. Envolvente

A máquina terá um revestimento de placas alveolares em PVC com uma espessura de 2.5 mm. Para que o ar seja direcionado pela estrutura. Este tipo de material foi escolhido

devido à sua leveza, capacidade térmica, a fácil visualização do processo que ocorre no interior e o seu custo de aquisição. Além disso, o PVC é um material que proporciona resistência a troca de calor.

3.3. Sistema térmico

O sistema térmico é toda a estrutura de equipamentos e componentes fora da câmara de desidratação. Estes equipamentos e componentes são a bomba de calor, o depósito de inércia, a caixa de ventilação, o permutador e a conduta para o ar. São eles os responsáveis pelo aquecimento da água, do ar e a condução do ar já aquecido para o interior da câmara de desidratação. Na figura 10 está representada uma vista do sistema térmico.

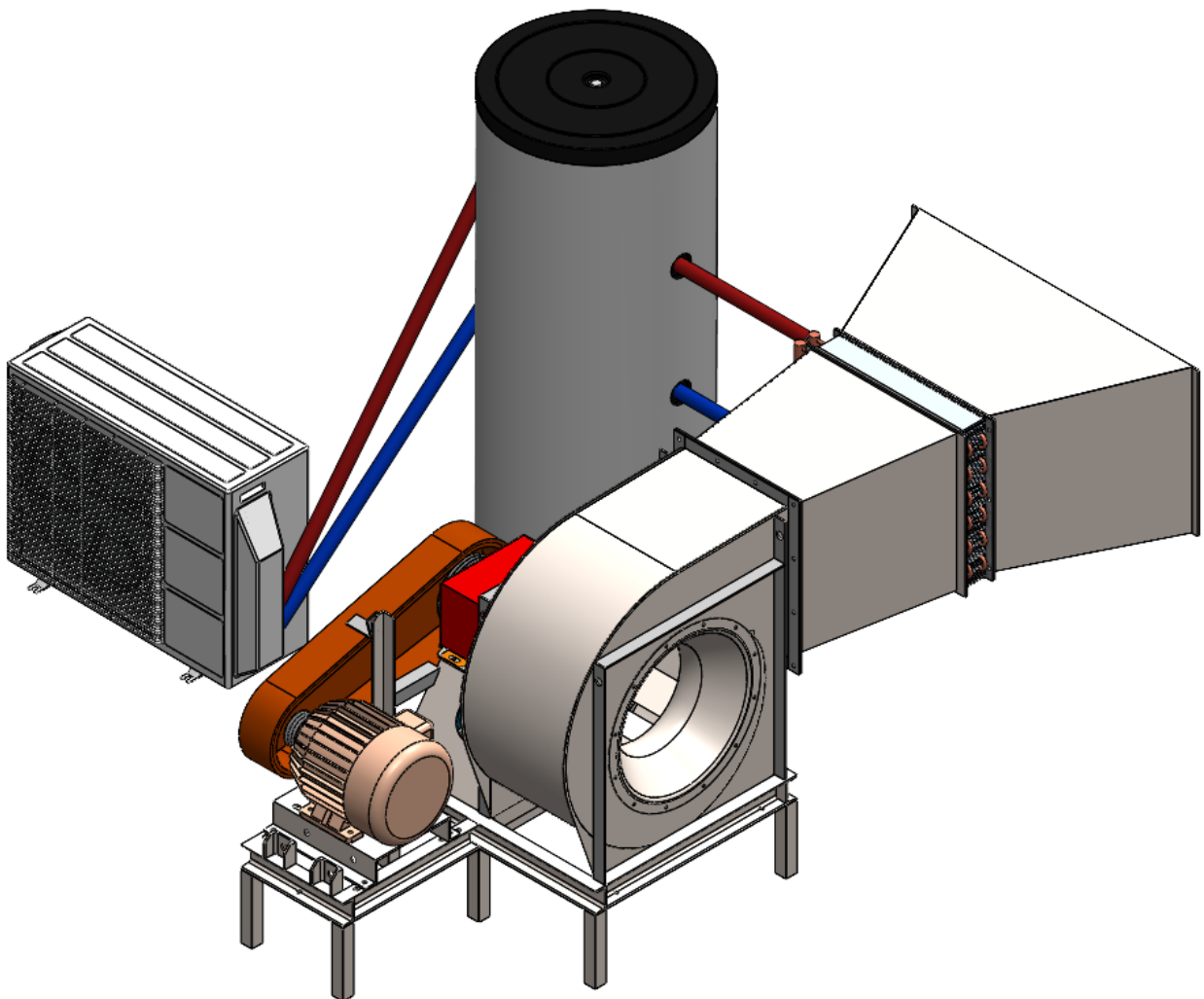


Figura 10 – Sistema térmico.

A conduta de ar foi dimensionada para ser de fácil montagem e desmontagem com todos os componentes ligados por parafusos M8. Para a estrutura metálica de suporte da caixa de ventilação e para a conduta de ar foi selecionado um aço de construção comum, como para a câmara de desidratação, o aço CK45.

3.4. Potência térmica

O objetivo neste ponto é determinar a potência térmica necessária para retirar a humidade pretendida de 1000 kg de castanhas. A humidade nas castanhas é dependente de vários fatores entre os quais o tempo da apanha após cair, o clima da altura, o clima durante a geração da mesma e a forma como são armazenadas. Em condições normais/padrão e para efeitos de simplificação, considera-se que a castanha apresenta uma humidade de 66 %. Sendo a humidade ideal após a desidratação entre 6 % a 8 %, será necessário retirar 60 % de humidade no processo de desidratação. Para isso é necessária uma determinada energia que pode ser calculada de acordo com a equação 7 [11].

$$Q = m_{\text{água}} * Cp_{\text{água}} * \Delta T_{\text{sensível}} + m_{\text{água}} * \Delta H_{\text{latente}} \quad \text{Eq. (7)}$$

Em que:

Q – Energia necessária para retirar uma certa quantidade de água;

$m_{\text{água}}$ – Massa de água a retirar do lote de castanhas;

$Cp_{\text{água}}$ – Calor específico da água a pressão constante;

$\Delta T_{\text{sensível}}$ – Diferença entre o valor da temperatura do ar pretendida e de entrada;

$\Delta H_{\text{latente}}$ – Calor latente de vaporização da água à pressão atmosférica.

Para determinar a quantidade de água que se pretende retirar do lote de castanhas utiliza-se a equação 8 [11]:

$$m_{\text{água}} = m_{\text{castanha}} * X_{\text{castanha}} \quad \text{Eq. (8)}$$

Em que:

$m_{castanha}$ – Massa de castanhas;

$X_{castanha}$ – Humidade nas castanhas.

Então:

$$m_{\acute{a}gua} = 1000 * 0.6 \quad \text{Eq. (9)}$$

$$m_{\acute{a}gua} = 600 \text{ kg} \quad \text{Eq. (10)}$$

Assim sendo, a quantidade de água que se pretende retirar neste processo é de 600 kg.

Para determinar a energia necessária para retirar a água são precisos os restantes dados como o:

- Calor específico da água a pressão constante [11]:

$$Cp_{\acute{a}gua} = 4.19 \frac{kJ}{kg \cdot K} \quad \text{Eq. (11)}$$

- Diferença entre o valor da temperatura do ar pretendida e de entrada [11]:

$$\Delta T_{sensível} = (T_f - T_i) \quad \text{Eq. (12)}$$

$$\Delta T_{sensível} = (45^\circ - 10^\circ) \quad \text{Eq. (13)}$$

$$\Delta T_{sensível} = 35^\circ C \quad \text{Eq. (14)}$$

- Calor latente de vaporização da água à pressão atmosférica [11]:

$$\Delta H_{latente} = 2\,260 \text{ kJ} \quad \text{Eq. (15)}$$

Com os dados todos determinados é assim possível resolver a equação 8. Têm-se então como:

$$Q = 600 * 4,19 * 35 + 600 * 2260 \quad \text{Eq. (16)}$$

$$Q = 1\ 443\ 990\ \text{kJ} \quad \text{Eq. (17)}$$

Então, a energia necessária para retirar a quantidade de água pretendida da castanha é de 1 443 990 kJ.

Para determinar a potência térmica é necessário definir um tempo, logo pode ser calculada de acordo com a equação 18 [11]:

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} \quad \text{Eq. (18)}$$

Em que:

\dot{Q} – Potência térmica necessária para retirar uma certa quantidade de água;

t – Tempo do processo de desidratação.

Sendo o tempo do processo 2 horas por patamar, têm-se assim 8h do processo de desidratação, o que dá 28 800 segundos. Então, a potência necessária para o processo é dada pela equação 20:

$$\dot{Q} = \frac{1\ 443\ 990}{28\ 800} \quad \text{Eq. (19)}$$

$$\dot{Q} = 50.14\ \text{kW} \quad \text{Eq. (20)}$$

Logo, a potência necessária para retirar de 1000 kg de castanha 600 kg de água em 8 horas é 50.14 kW.

3.5. Perda de carga

De maneira a possibilitar a circulação do ar dentro de toda a câmara de desidratação, será instalada uma caixa de ventilação que forçará a entrada de ar na câmara de desidratação. Assim, para selecionar a caixa de ventilação mais indicada para o processo deve-se então calcular o caudal mássico de ar necessário dentro da câmara e determinar a perda de carga existente ao ultrapassar toda a camada de castanhas desprezando as perdas na conduta e no permutador [12]. Com base nos estudos de Jamie Trahan sobre testes em camadas de rochas, será analisada a perda de carga na camada de castanhas como no artigo de “*Evaluation of pressure drop and particle sphericity for an air-rock bed thermal energy storage system*” [13]. Ter-se-á em conta que a caixa de ventilação não funciona num sistema contínuo, pelo que terá de ser capaz de superar as fases iniciais de “arranque” diárias, que por sua vez irá obrigar ao inconveniente de uma maior potência da caixa de ventilação [19].

Sendo assim, começa-se por determinar o caudal mássico que é necessário dentro da câmara de desidratação representado pela equação 21 [11]:

$$\dot{q}_m = \rho_{ar} * \dot{q}_v \quad \text{Eq. (21)}$$

Em que:

\dot{q}_m – Caudal mássico do ar;

ρ_{ar} – Massa específica do ar;

\dot{q}_v – Caudal volúmico de ar.

E:

- Massa específica do ar [11]:

$$\rho_{ar} = 1.225 \frac{kg}{m^3} \quad \text{Eq. (22)}$$

O caudal volúmico de ar é calculado de acordo com a equação 23 [11]:

$$\dot{q}_v = A_p * v \quad \text{Eq. (23)}$$

Em que:

A_p – Área do patamar;

v – Velocidade do ar.

Como referido anteriormente, as medidas de cada patamar são de 2 m de comprimento e 1 m de largura, pelo que a área de cada patamar é definida de acordo com a equação 24:

$$A_p = C_p * L_p \quad \text{Eq. (24)}$$

Em que:

C_p – Comprimento do patamar;

L_p – Largura do patamar.

Têm-se então:

$$A_p = 2 * 1 \quad \text{Eq. (25)}$$

$$A_p = 2 \text{ m}^2 \quad \text{Eq. (26)}$$

A velocidade do ar utilizada na maioria dos processos de desidratação artificial, como dito anteriormente no subcapítulo 2.1.5.5, é entre 0.5 m/s a 3 m/s, sendo que neste projeto estima-se utilizar uma velocidade do ar aproximadamente de 1 m/s [10].

Então o caudal volúmico é:

$$q_v = 2 * 1 \quad \text{Eq. (27)}$$

$$q_v = 2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{Eq. (28)}$$

Com o caudal volúmico determinado, o caudal mássico do ar é dado através da equação 26:

$$\dot{q}_m = 1.225 * 2 \quad \text{Eq. (29)}$$

$$\dot{q}_m = 2.45 \frac{kg}{s} \quad \text{Eq. (30)}$$

Para determinar a perda de carga no lote de castanhas é necessário saber a sua altura. Como o processo é realizado por patamares, é necessário saber a altura de castanhas em cada patamar para poder determinar a altura da camada total. Para isso, assumiu-se que a castanha por norma tem 0.03 m de comprimento, 0.03 m de largura e 0.02 m de altura, e determina-se a área com a equação 31:

$$A_c = C_c * L_c \quad \text{Eq. (31)}$$

Em que:

A_c – Área da castanha;

C_c – Comprimento da castanha;

L_c – Largura da castanha.

Então:

$$A_c = 0.03 * 0.03 \quad \text{Eq. (32)}$$

$$A_c = 0.0009 \text{ m}^2 \quad \text{Eq. (33)}$$

Para se saber o número de castanhas mais aproximado do real por área no patamar, calcula-se através da equação 34:

$$N_c = \frac{A_p}{A_c} \quad \text{Eq. (34)}$$

Em que o número aproximado de castanhas por área no patamar é:

$$N_c = \frac{2}{0.0009} \quad \text{Eq. (35)}$$

$$N_c = 2223 \text{ castanhas} \quad \text{Eq. (36)}$$

Assim, assumindo que por média 100 castanhas pesam 1 kg, 2223 castanhas pesam 22.23 kg por cada 0.02 m de altura de castanhas.

Pretende-se que cada patamar suporte 250 kg de castanhas, pelo que o número aproximado de filas de castanha por patamar é determinado de acordo com a equação 37:

$$N_f = \frac{m_{cp}}{m_{cA}} \quad \text{Eq. (37)}$$

Em que:

N_f – Número de filas de castanhas;

m_{cp} – Massa de castanhas por patamar;

m_{cA} – Massa de castanha por área.

Têm-se assim:

$$N_f = \frac{250}{22.22} \quad \text{Eq. (38)}$$

$$N_f = 11.25 \approx 12 \text{ filas} \quad \text{Eq. (39)}$$

Sabendo que a castanha tem aproximadamente 0.02 m de altura como dito anteriormente, consegue-se assim determinar a altura aproximada de castanhas por patamar com a equação 40:

$$H_{cp} = N_f * H_c \quad \text{Eq. (40)}$$

Em que:

H_{cp} – Altura de castanhas por lote;

H_c – Altura de uma castanha.

Têm-se assim:

$$H_{cp} = 12 * 0.02 \quad \text{Eq. (41)}$$

$$H_{cp} = 0.24 \text{ m} \quad \text{Eq. (42)}$$

Determinada a altura de castanhas por patamar, sendo esta de 0.24 m, têm-se assim uma altura total de camada de castanhas na câmara de desidratação de aproximadamente 1 m. Logo, analisando a figura 3 relativa ao artigo de Jamie Trahan, anteriormente falado, para um caudal mássico de 2.45 kg/s e para 1 metro de camada de castanhas têm-se uma perda de carga de aproximadamente 1800 Pa. Este valor da perda de carga determinado, será utilizado para a seleção da caixa de ventilação mais apropriada para incorporar no equipamento [13].

4. Resultados e Discussão

Nos tópicos seguintes são determinadas as potências dos equipamentos usados no projeto e os desenhos definição dos equipamentos.

4.1. Seleção da bomba de calor

A bomba de calor tem como objetivo principal tornar possível o aquecimento do ar a ser insuflado na câmara de desidratação. Para isso a bomba de calor irá aquecer uma certa quantidade de água mantida num circuito fechado e armazenada num depósito de água, denominado depósito de inércia e a partir deste é que o ar será aquecido ao passar por um permutador de calor dentro da caixa ventilação, onde circula a água aquecida.

Contudo, é necessário determinar a potência mecânica que a bomba de calor necessita, tendo em conta o seu COP, para cumprir o seu objetivo, desidratar os 1000 kg de castanhas. Sendo assim, a equação 43 determina a potência necessária da bomba de calor [11].

$$W_{entra} = \frac{q_{fim}}{COP} \quad \text{Eq. (43)}$$

Logo, optando por uma bomba com um Coeficiente de Performance, *COP*, de valor 4.82 têm-se na equação 45 a potência mecânica necessária:

$$W_{entra} = \frac{50.14}{4.82} \quad \text{Eq. (44)}$$

$$W_{entra} = 10.40 \approx 11 \text{ kW} \quad \text{Eq. (45)}$$

Para seleccionar a bomba de calor ideal para o projeto, recorreu-se à marca BOSCH com o modelo da linha COMPRESS 6000 sendo seleccionada a bomba de calor com o modelo COMPRESS 6000 AW-17t. Esta bomba de calor tem uma potência mecânica de 17 kW, potência esta sobredimensionada, mas necessária pois na altura do ano das castanhas, as temperaturas exteriores rondam de 5 °C a 10 °C diminuindo assim a eficiência e o COP da bomba de calor tendo por sua vez menos potência para garantir o processo de desidratação

ideal. O equipamento tem ainda a capacidade de aquecimento de água até 60 °C, sendo o pretendido 55 °C e algo a ter em conta é a sua eficiência elétrica A++. Na tabela 2 estão representadas algumas das características da bomba de calor selecionada sendo as mais revelantes para a explicação do sistema térmico, a potência mecânica de 17 kW, o *COP* de 4.82, a temperatura do ar limite de funcionamento entre os -20 °C e os 35 °C e a temperatura de máximo aquecimento do fluido sendo 60 °C. As restantes características estão no anexo B.

Tabela 2 - Características da Bomba de calor.

Modelo AW-17t		
Potência máx. (aquec)	kW	17
<i>COP</i>	--	4.82
Limite funcionamento (temperatura do ar)	°C	-20 a +35
Temperatura de impulsão (máximo aquecimento)	°C	60

4.2. Caixa de ventilação com permutador de calor

A caixa de ventilação conduz o ar do ambiente por um permutador, ou bateria de aquecimento, onde circula a água aquecida pela bomba de calor estando esta armazenada no depósito de inércia, e assim esse ar ao passar pelo permutador é conduzido por uma conduta até ao patamar inferior da estrutura onde se espalhará uniformemente pelo mesmo.

4.2.1. Caixa de ventilação

Este equipamento é selecionado tendo em conta o caudal volúmico por hora necessário para o processo, e a perda de carga que a mesma terá que vencer, calculada anteriormente. Então é necessário determinar o caudal volúmico por hora na equação 46 e o valor é dado na equação 47:

$$\dot{q}_v = 2 * 3600 \quad \text{Eq. (46)}$$

$$\dot{q}_v = 7200 \frac{m^3}{h} \quad \text{Eq. (47)}$$

Sabe-se então o caudal volúmico de $7200 \text{ m}^3/\text{h}$ e que a perda de carga a vencer na câmara de desidratação é de 1800 Pa. Com os valores determinados foi procurado numa tabela deste tipo de equipamento, da marca SODECA, o equipamento que melhor se adequa ao pretendido sendo selecionado o equipamento da figura 11 com o modelo CMR-1445-2T IE3.



Ventilador:

- Envolvente em chapa de aço.
- Turbina com pás à reação, em chapa de aço de grande robustez.

Motor:

- Motores de eficiência IE3 para potências iguais ou superiores a 0,75 kW, exceto monofásicos, 2 velocidades e 8 polos.
- Motores classe F, com rolamentos de esferas, proteção IP55.
- Trifásicos 230/400 V-50 Hz (até 4 kW) e 400/690 V-50 Hz (potências superiores a 4 kW).
- Temperatura máxima do ar a transportar: -20 °C +120 °C.

Figura 11 - Caixa de ventilação SODECA CMR-1445-2T IE3.

Na figura 12 estão representadas as características do equipamento e a sua curva característica.

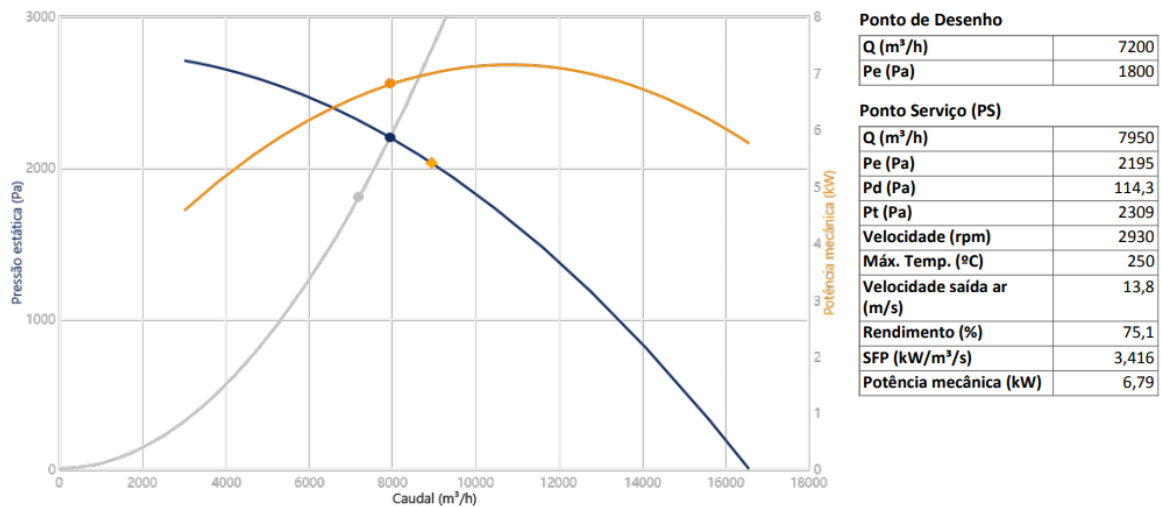


Figura 12 - Características da caixa de ventilação.

Como se pode verificar na figura 12 o ponto cinza é o ponto das características pretendidas para o equipamento e encontra-se abaixo da potência e rendimento máximo do equipamento, estando assim ligeiramente sobredimensionado, mas necessário pois em funcionamento é possível regular a potência aplicada pelo mesmo no processo.

4.2.2. Permutador de calor ou bateria de aquecimento

O permutador de calor ou bateria de aquecimento é um dos equipamentos essenciais do sistema, pois é a por ele que passa o ar do ambiente e é aquecido antes de entrar na conduta devido à sua temperatura causada pela circulação interior do circuito de água proveniente do depósito de inércia e anteriormente aquecida pela bomba de calor como antes mencionado. Assim, seleciona-se este equipamento tendo em conta a potência térmica necessária para a

desidratação dos 1000 kg de castanhas calculada na equação 20. Na figura 13 está representado o tipo de equipamento selecionado.

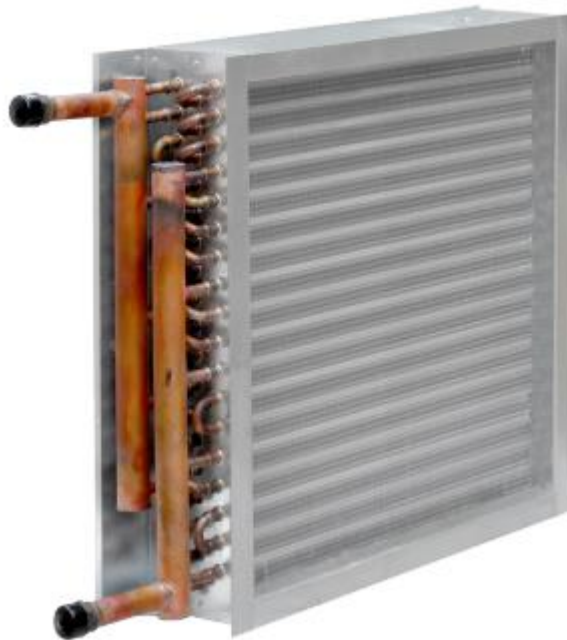


Figura 13 - Permutador TDA 27T-750L-3F.

A potência térmica necessária para o processo de desidratação calculada na equação 16 tem o valor de 50.14 kW, logo o permutador de calor terá de ter no mínimo a mesma potência térmica e permitir a passagem do caudal volúmico pretendido. Então o equipamento selecionado é da marca TDA com o modelo 27T-750L-3F. Na tabela 3 estão representadas as características mais revelantes do equipamento, as restantes características estão no anexo B.

Tabela 3 - Características do permutador de calor.

Propriedades	60 kW	27T-750L-3F
Características aeráulicas		
Capacidade	kW	71.30
Caudal volúmico de ar	m ³ /h	12000
Temperatura do ar na entrada	°C	25
Temperatura do ar na saída	°C	42.8
Características hidráulicas		
Temperatura do fluido na entrada	°C	80
Temperatura do fluido na saída	°C	56

O equipamento selecionado corresponde a todas as características pretendidas tendo 71.3 kW de capacidade térmica, superior ao necessário, mas existem sempre algumas perdas de rendimento.

4.3. Depósito de inércia

O depósito de inércia tem como principal função acumular o fluido aquecido pela bomba de calor e auxiliando assim para melhor eficiência no consumo elétrico da bomba de calor e também na circulação mais eficiente de fluido à temperatura desejada na caixa de ventilação. Este equipamento pode ainda ser acoplada uma resistência elétrica de 2000 W para ajudar na produção de água à temperatura desejada nos dias de baixa temperatura exterior que dificultam o trabalho da bomba de calor baixando o seu rendimento. Este equipamento é composto por um depósito interior em INOX de forma cilíndrica e um isolamento térmico de espuma poliuretano rígida. O depósito de inércia escolhido é da marca TESY do modelo V200 60 F40 P4. Na tabela 4 estão representadas algumas das suas

características técnicas mais importantes, as restantes estão na ficha técnica do equipamento no anexo B.

Tabela 4 - Características do depósito de inércia.

Modelo V200 60 F40 P4		
Volume	L	200
Isolamento	mm	50
Temperatura máxima de operação	°C	95

O equipamento seleccionado tem uma capacidade de armazenamento de 200 litros de água, um isolamento térmico de 50 mm e a capacidade de manter a água no seu interior até 95 °C.

4.4. Sensor de temperatura e humidade

O sensor de temperatura é um equipamento essencial para este processo de primeira transformação, pois é através dele que se tem o controlo da temperatura e humidade do ar em cada patamar. Onde tem de existir maior controlo é no patamar 4, o último patamar da transformação da castanha, pois é onde se quer um valor exato de humidade naquele momento antes de finalizar o processo. Então para esse devido controlo foi selecionado um transmissor de temperatura e humidade o mais simples e direto possível. Este equipamento é uma simples sonda com um mostrador de 4 dígitos onde se visualiza a temperatura e humidade do ar no local instalado. Para esta máquina serão apenas colocados 3 transmissores destes, pois o primeiro patamar, onde são introduzidas as castanhas, como é aberto com o exterior e como se inicia lá o processo de transformação, é desnecessário saber essas características do ar no momento. Assim o transmissor selecionado é da marca TECNISIS com o modelo SEM 162 e tem as seguintes características descritas na figura 14.



Figura 14 - Sensor de temperatura e humidade TECNISIS SEM 162.

4.5. Projeto final

O projeto final é o conjunto formado pela assemblagem do projeto estrutural com o sistema térmico. A interligação dos dois é feita com a ligação da conduta à zona de entrada de ar na câmara de desidratação e ligados por parafusos M8 para a fácil junção e separação dos sistemas. Na figura 15 é representado este projeto final com numeração de alguns componentes da estrutura e do sistema térmico.

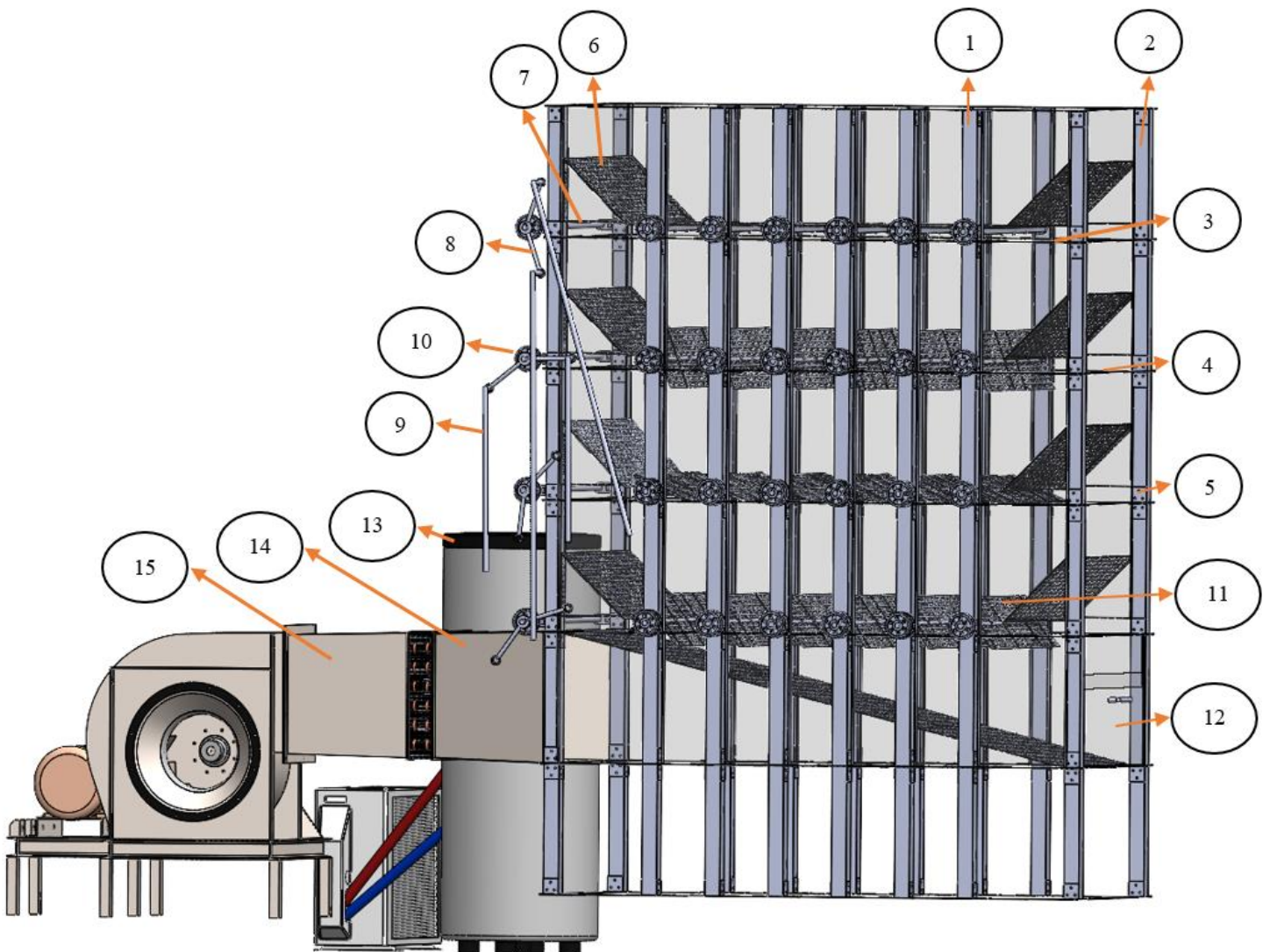


Figura 15 – Projeto final.

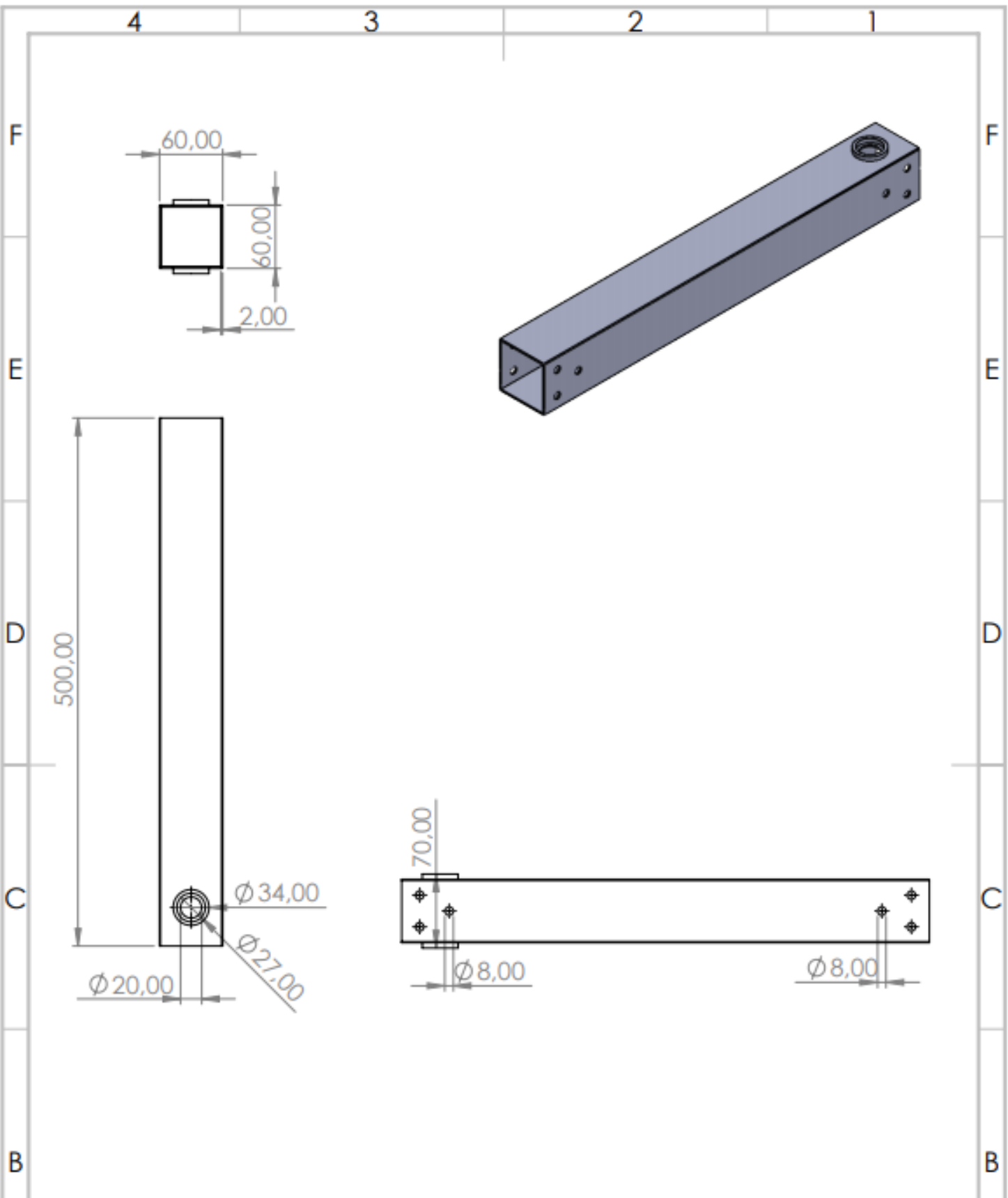
Na tabela 5 estão identificados alguns componentes do projeto final, desde a sua designação há quantidade de componentes nele existentes. Os desenhos definição dos mesmo estão no subcapítulo 4.6.

Tabela 5 - Componentes do projeto final.

N.º dos componentes	Descrição	Quantidade
1	Perfil para comportas	48
2	Perfil para estrutura	48
3	Barra estabilizadora	14
4	Barra estabilizadora lateral	14
5	Fixador perfis	384
6	Grelha lateral	8
7	Veio exterior	4
8	Manípulo	4
9	Puxador	4
10	Polia	52
11	Chapa comporta	24
12	Porta descarga	1
13	Depósito de inércia	1
14	Conduta 1	1
15	Conduta 2	1

4.6. Desenhos de individuais

Para a elaboração deste projeto em 3D foi usado o software SolidWorks 2019 e conclusão no software SolidWorks 2020. Nas páginas seguintes serão apresentados os desenhos de definição dos componentes utilizados para a construção do projeto final da máquina para desidratar castanhas.



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
						Desidratador de castanhas			
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
André						Perfil p/Comportas			
CHKD						MATERIAL:			
APPVD						Aço CK45			
MFG						DWG NO.		A4	
Q.A						SCALE: 1:5		SHEET 1 OF 1	
						WEIGHT:			

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

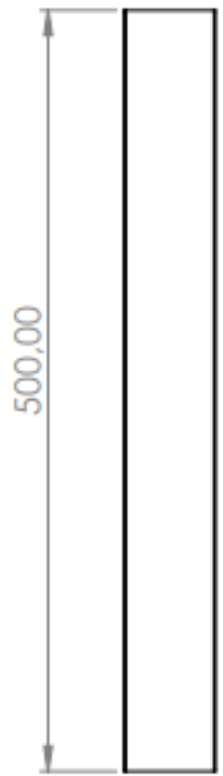
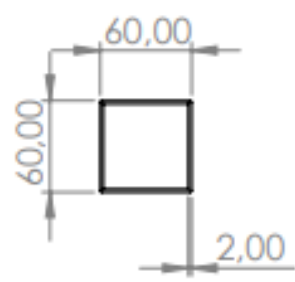
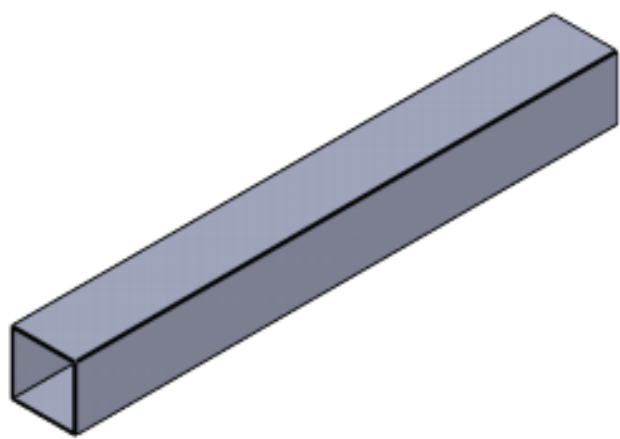
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

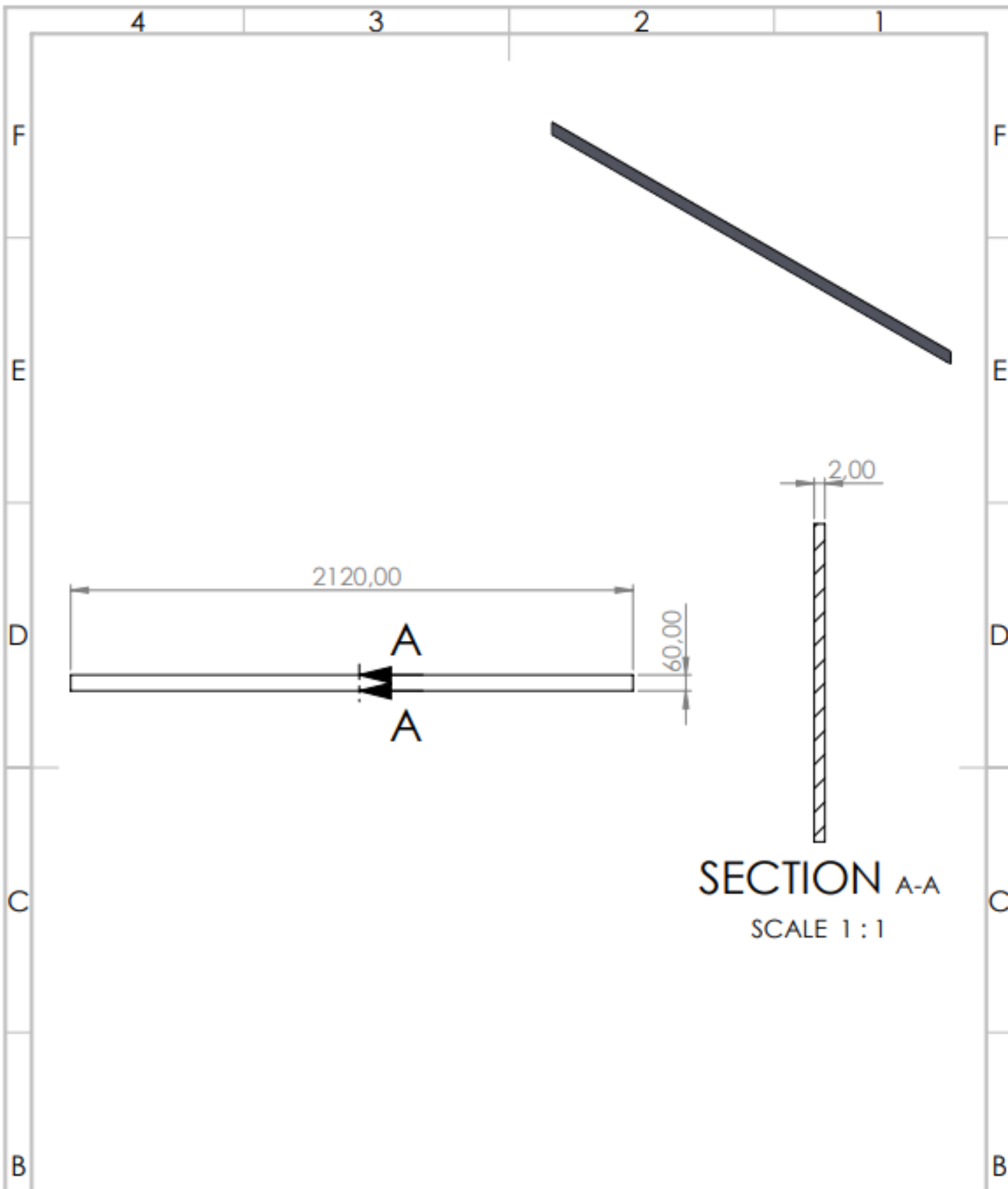
REVISION

Desidratador de castanhas

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	André		
CHKD			
APP'VD			
MFG			
Q.A			

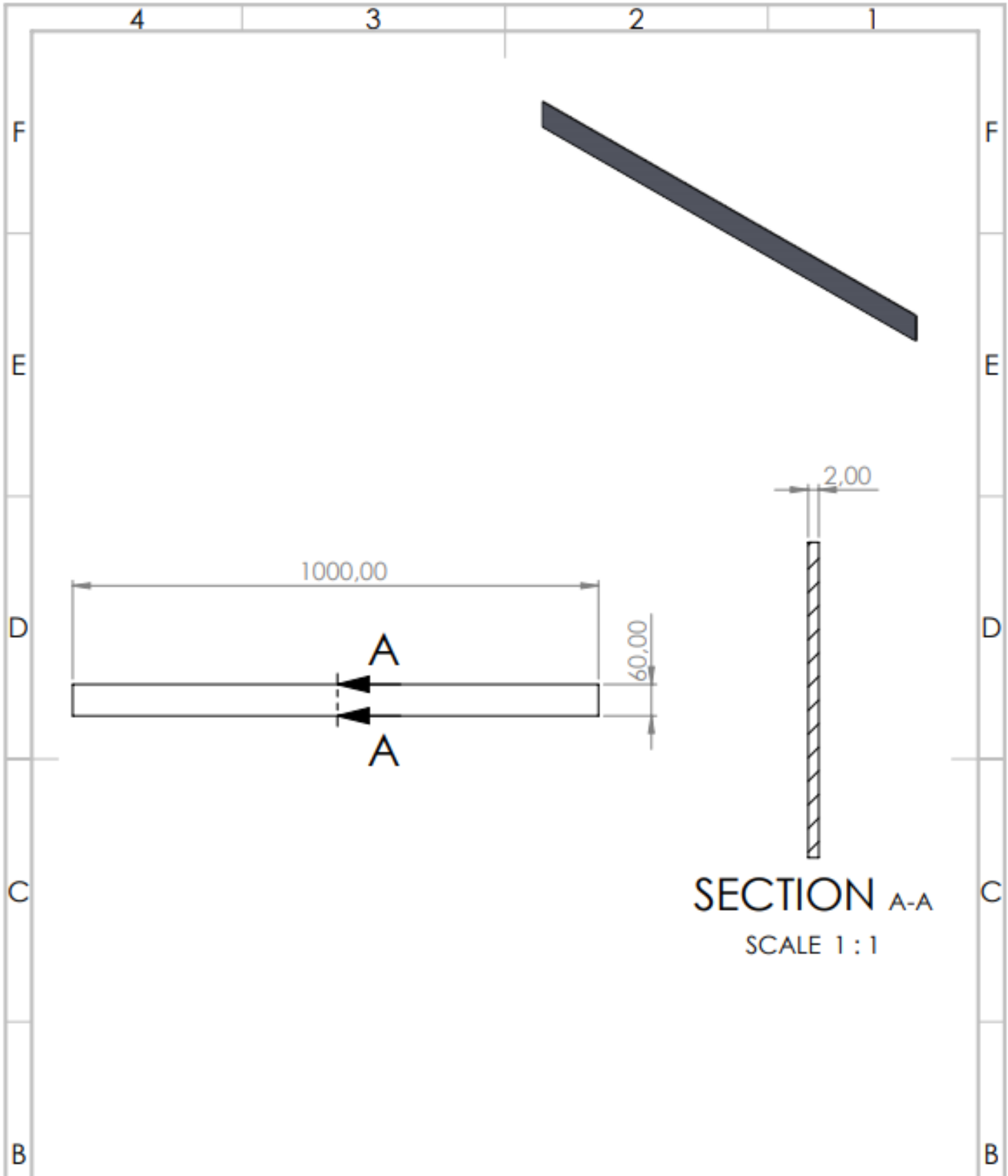
TITLE:	
Perfil p/Estrutura	
MATERIAL:	DWG. NO.
Aço CK45	A4
WEIGHT:	SCALE 1:5
	SHEET 1 OF 1

4 3 2 1



SECTION A-A
SCALE 1 : 1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
						Desidratador de castanhas			
						TITLE: Barra Estabilizadora			
						MATERIAL: Aço CK45		DWG NO.:	
						WEIGHT:		SCALE 1:20	
								SHEET 1 OF 1	
DRAWN André		SIGNATURE		DATE				A4	
CHKD									
APP'VD									
MFG									
Q.A									



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
							Desidratador de castanhas				
							TITLE: Barra Est. Lateral				
DRAWN: André			SIGNATURE:		DATE:		MATERIAL: Aço CK45		DWG NO.:		A4
CHKD:							WEIGHT:		SCALE: 1:10		SHEET 1 OF 1
APP'VD:											
MFG:											
Q.A:											

4

3

2

1

F

F

E

E

D

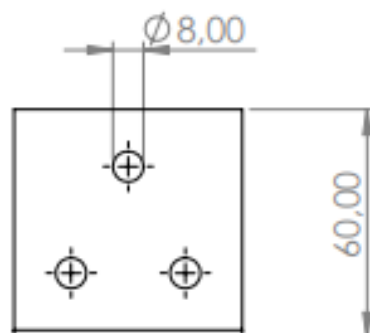
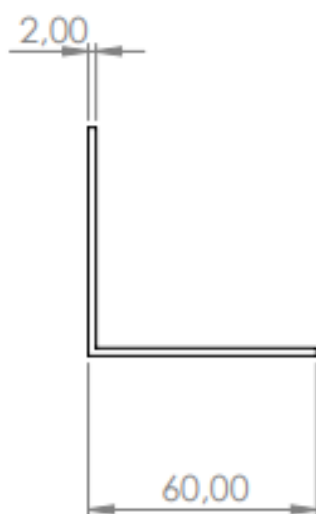
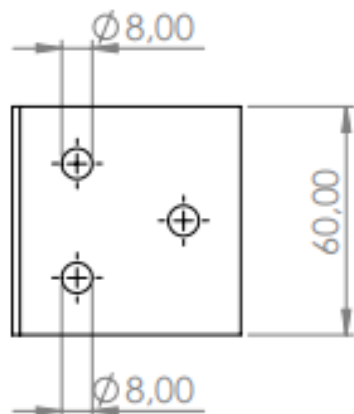
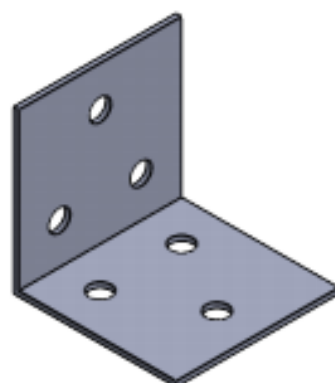
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Desidratador de castanhas

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	André		
CHKD			
APPYD			
MFG			
QA			

TITLE:

Fixador Perfis

MATERIAL:

Aço CK45

DWG NO.

A4

WEIGHT:

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1

4

3

2

1

4 3 2 1

F F

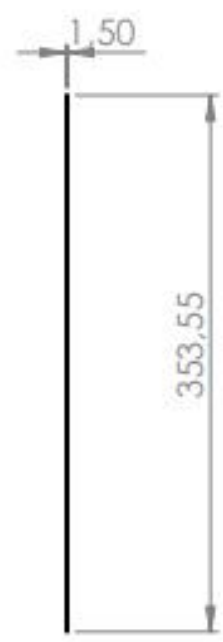
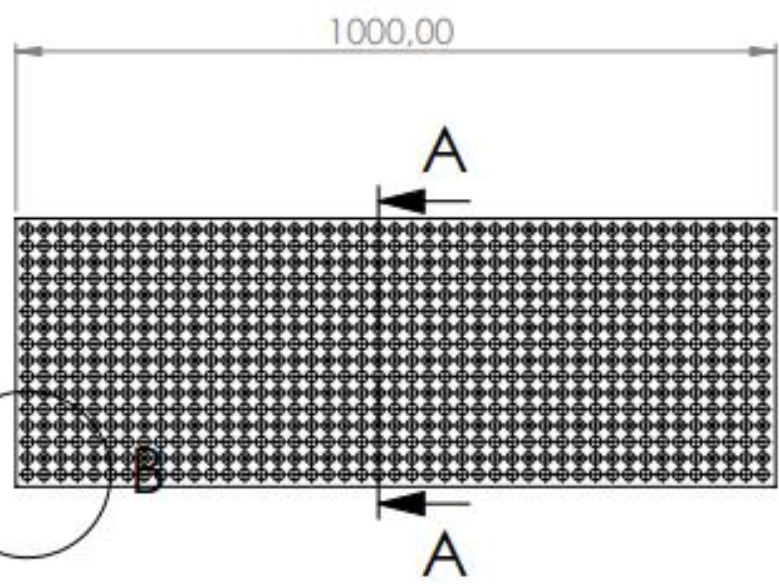
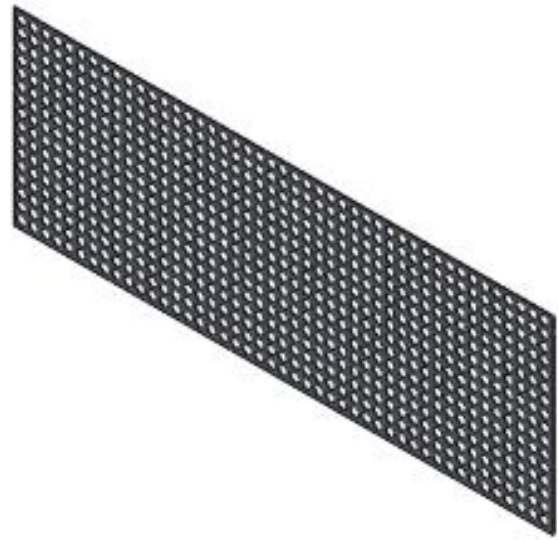
E E

D D

C C

B B

A A



SECTION A-A
SCALE 1 : 5



DETAIL B
SCALE 1 : 5

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:
DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION

Desidratador de castanhas

Grelha Lateral

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	André				
CHKD					
APPYD					
MFG					
Q.A					

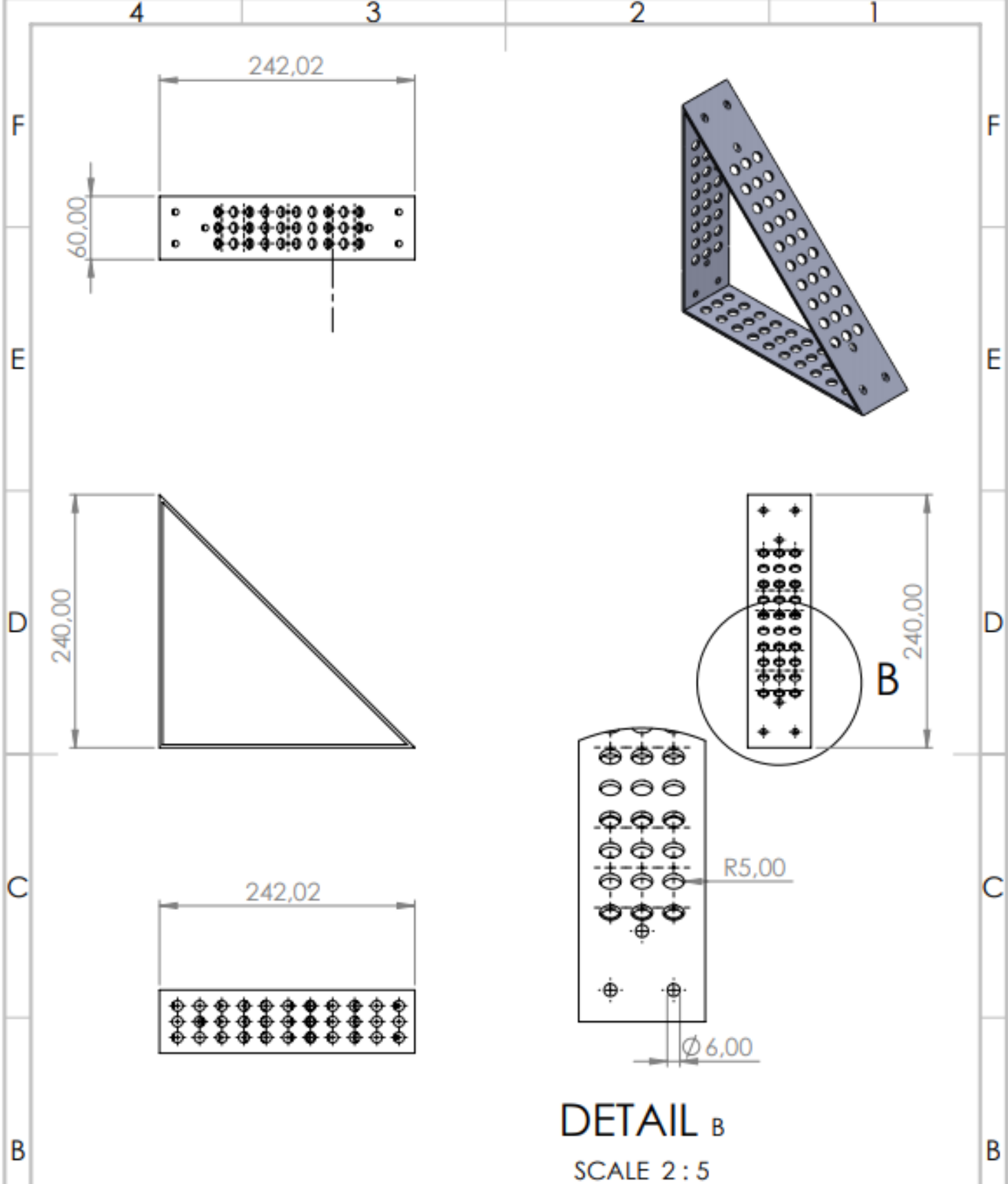
TITLE:
Grelha Lateral

MATERIAL:
Aço CK45

DWG NO. **A4**

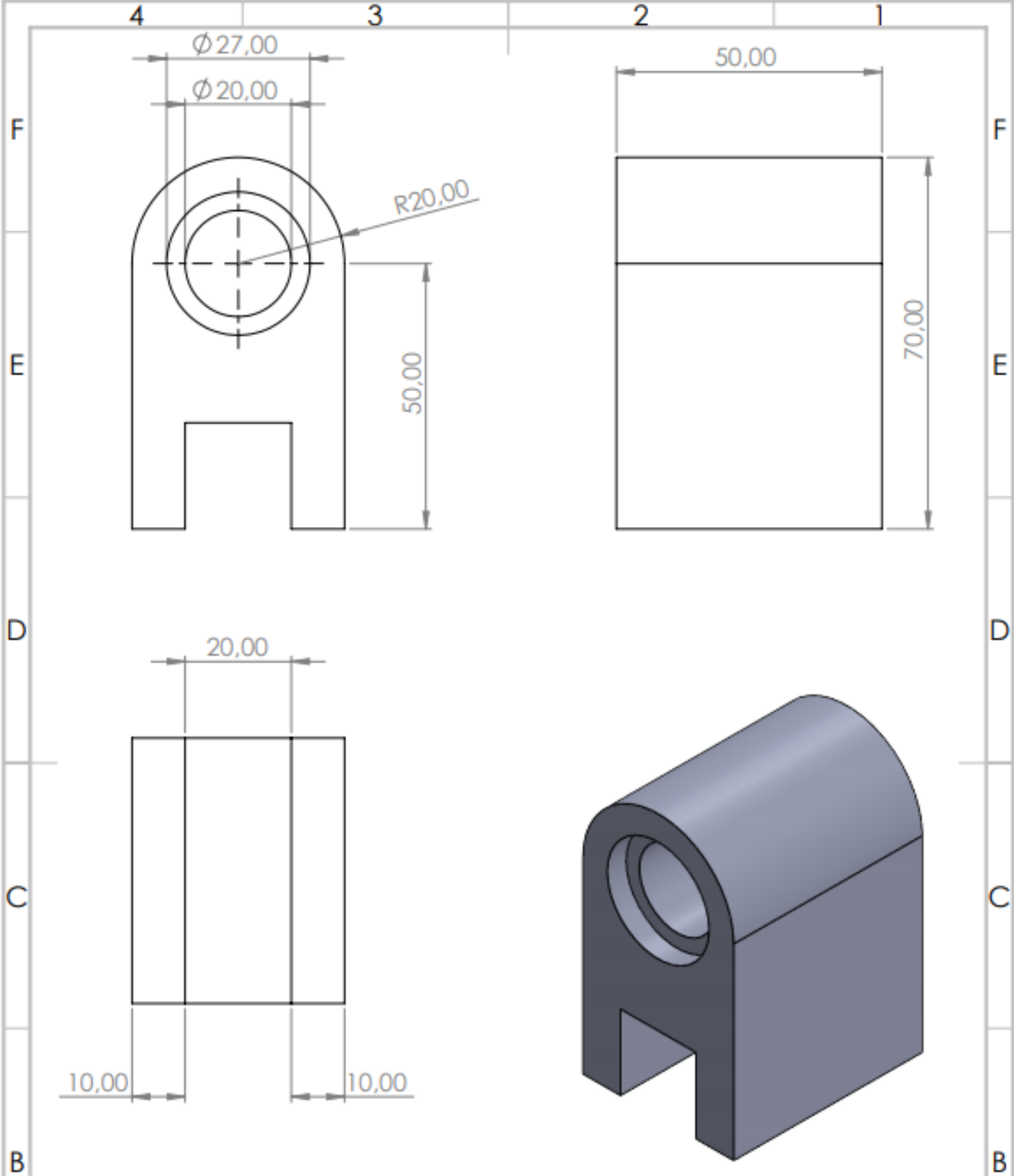
SCALE 1:10 SHEET 1 OF 1

4 3 2 1



DETAIL B
SCALE 2 : 5

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
							Desidratador de castanhas				
							Triangulo Suporte				
							MATERIAL: Aço CK45				
							DWG NO. A4				
							WEICHT: SCALE: 1:5 SHEET 1 OF 1				



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Desidratador de castanhas

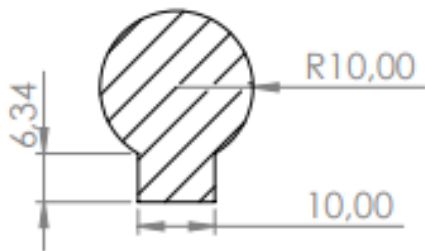
TITLE:
Apoio Veio Exterior

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	André		
CHKD			
APPVD			
MFG			
QA			

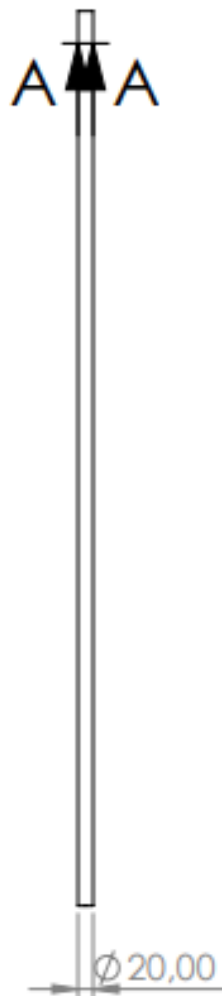
MATERIAL:
Aço CK45

DWG. NO. A4

WEIGHT: SCALE: 1:1 SHEET 1 OF 1



SECTION A-A
SCALE 1 : 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Desidratador de castanhas

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	André				
CHKD					
APPVD					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				Aço CK45	
				WEIGHT:	

TITLE:

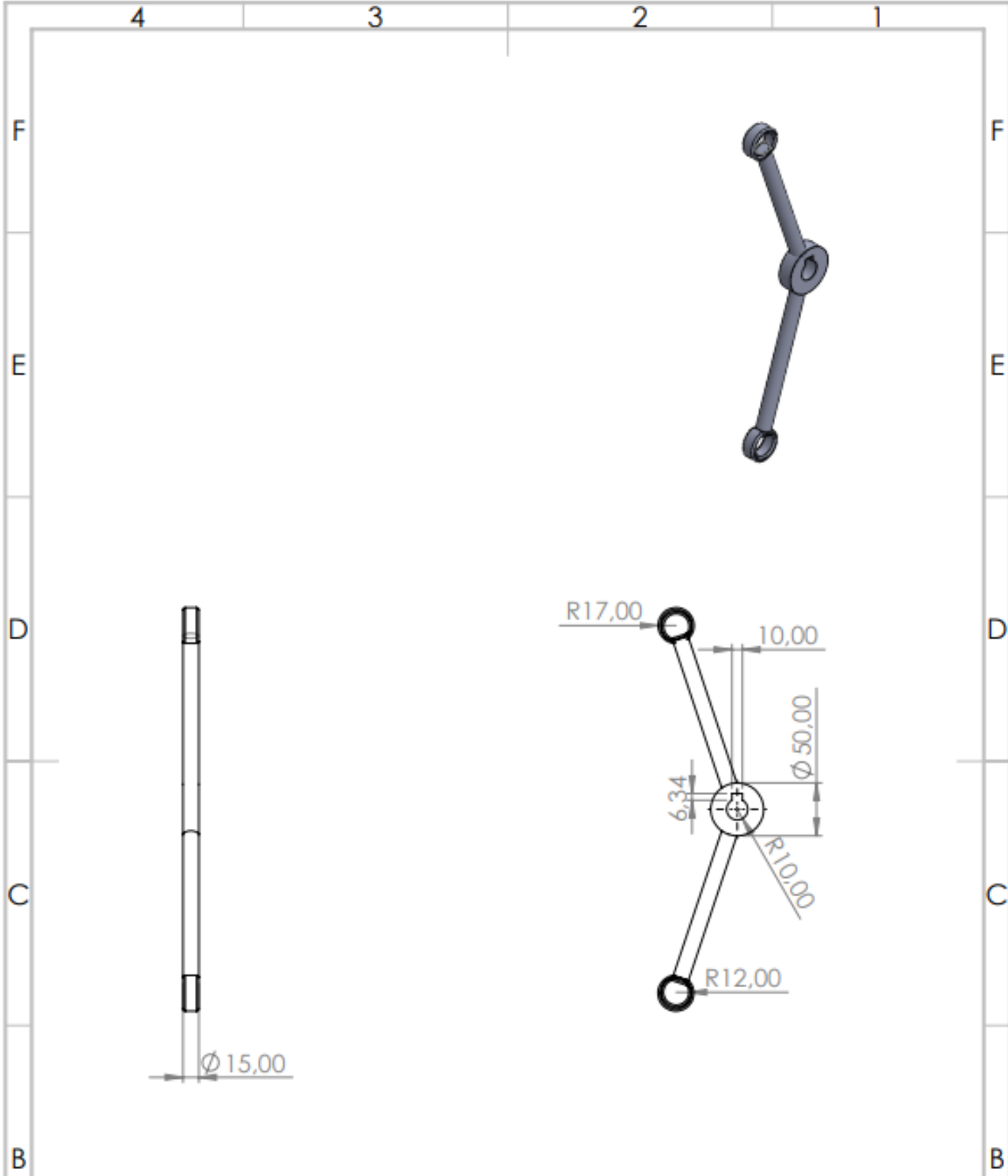
Veio Exterior

DWG NO.

A4

SCALE 1:10

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

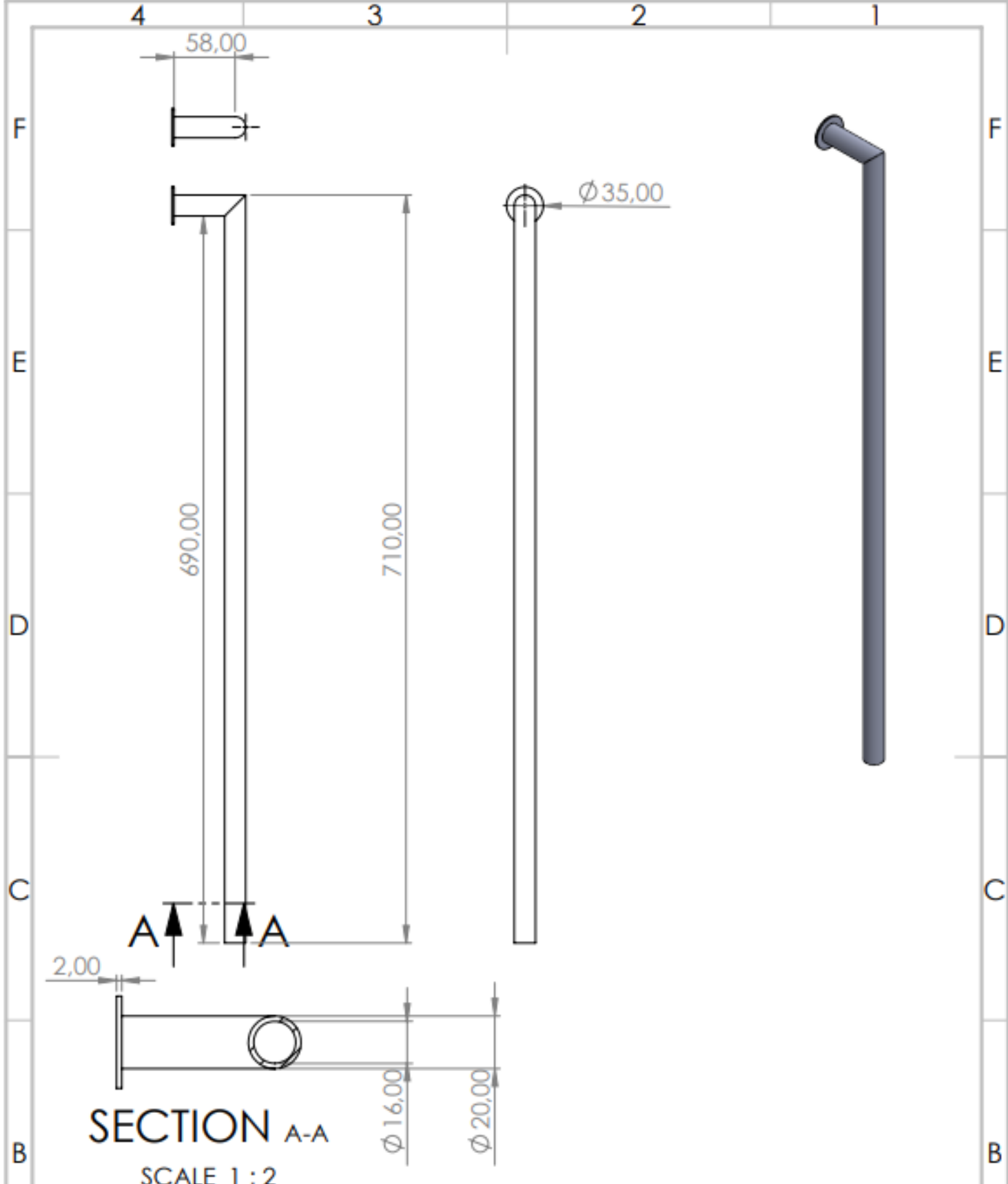
REVISION

Desidratador de castanhas

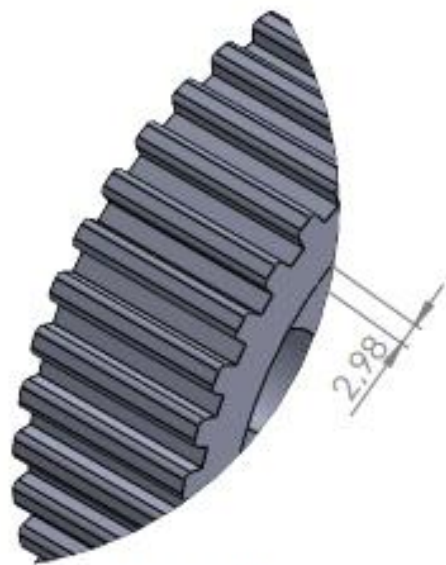
Manípulo

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	André				
CHKD					
APPYD					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	Aço CK45
				WEIGHT:	

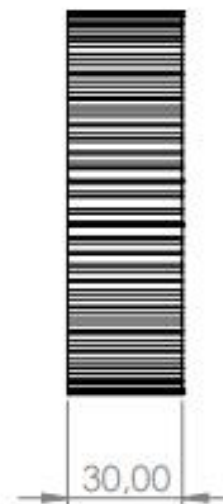
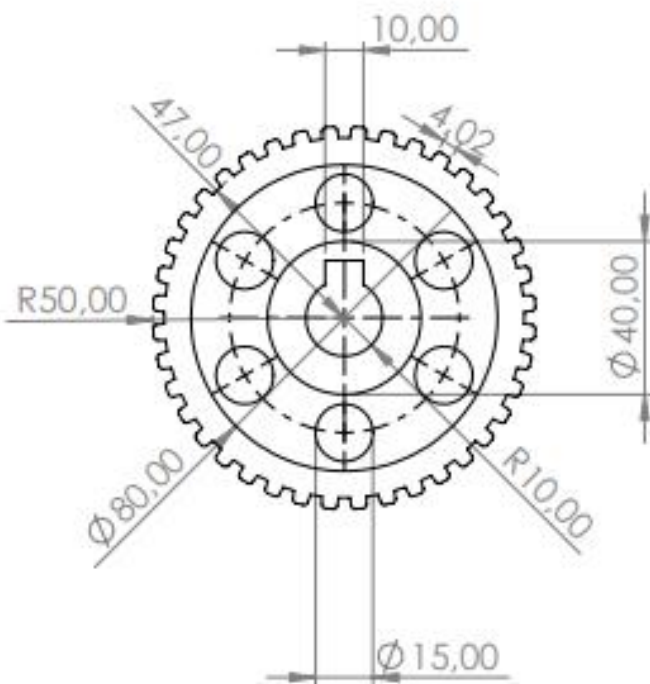
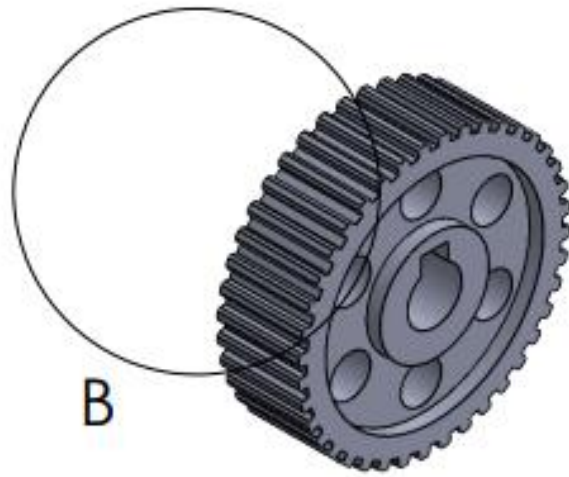
TITLE:	Manípulo	
DWG NO.:		A4
SCALE: 1:5		SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
						Desidratador de castanhas	
NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE:				
DRAWN: André			Puxador				
CHKD:							
APP'VD:			MATERIAL:				
MFG:			Aço CK45				
Q.A.			DWG. NO.:				
						A4	
WEIGHT:						SCALE 1:5	
						SHEET 1 OF 1	



DETAIL B
SCALE 1 : 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Desidratador de castanhas

Polia

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	André		
CHKD			
APP'VD			
MFG			
QA			

MATERIAL:
Aço CK45

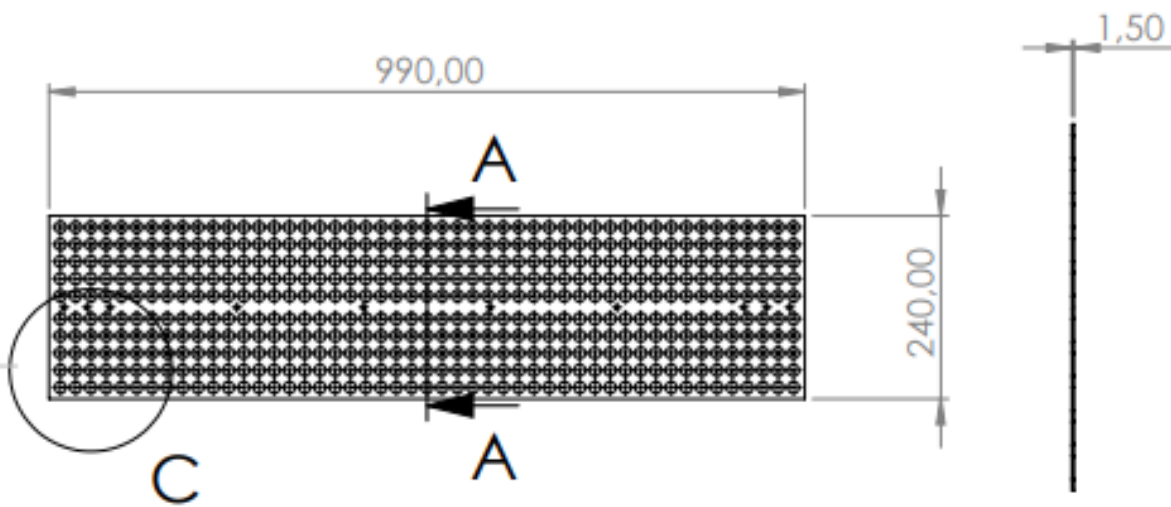
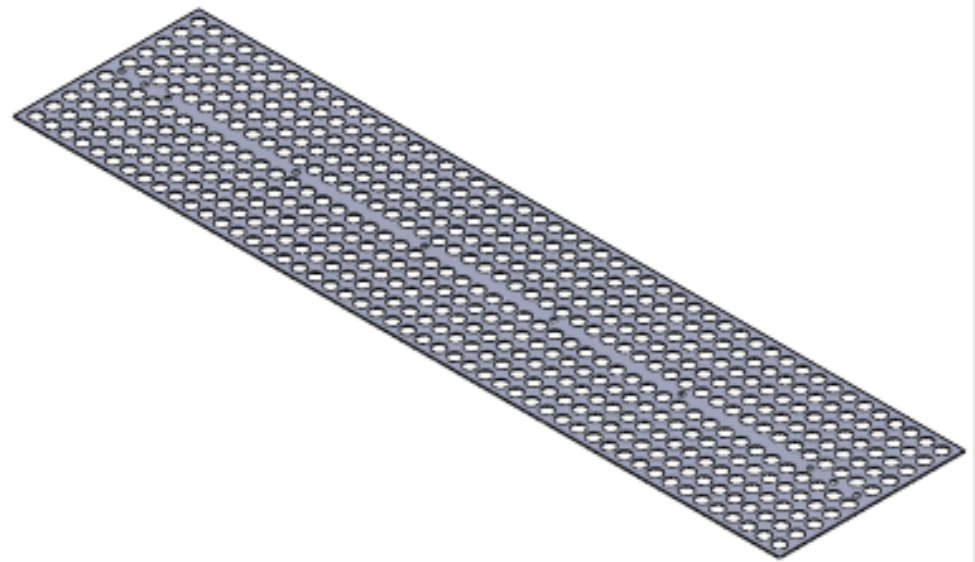
DWG NO.

A4

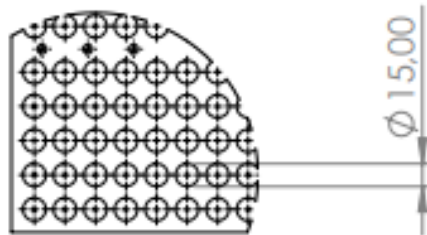
WEIGHT:

SCALE 1:2

SHEET 1 OF 1



SECTION A-A
SCALE 1 : 5



DETAIL C
SCALE 1 : 5

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Desidratador de castanhas

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	André		
CHKD			
APPVD			
MFG			
Q.A			

TITLE:

Chapa Comporta

MATERIAL:

Aço CK45

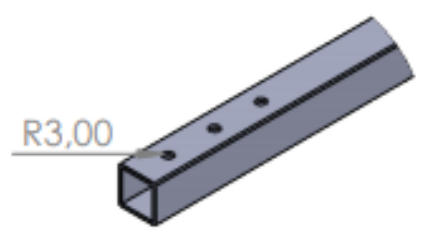
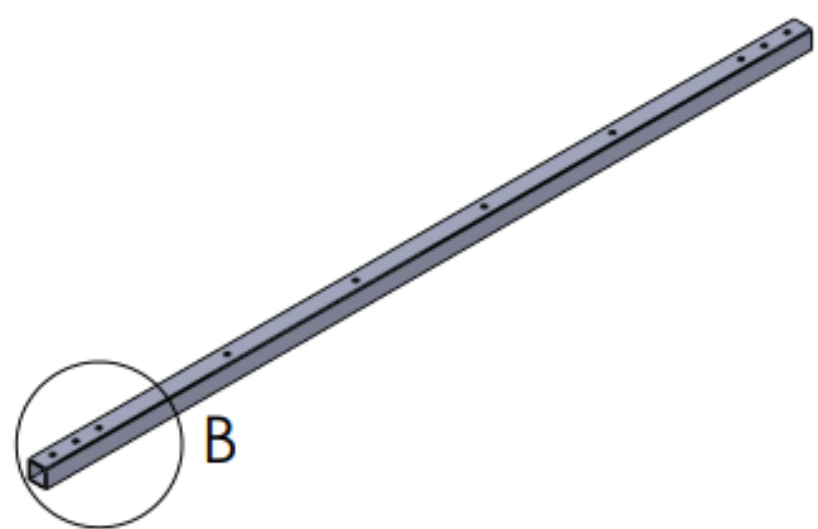
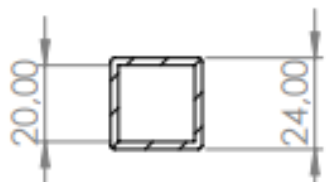
DWG NO.

A4

WEIGHT:

SCALE: 1:20

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
					Desidratador de castanhas	
NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE:			
DRAWN André			Veio Quadrado			
CHKD			DWG NO.			
APPVD			A4			
MFG			MATERIAL: Aço CK45			
Q.A.			WEIGHT:			
			SCALE: 1:10		SHEET 1 OF 1	

4

3

2

1

F

F

E

E

D

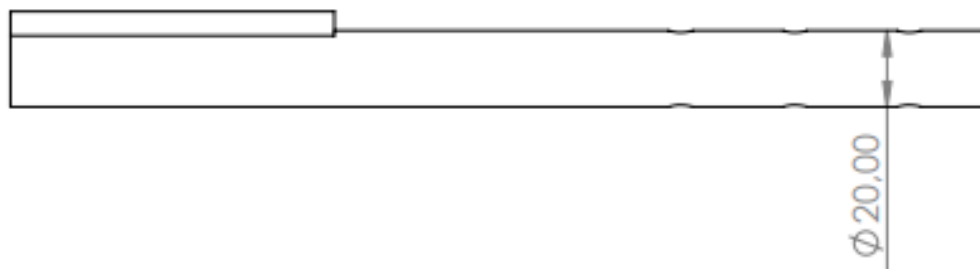
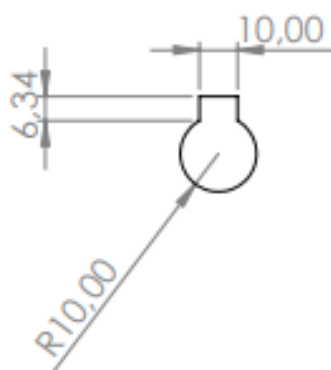
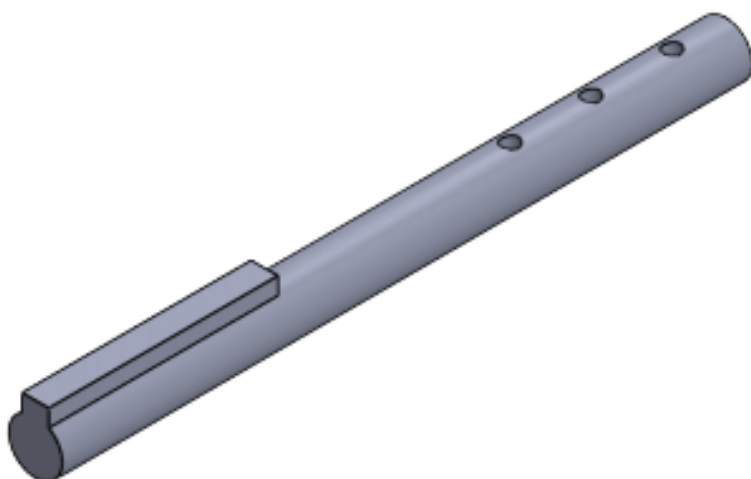
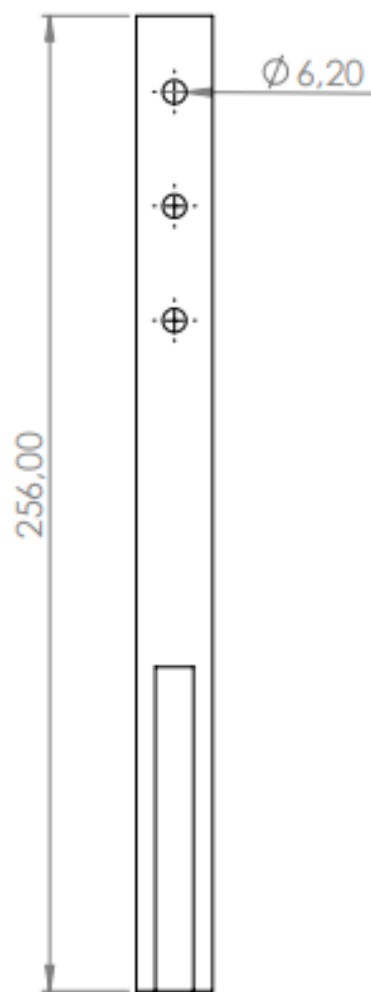
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Desidratador de castanhas

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	André				
CHKD					
APPVD					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				Aço CK45	
				WEIGHT:	

TITLE:

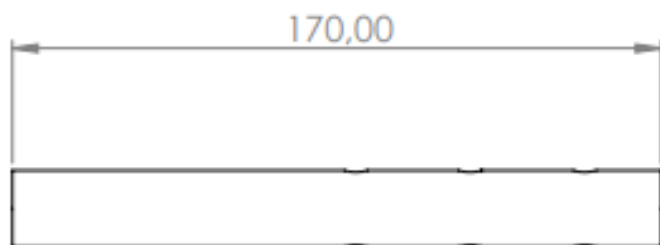
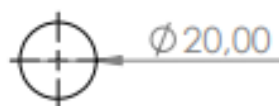
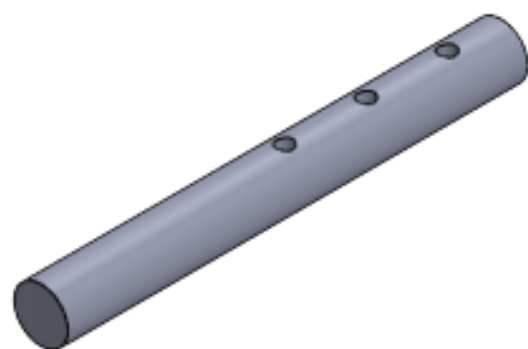
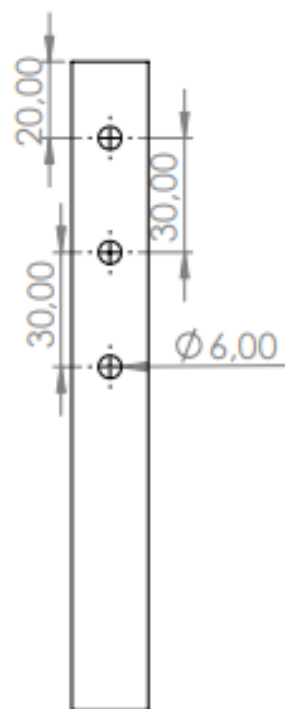
Veio Redondo Polia

DWG NO.:

A4

SCALE: 1:5

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Desidratador de castanhas

TITLE:

Veio Redondo

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	André				
CHKD					
APPVD					
MFG					
Q.A					

MATERIAL:

Aço CK45

DWG NO.

A4

WEIGHT:

SCALE: 1:2

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

F F

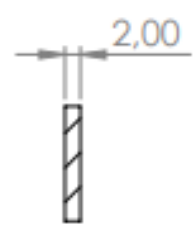
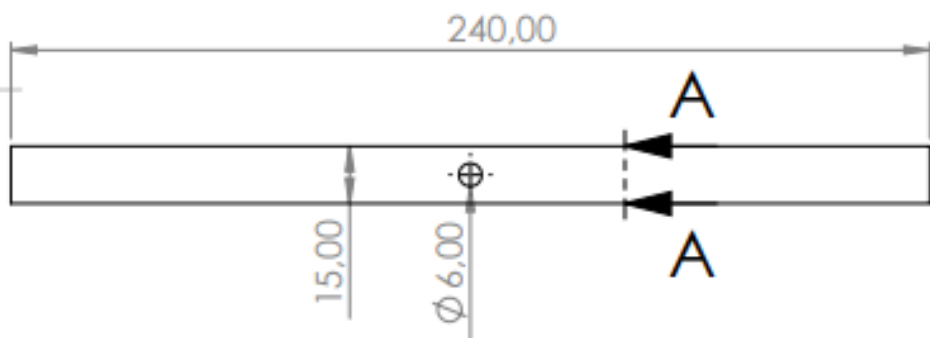
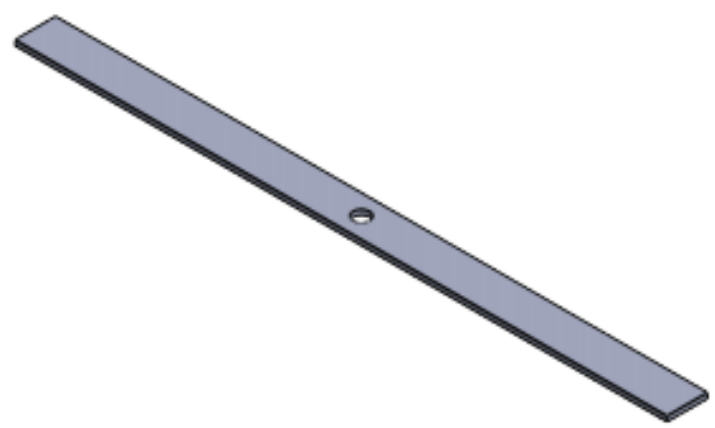
E E

D D

C C

B B

A A



SECTION A-A
SCALE 1 : 1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

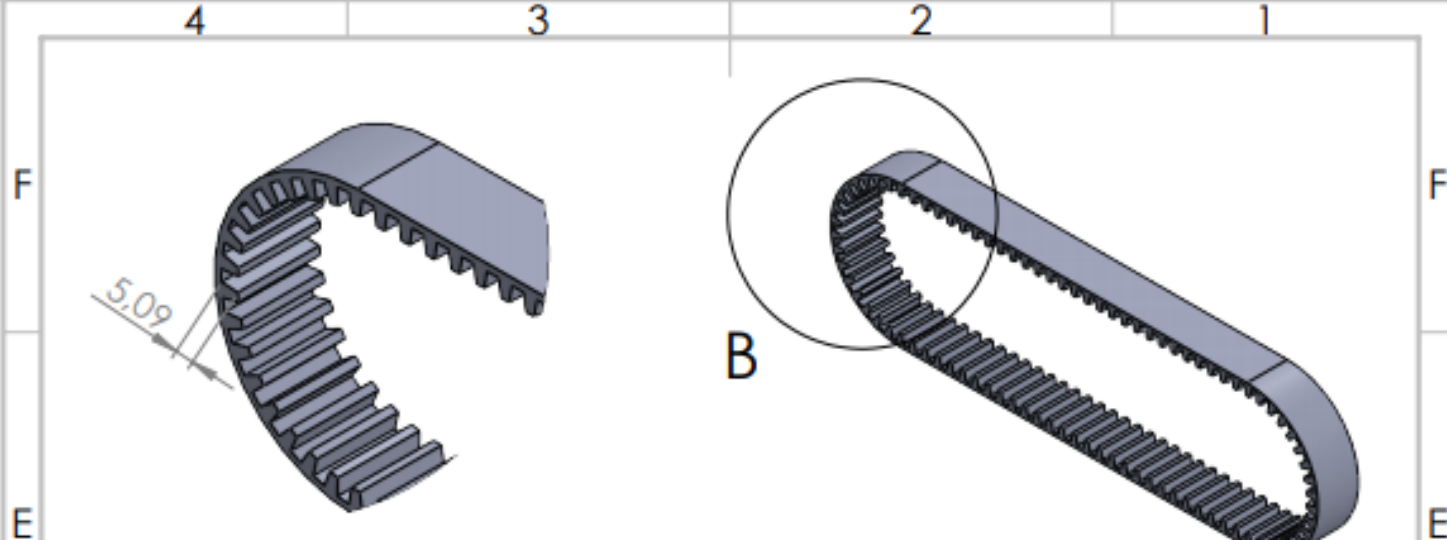
REVISION

Desidratador de castanhas

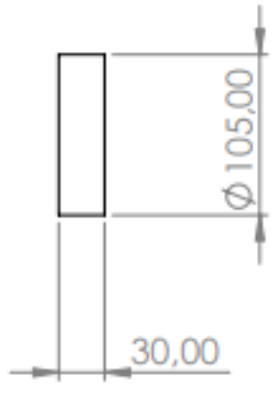
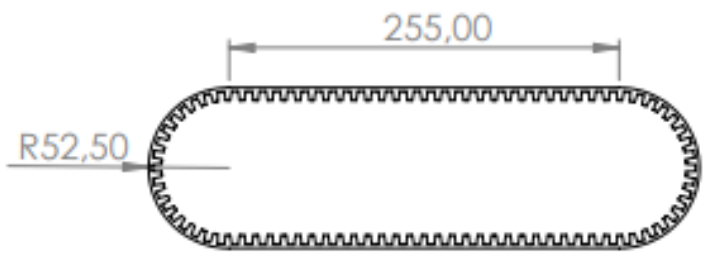
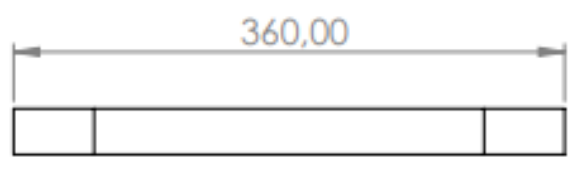
	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	André		
CHKD			
APP'VD			
MFG			
Q.A			

TITLE:	
Reforço Comporta	
MATERIAL:	DWG. NO.
Aço CK45	André
WEIGHT:	SCALE 1:5
	SHEET 1 OF 1

4 3 2 1



DETAIL B
SCALE 1 : 2



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

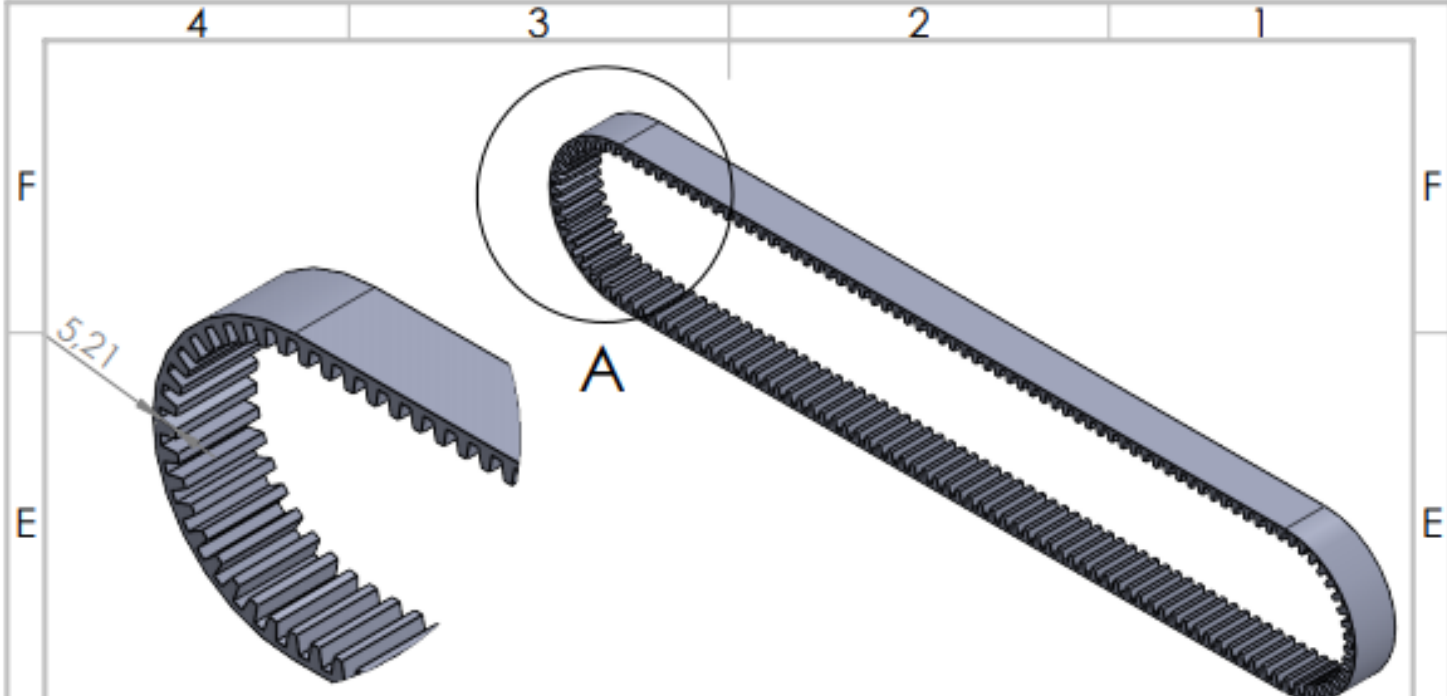
DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

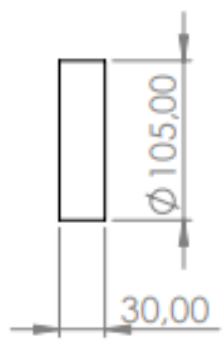
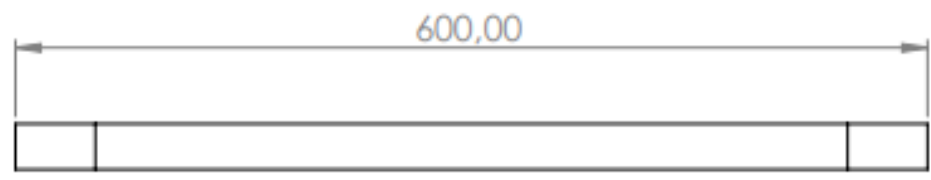
Desidratador de castanhas

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	André		
CHKD			
APPVD			
MFG			
Q.A			

TITLE:	<h1>Correia Pequena</h1>
DWG NO.	
MATERIAL:	A4
WEIGHT:	SCALE 1:5
	SHEET 1 OF 1



DETAIL A
SCALE 1 : 2



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING
REVISION

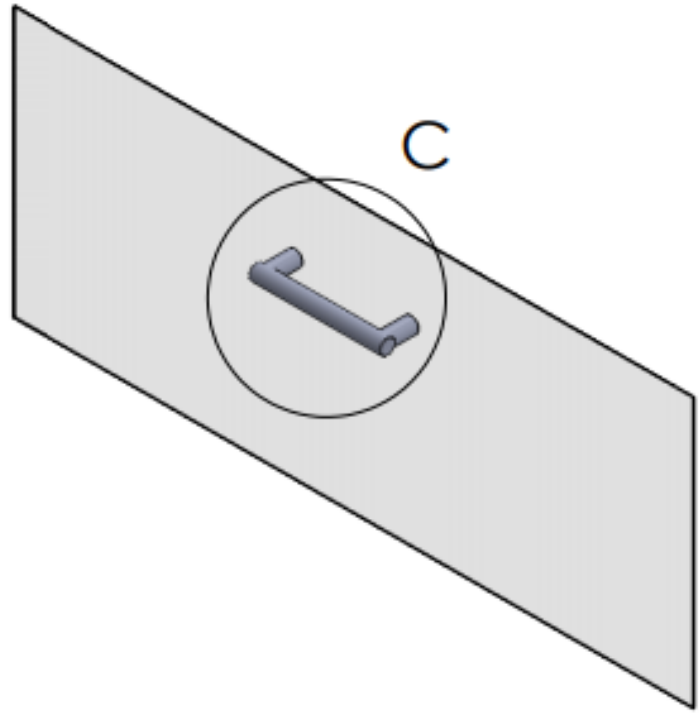
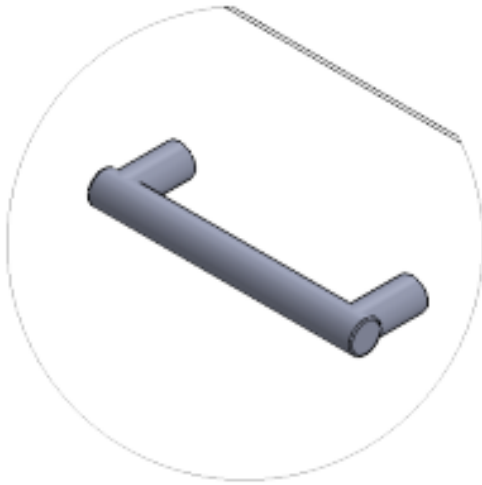
Desidratador de castanhas

Correia Grande

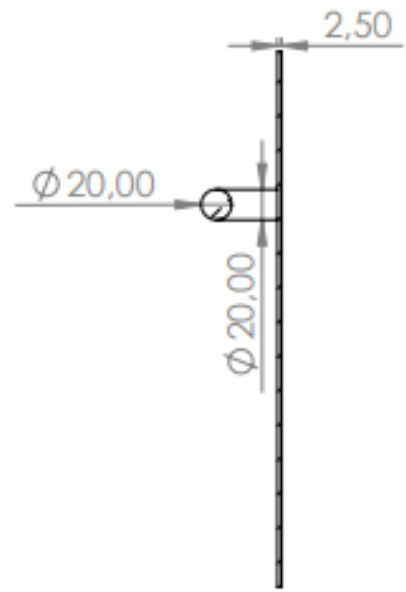
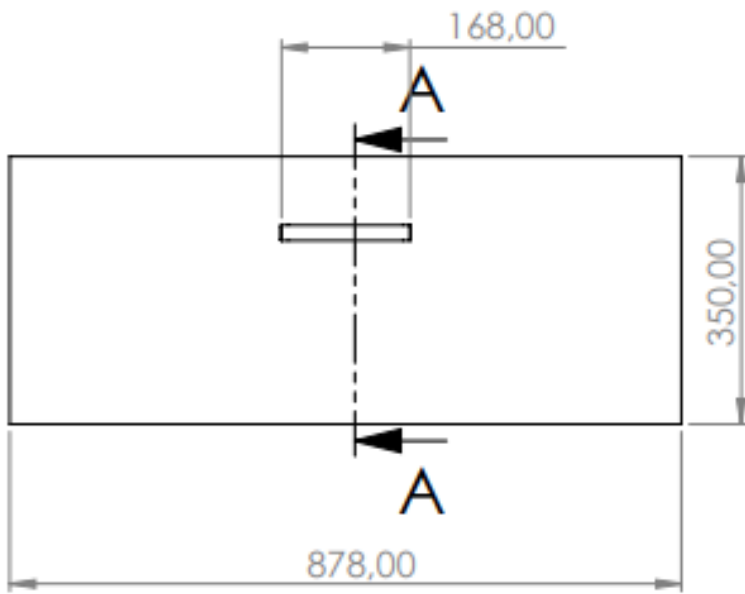
	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	André				
CHK'D					
APP'VD					
MFG					
Q.A					
				MATERIAL:	
				WEIGHT:	

TITLE:	Correia Grande
DWG NO.	
SCALE 1:10	SHEET 1 OF 1

A4



DETAIL C
SCALE 2 : 7



SECTION A-A
SCALE 1 : 5

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Desidratador de castanhas

Porta Descarga

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	André		
CHKD			
APPVD			
MFG			
Q.A			

TITLE:

DWG NO.

MATERIAL:

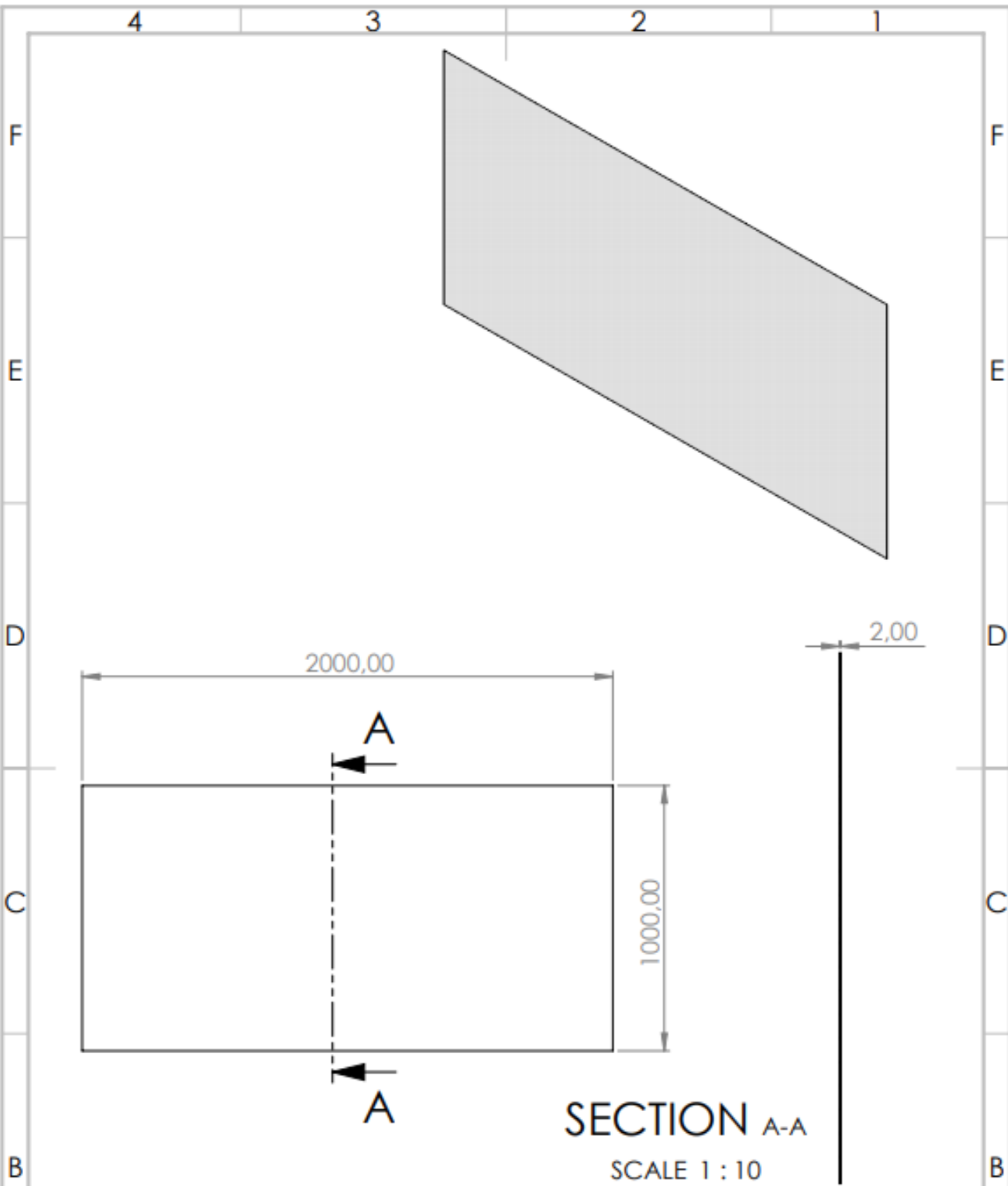
PVC

WEIGHT:

SCALE: 1:10

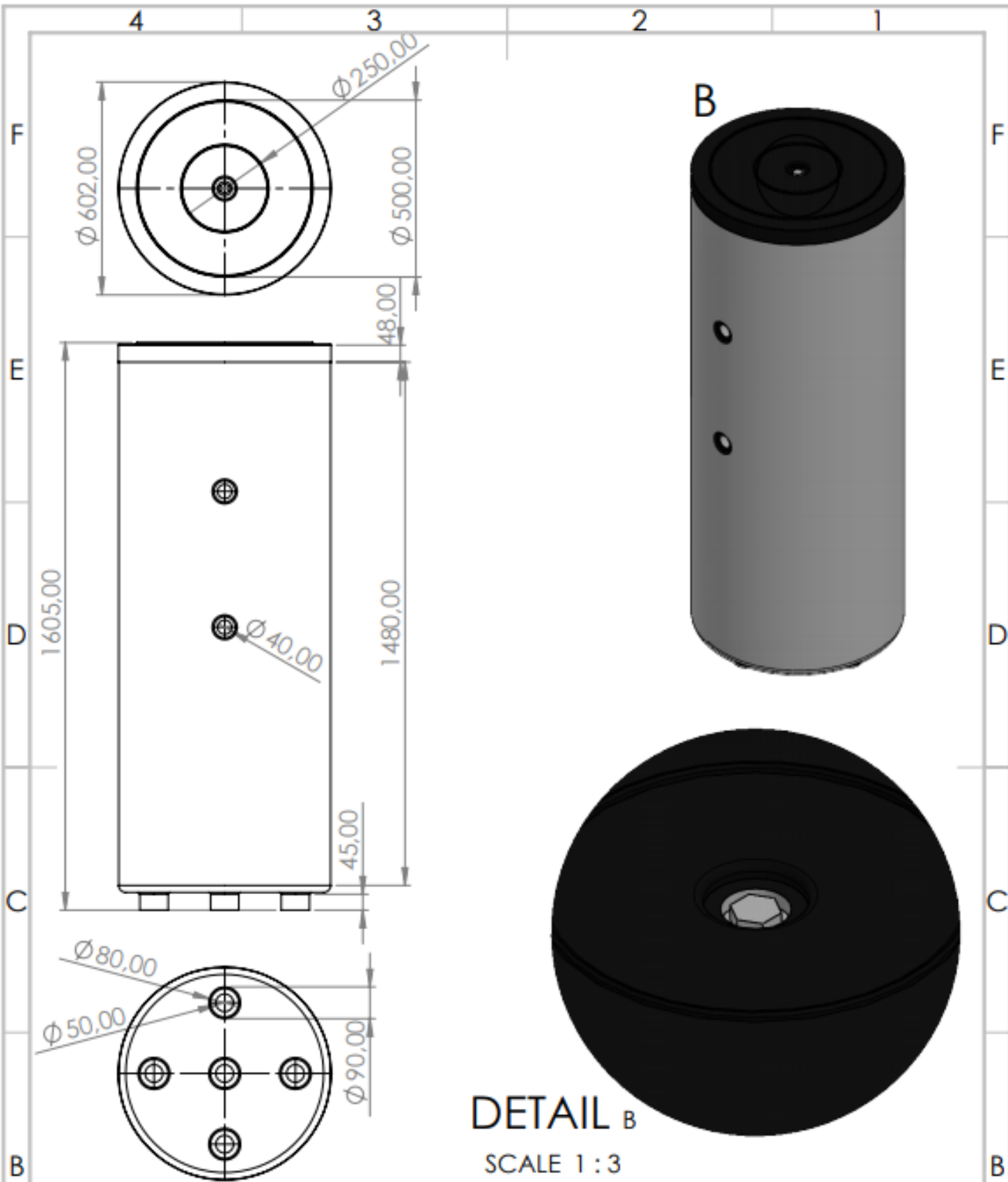
SHEET 1 OF 1

A4



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:	FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
			Desidratador de castanhas	

NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE:
DRAWN: André			PVC Base
CHKD:			
APP'VD:			
MFG:			
Q.A:			
MATERIAL: PVC			DWG NO.:
WEIGHT:			A4
SCALE: 1:20			SHEET 1 OF 1



DETAIL B
SCALE 1 : 3

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Desidratador de castanhas

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	André		
CHKD			
APP'VD			
MFG			
Q.A			

TITLE:
Depósito de Inércia

MATERIAL:
NA

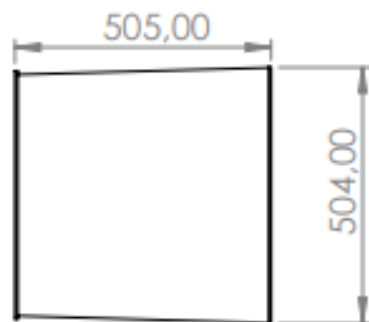
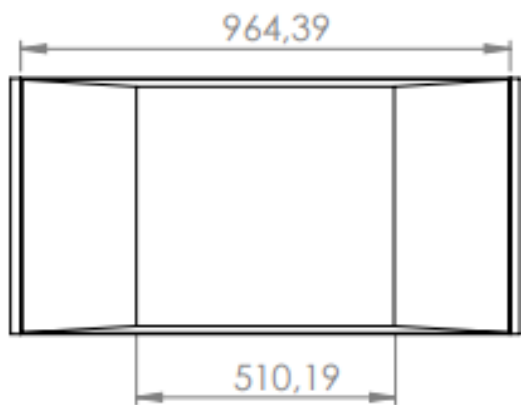
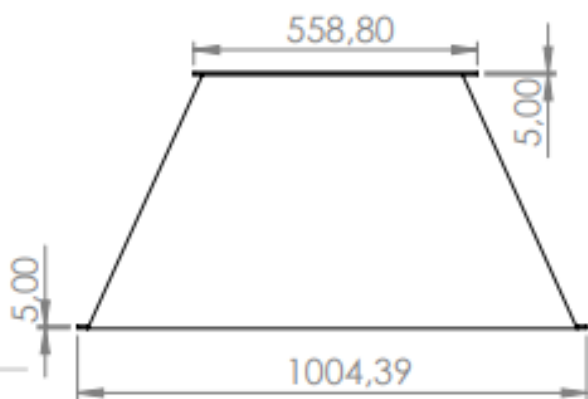
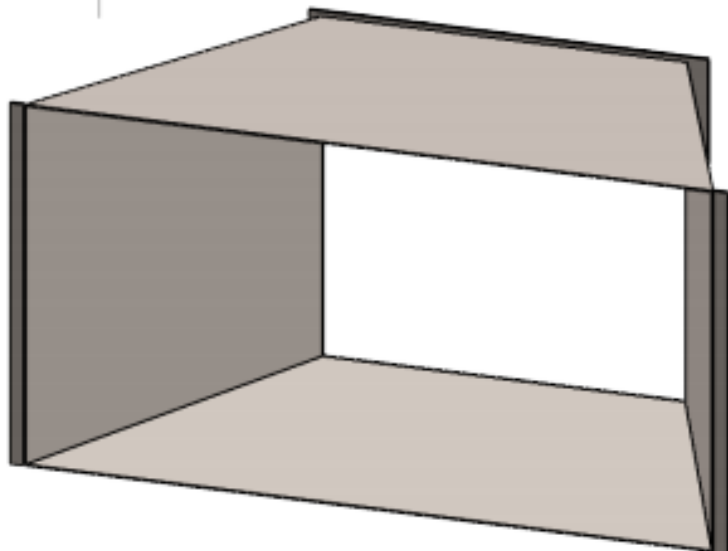
DWG NO.

A4

WEIGHT:

SCALE 1:20

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Desidratador de castanhas

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	André		
CHKD			
APP'VD			
MFG			
Q.A			

TITLE:

Conduta 1

MATERIAL:

Aço CK45

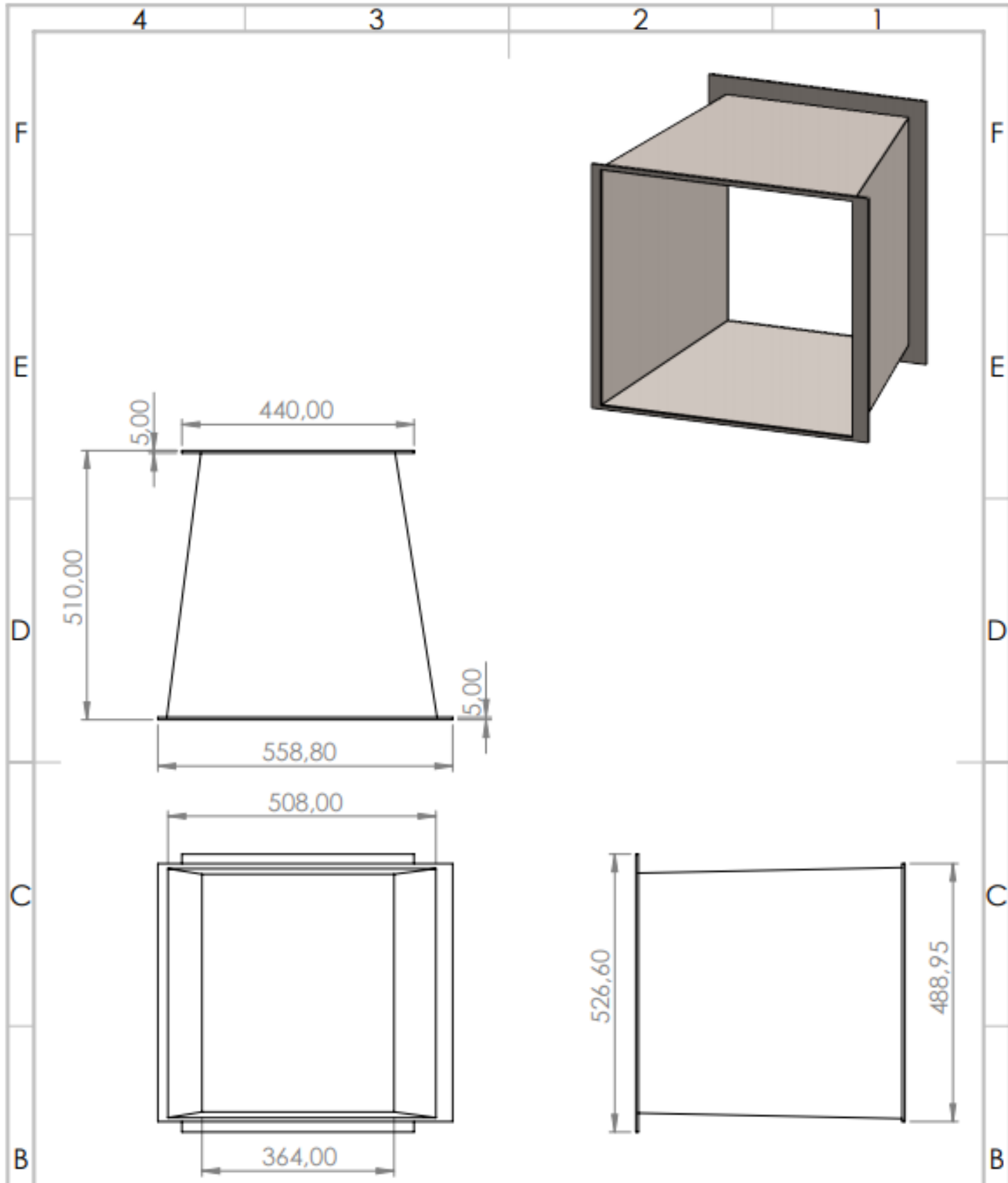
DWG NO.

A4

WEIGHT:

SCALE: 1:20

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Desidratador de castanhas

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	André		
CHKD			
APPVD			
MFG			
Q.A			

TITLE:	<h1>Conduta 2</h1>
DWG NO.	
MATERIAL:	Aço CK45
WEIGHT:	
SCALE: 1:10	SHEET 1 OF 1

5. Conclusões e trabalhos futuros

5.1. Conclusões

Neste projeto foi dimensionada e projetada a inovação de um desidratador de pequeno porte com baixo custo de aquisição e manutenção, tendo este a capacidade de desidratar 1000 kg de castanhas. Com isto, tem-se o intuito de beneficiar o agricultor, aumentando o valor agregado do produto final sendo este superior à venda da castanha *in natura*.

Este projeto dividiu-se em duas fases, a primeira é o projeto estrutural sendo este o dimensionamento e a projeção da câmara de desidratação onde esta foi dividida por uma coluna de 5 patamares, em que 4 desses patamares são as fases de desidratação da castanha, tendo a capacidade de 250 kg de castanhas cada um, começando do superior ao inferior até ao quinto patamar ou zona de descarga do produto final. Para este projeto estrutural foi tido em conta uma estrutura reforçada para o suporte das castanhas e com resistência para o mecanismo mecânico utilizado para a mudança das castanhas de patamar para patamar. Para redução dos custos da máquina, foi projetado um mecanismo mecânico manual, funcionando assim através de comportas entre patamares onde estas abrem e fecham cerca de 90 °.

O tempo previsto em cada patamar é cerca de 2 horas, ao fim desse tempo, o operador da máquina poderá abrir as comportas de cada patamar começando sempre do nível inferior até ao superior de maneira a fazer a mudança para outro nível de temperatura ou simplesmente finalizando o processo e retirando as castanhas da câmara. Sabe-se então que o processo chega ao fim ao atingir os níveis de humidade de 6 % a 8% no patamar 4, valor este medido pelo sensor de humidade e temperatura presente em cada patamar.

A segunda fase é o projeto térmico, começando pelo cálculo da potência necessária para retirar os 60 % de humidade dos 1000 kg de castanha e obteve-se a potência térmica de 50.14 kW necessários, com este valor determinou-se a potência mecânica que a bomba de calor necessita, assim tendo em conta o seu COP de 4.82, foi escolhida uma bomba de calor da marca BOSCH com o modelo COMPRESS 6000 AW-17t. Esta bomba tem uma potência mecânica de 17 kW, valor acima do necessário, mas com garantia que satisfaz o objetivo pretendido. Outra parte importante da segunda fase foi o dimensionamento da caixa de ventilação, para isso foi necessário calcular a perda de carga existente na câmara de

desidratação e o caudal mássico necessário, sendo estes valores, respetivamente, de 1800 Pa e 7200 m³/h.

Analisando o catálogo de ventiladores da marca SODECA, foi selecionado o modelo CMR-1445-2T IE3 que corresponde a tudo pretendido. Ainda na segunda fase foi necessário selecionar o permutador com a capacidade pretendida, para isso recorreu-se ao catálogo da marca TDA e selecionou-se o permutador com o modelo 27T-750L-3F, tendo este 71.3 kW de capacidade térmica. Faltando apenas a seleção do depósito de inércia, este foi escolhido da marca TESI com o modelo V200 60 F40 P4, este equipamento tem a capacidade de armazenar 200 litros de água aquecida à temperatura desejada. Para finalizar esta segunda fase, foi construída uma conduta de ar que interliga o ventilador com o permutador de calor e por sua vez este à câmara de desidratação conduzindo assim o ar aquecido para o processo pretendido.

Com a junção destes dois projetos, obtém-se assim o projeto final, concluindo assim o objetivo de máquina pretendido, uma máquina simples de pequeno porte, fácil de montar e desmontar, e acessível a qualquer agricultor de castanha europeu, a cooperativas agrícolas e a pequenas indústrias.

5.2. Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros serão analisadas algumas otimizações após a construção do primeiro protótipo. Assim no projeto estrutural a possível redução de peso da estrutura utilizando outro tipo de aço ou que haja alguma alteração nos mecanismos.

No projeto térmico será necessária e essencial a verificação dos componentes, pois poderá algum deles estar sobredimensionado e assim existe um gasto mais elevado na aquisição desnecessário, também se deverá fazer estudos da perda de carga para melhor análise da caixa de ventilação a utilizar.

O último passo será o desenvolvimento do projeto da máquina para a sua comercialização seguindo todas as normas de segurança dos equipamentos.

Referências

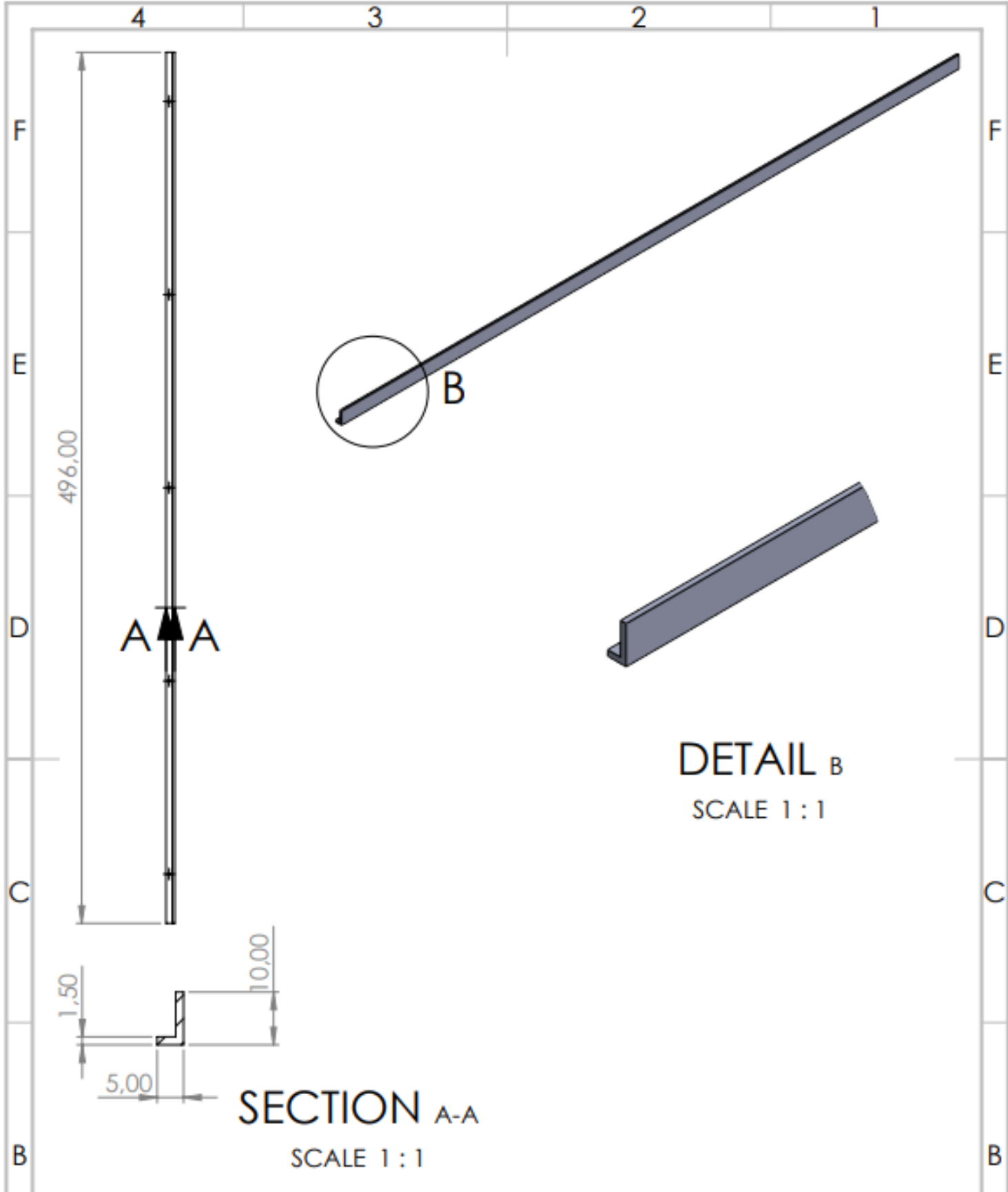
- [1] Fórum Florestal, Estudo Económico do Desenvolvimento da Fileira da Castanha, 2019.
- [2] Santos, A. Colheita, conservação e transformação da castanha, 2018.
- [3] INE, Instituto Nacional de Estatística, 2019.
- [4] Norçaça, Norpesca e Norcastanha 2010. 9ª Feira Internacional do Norte, 2019.
- [5] Jennings, T., 1999. Lyophilization: Introduction and Basic Principles. Interpharm Press, Denver, Colorado, USA.
- [6] Sturumillo C. e Kudra T., 1986, Drying: Principles, Applications And Design, 224-227.
- [7] Romero, J. T., Gabas, a. L., Yamashita, F., Telis, v. R. N., Menegalli, F. C., Secagem de produtos alimentícios, São José do Rio Preto: UNESP, p. 58, 1997.
- [8] Fellows, P.J., Tecnologia do Processamento de Alimentos: princípios e práticas, São Paulo, Artmed, 2006.
- [9] L. J. Goh, M. Y. Othman, S. Mat, H. Ruslan, and K. Sopian, “Review of heat pump systems for drying application,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 9, pp. 4788–4796, 2011.
- [10] Celestino, S. Princípios de Secagem de Alimentos, 2010.
- [11] Monteiro, V. Refrigeração I: Técnicas e Competências Ambientais. Lisboa: ETEP, 2015.
- [12] Royo, E. Carnicer. Ventilación Industrial. Paraninfo, 1991.
- [13] Trahan, J., Graziani, A., Goswami, D. Y., Stefanakos, E., Jotshi, C., and Goel, N. (2014). Evaluation of pressure drop and particle sphericity for an air-rock bed thermal energy storage system. *Energy Procedia*, 57:633–642.
- [14] J. Bundschuh and G. Chen, *Sustainable Energy Solutions in Agriculture*. CRC Press, 2014.
- [15] Moran, M. J.; Shapiro, H. N., *Princípios de Termodinâmica para Engenharia*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

- [16] C. Borgnakke and R. Sonntag, *Fundamentals of Thermodynamics*. Hoboken, Nj: Wiley, 2014.
- [17] I. Dincer and M. Kanoglu, *Refrigeration systems and applications*, 2nd ed. Wiley, 2010.
- [18] Y. A. Çengel, M. A. Boles, *Thermodynamcis, An Engineering Approach*, 8th ed. Mc Graw-Hill Interamericana, 2007.
- [19] Mathur, K. e Epstein, N., *Spouted Beds*, Academic Press, Vancouver, Canada, 1974.

Anexos

Anexo A

Desenhos definição de peças de menor importância na construção da estrutura e do sistema térmico.



DETAIL B
SCALE 1 : 1

SECTION A-A
SCALE 1 : 1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

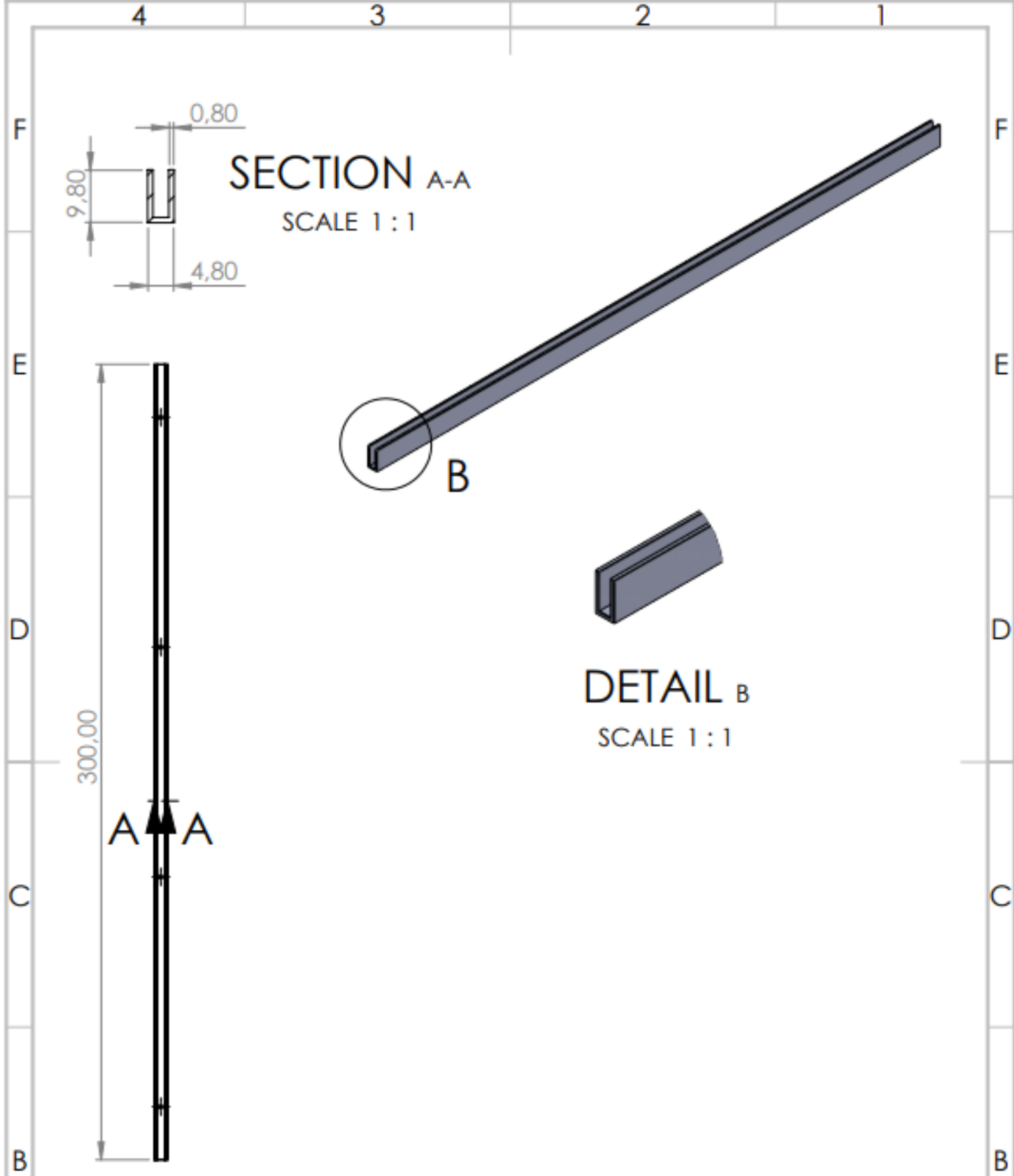
REVISION

Desidratador de castanhas

Apoio Envolvente

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	André		
CHKD			
APPYD			
MFG			
QA			

TITLE:	Apoio Envolvente	
MATERIAL:	Aço CK45	DWG. NO. A4
WEIGHT:	SCALE 1:5	SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

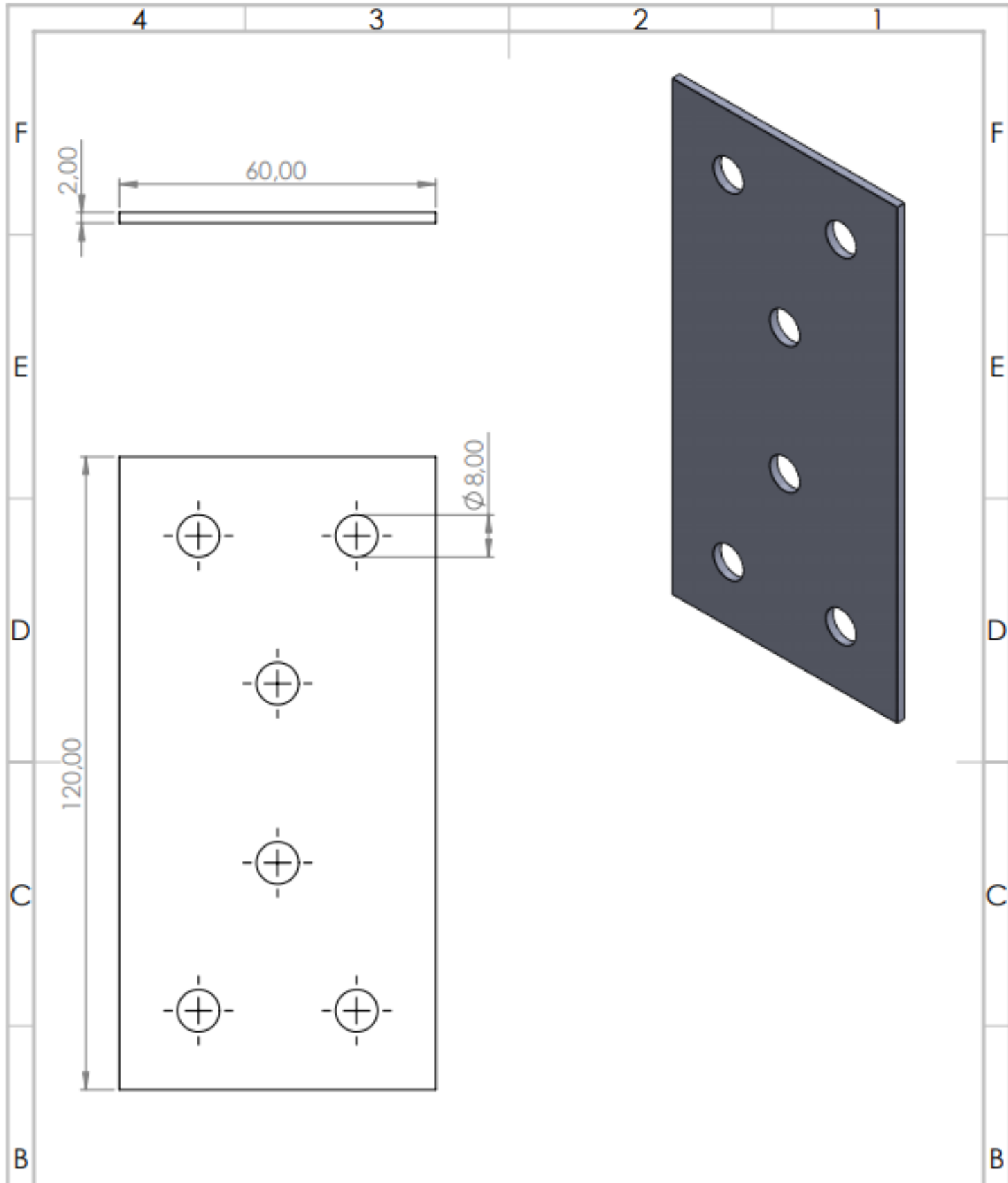
 DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION

Desidratador de castanhas

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	André		
CHKD			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE: Calha Porta Descar.	
MATERIAL: Aço CK45	DWG. NO. A4
WEIGHT:	SCALE 1:5 SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

 DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING REVISION

Desidratador de castanhas

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	André		
CHKD			
APPVD			
MFG			
Q.A			

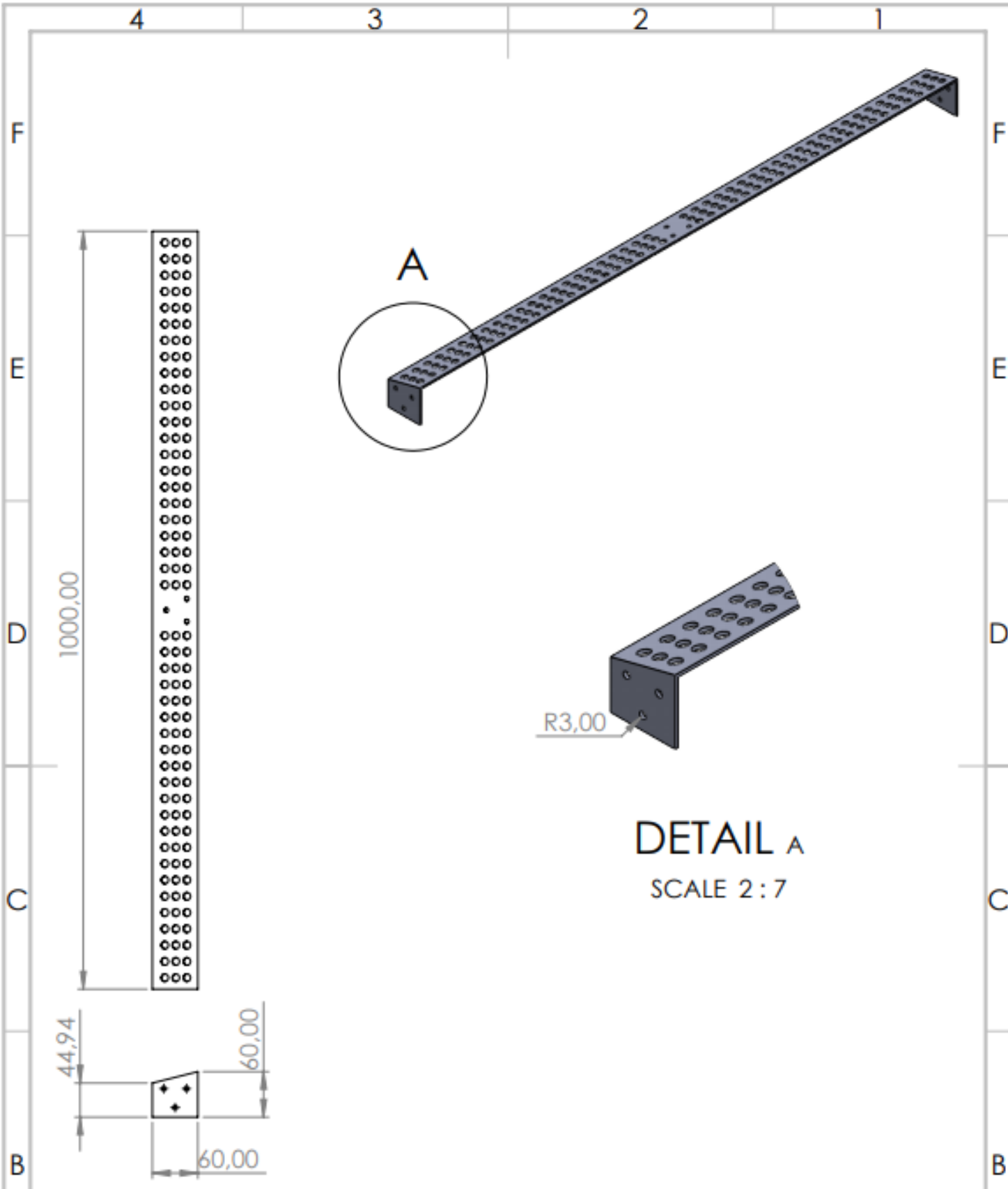
TITLE:
Fixador Descarga 1

DWG NO. A4

SCALE: 1:1 SHEET 1 OF 1

MATERIAL:
Aço CK45

WEIGHT:



DETAIL A
SCALE 2 : 7

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Desidratador de castanhas

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	André		
CHKD			
APPVD			
MFG			
Q.A.			

TITLE:

Fixador Descarga 2

MATERIAL:

Aço CK45

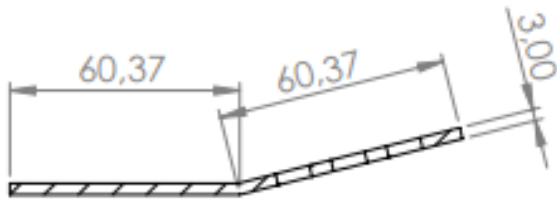
DWG NO.

A4

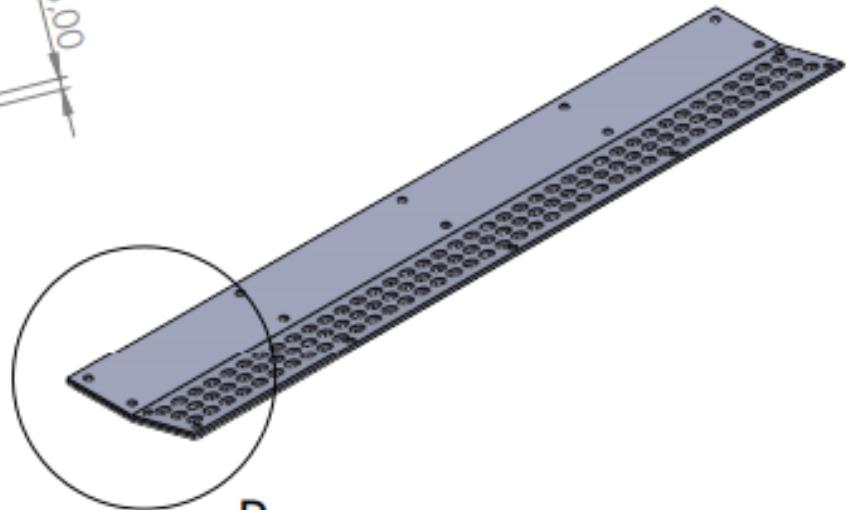
WEIGHT:

SCALE: 1:10

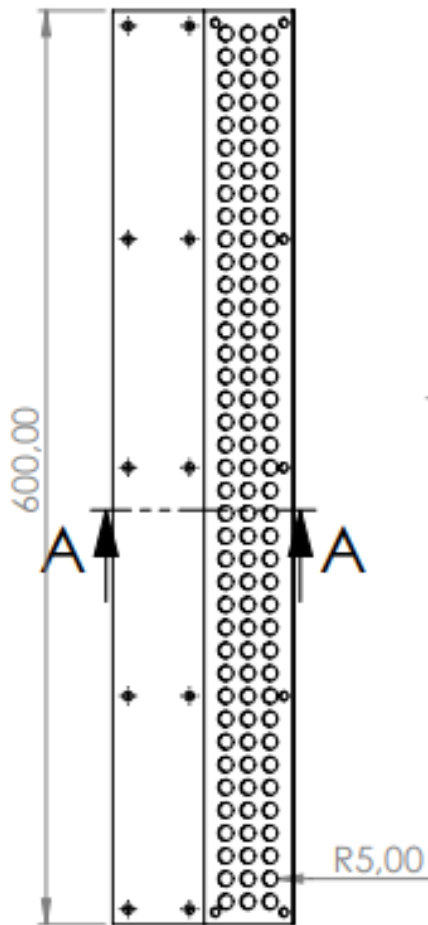
SHEET 1 OF 1



SECTION A-A
SCALE 1 : 2



B



R3,00

DETAIL B
SCALE 1 : 1.5

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Desidratador de castanhas

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	André		
CHKD			
APPVD			
MFG			
QA			

TITLE:

Fixador Descarga 3

MATERIAL:

Aço CK45

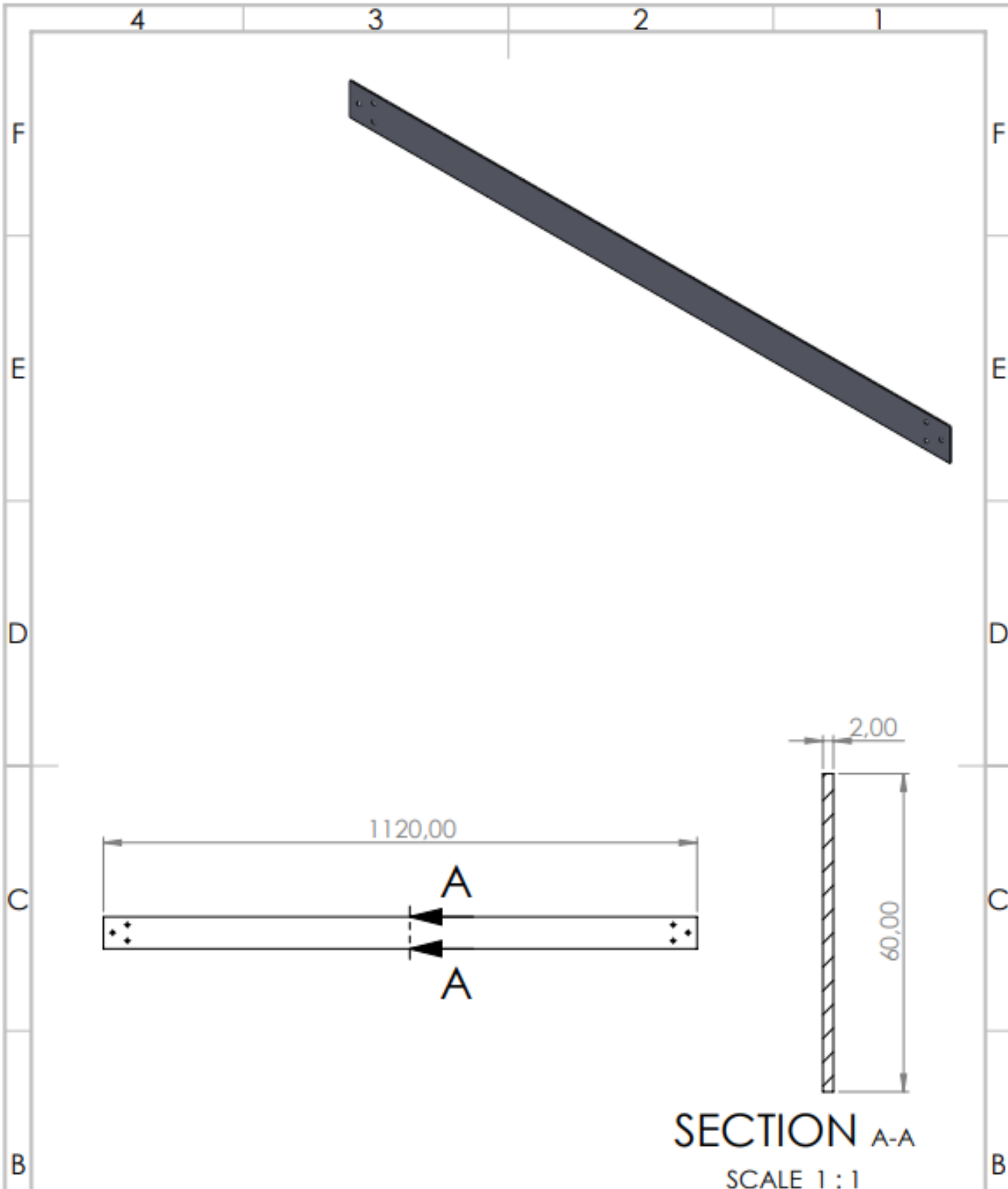
DWG NO.

A4

WEIGHT:

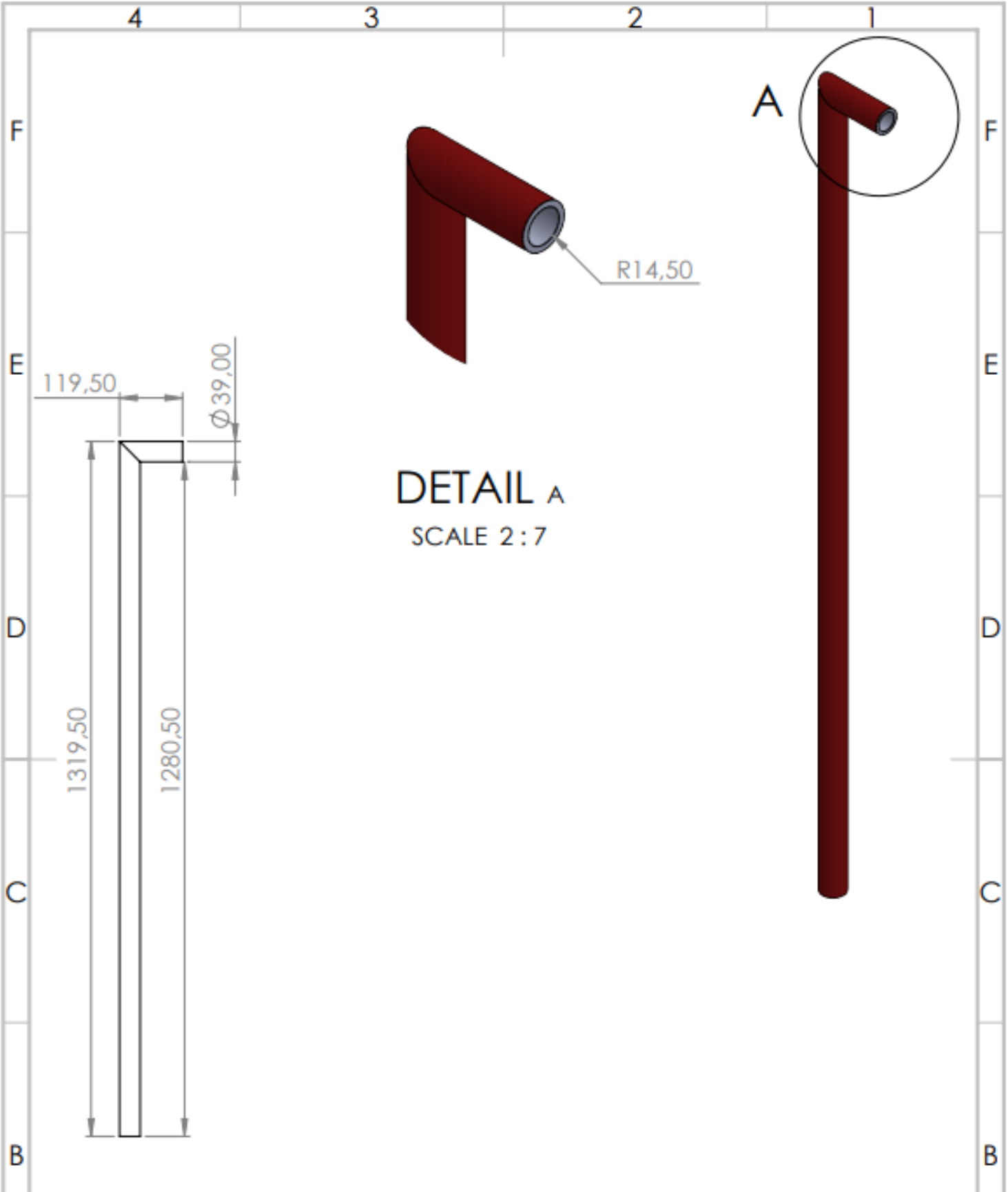
SCALE: 1:10

SHEET 1 OF 1



SECTION A-A
SCALE 1 : 1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:			DEBURR AND BREAK SHARP EDGES			DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
						Desidratador de castanhas						
DRAWN: André						TITLE: Fixador PVC Base						
CHKD:						MATERIAL: Aço CK45						
APPVD:						DWG NO.:						
MFG:						SCALE: 1:10						
Q.A.:						SHEET 1 OF 1						
WEIGHT:						A4						



DETAIL A
SCALE 2:7

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Desidratador de castanhas

Ligação Ida

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	André				
CHKD					
APPVD					
MFG					
QA					
				MATERIAL:	
				Multicamada	
				WEIGHT:	

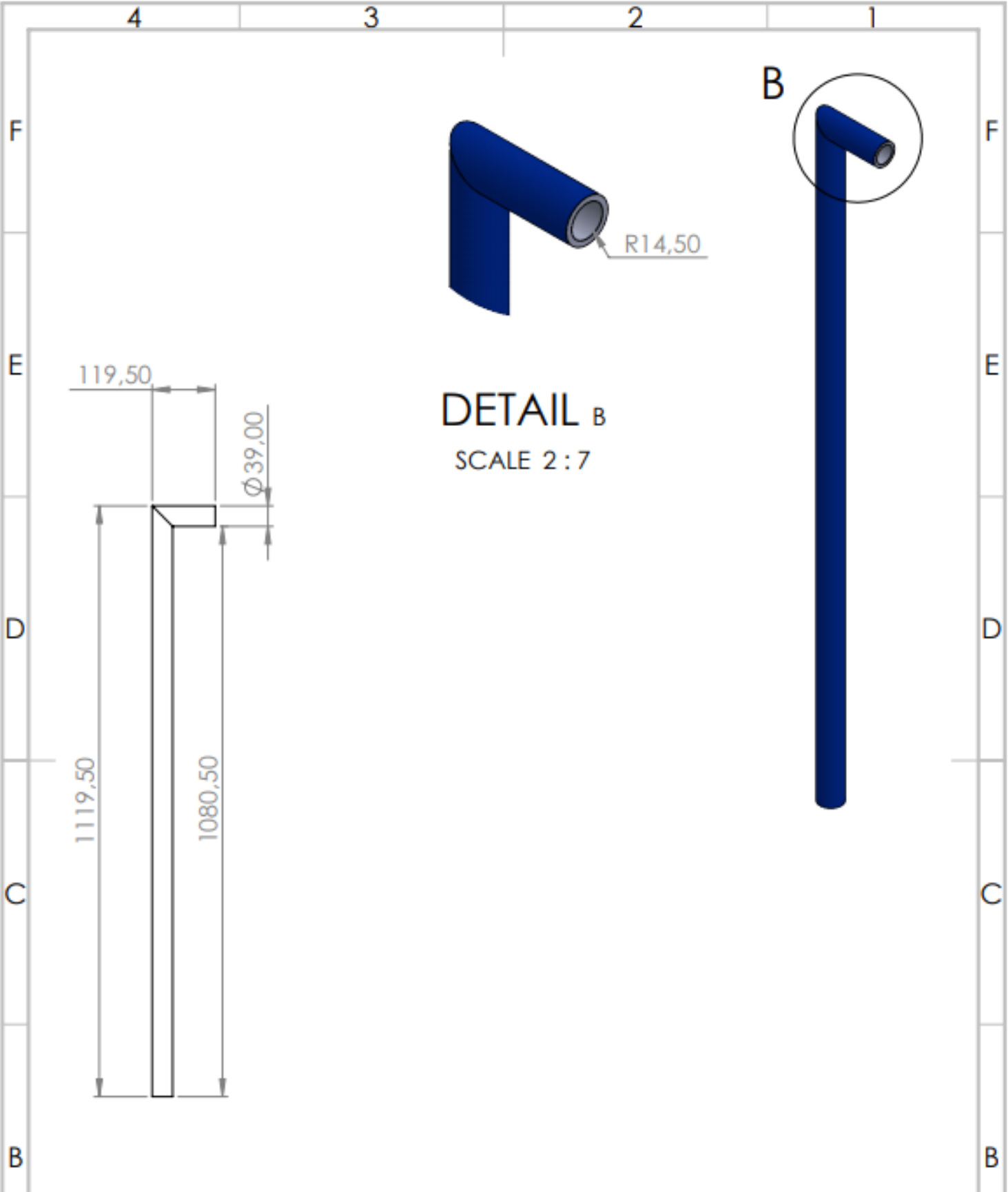
TITLE:

DWG NO.

A4

SCALE 1:10

SHEET 1 OF 1



DETAIL B
SCALE 2 : 7

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

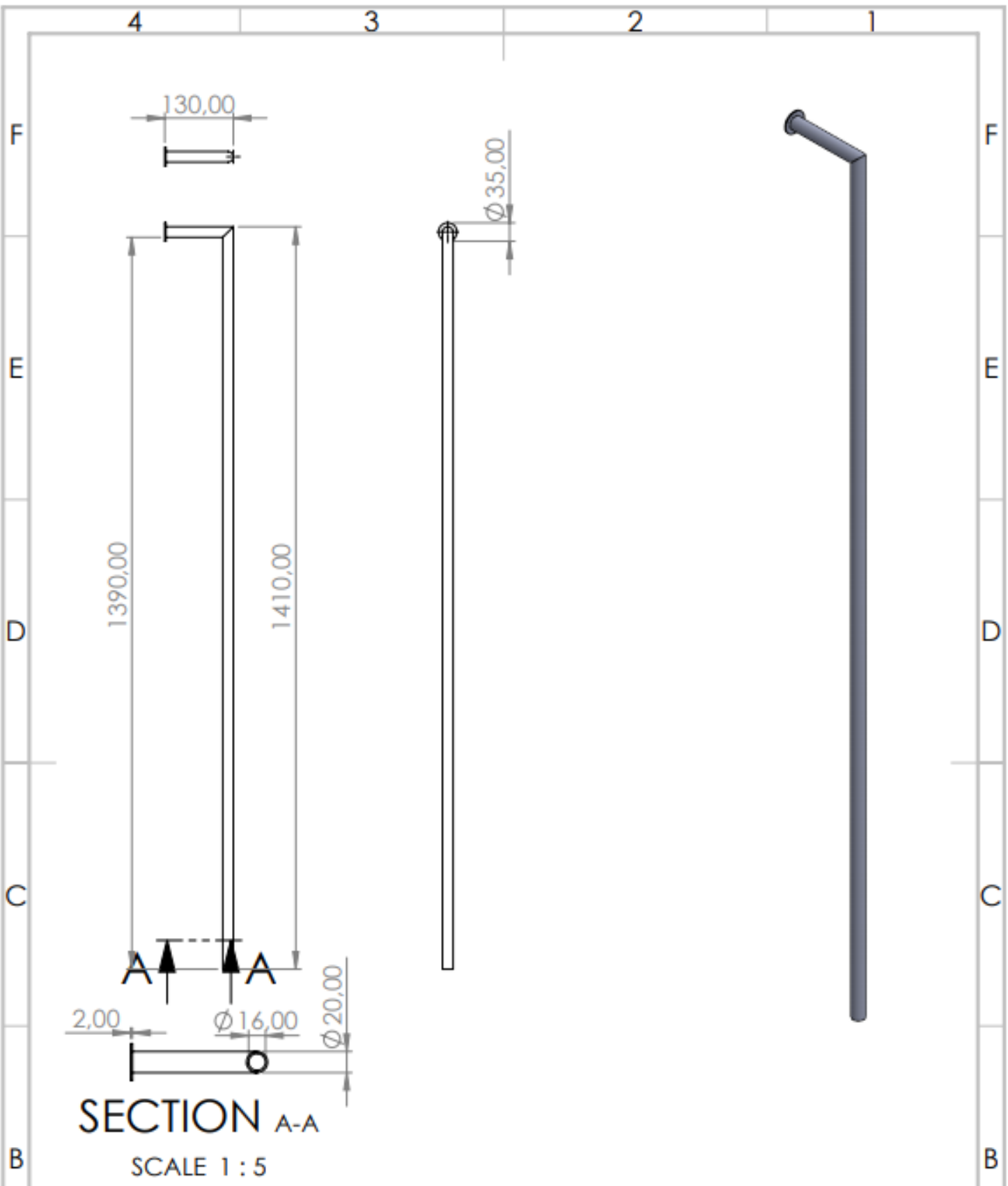
DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Desidratador de castanhas

	NAME	SIGNATURE	DATE		
DRAWN	André				
CHKD					
APPYD					
MFG					
QA					
			MATERIAL:		
			Multicamada		
			WEIGHT:		

TITLE:	
Ligação Retorno	
DWG NO.	A4
SCALE 1:10	SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
							Desidratador de castanhas				
DRAWN			NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:		
CHKD			André						Puxador 2		
APPVD											
MFG											
Q.A									MATERIAL:		A4
									Aço CK45		
									DWG NO.		SHEET 1 OF 1
									SCALE 1:10		

Anexo B

Fichas técnicas dos equipamentos selecionados para o projeto.

Compress 6000

A gama Compress 6000 é silenciosa e ocupa pouco espaço interior. Conta com 4 modelos desde 9 kW até 17 kW e 4 módulos interiores para integração com caldeiras, apoio elétrico, depósito de acumulação de 190 litros integrado ou depósito de acumulação solar de 184 litros integrado.



Unidades exteriores e interiores Compress 6000

A gama Compress 6000 oferece uma tecnologia frigorífica compacta, com ligação hidráulica da unidade exterior e interior e uma estrutura interior em PPE (polipropileno expandido) com elevado isolamento sonoro, leve e robusto.

Funcionamento

- ▶ **COP até 5,09**
- ▶ Reversível: aquecimento e arrefecimento
- ▶ Funcionamento com temperaturas exteriores até -20°C em aquecimento e até +45°C em arrefecimento
- ▶ Grande modulação: compressor inverter

Tecnologia

- ▶ Estrutura interior em PPE (Polipropileno expandido): leve e robusto
- ▶ Sem manipulação de gás refrigerante
- ▶ Módulo IP integrado: para controlar através um Smartphone ou Tablet

Instalação

- ▶ 4 Módulos interiores para adaptar a qualquer projeto
- ▶ Fácil acesso aos componentes
- ▶ Acessórios de controlo automaticamente detetáveis pelo controlador e integráveis no módulo

interior (plug & play)

- ▶ Distâncias de instalação até 60 metros entre módulo interior e a unidade exterior (ida e retorno)

Conforto

- ▶ Funcionamento assegurado: resistência elétrica ou apoio por caldeira
- ▶ Nível sonoro muito baixo e modo noite
- ▶ Conceito logístico inovador para evitar danos no transporte e reduzir o tempo de instalação
- ▶ **Temperatura de impulsão até +60°C com -5°C temperatura exterior**
- ▶ Temperatura de impulsão até +62°C para modo A.Q.S.
- ▶ Possibilidade de manter uma instalação existente graças às temperaturas de impulsão (até 60°C).

Modelos

- ▶ AW-9s (9kW), AW-13s (13 kW), AW-13t (13 kW), AW-17t (17 kW)

Características técnicas unidades exteriores

Modelo		AW-9s	AW-13s	AW-13t	AW-17t	
Classe eficiência energética	a 35 °C					
	a 55 °C					
Potência máx. (aquec./arrefec.) *	kW	9 / 9,3	13 / 11,1	13 / 11,1	17 / 11,9	
Alimentação elétrica		monofásica (230V/1F/50Hz)	monofásica (230V/1F/50Hz)	trifásica (400V/3F/50Hz)	trifásica (400V/3F/50Hz)	
COP / EER *		5,09 / 3,64	4,90 / 3,23	4,90 / 3,23	4,82 / 3,28	
Nível pressão sonora a 1m de distância	dB	40	40	40	40	
Nível sonoro **	dB	56	55	55	53	
Limite funcionamento (temp. ^a do ar)	aquecimento	°C	-20 a +35	-20 a +35	-20 a +35	-20 a +35
	arrefecimento	°C	+15 a +45	+15 a +45	+15 a +45	+15 a +45
Temp ^a de impulsão (mín./máx. aquec./máx A.Q.S.)	°C	10 / 60 / 62	10 / 60 / 62	10 / 60 / 62	10 / 60 / 62	
Dimensões alt. x larg. x prof.	mm	1390 x 930 x 440	1680 x 1200 x 580	1680 x 1200 x 580	1680 x 1200 x 580	
Peso total	Kg	75	130	130	132	
Peso equipamento/ painéis laterais	Kg	60 / 15	109 / 21	109 / 21	111 / 21	
Ligações interior / exterior	polegadas	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1	
Qt Refrigerante	Kg	2,35	3,3	3,3	4,0	
Equivalente CO ₂ total	t	4,91	6,89	6,89	8,35	

As bombas de calor Bosch ar/água Compress 6000 contêm, para seu funcionamento, gás fluorado com efeito de estufa R410A com GWP=2088

* Aquecimento: A+7/W35 de acordo com a EN14511. Arrefecimento: A35/W18 De acordo com a EN14511.

**Nível sonoro de acordo com EN 12102



ACUMULADORES E INTERACUMULADORES PARA
AQUECIMENTO CENTRAL SEM ALTERNADOR DE CALOR

V 200 60 F40 P4

Capacidade	202 L
Peso líquido	40 kg
Isolamento (pu rígido)	50 mm
Perda de calor ΔT 45K	59 W
Classificação energética	B
Máxima temperatura de trabalho	95 °C
Máxima pressão de trabalho do depósito	3 bar
Diâmetro	600 mm
Nº de entradas	4 pieces
Nº de saídas	5 pieces

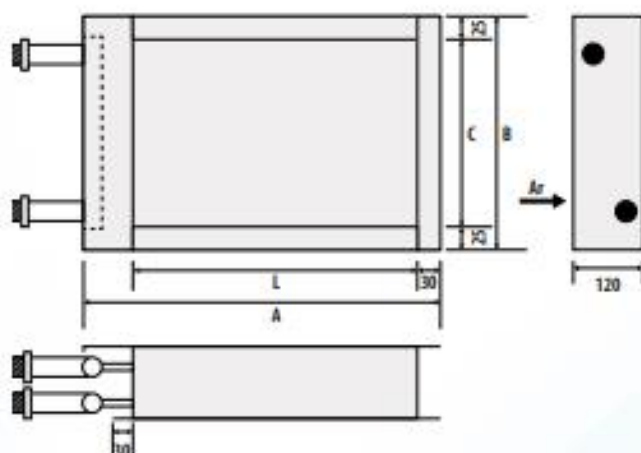
ACESSÓRIOS PARA UNIDADES DE VENTILAÇÃO

BATERIAS DE AQUECIMENTO POR ÁGUA UTAS AT

As baterias de água são funcionais para instalações de tratamento de ar, ar condicionado e em certos processos industriais. Têm como pressuposto de funcionamento as trocas térmicas entre o ar e a água.

A bateria é constituída por uma estrutura em aço galvanizado a quente e produzida a partir de tubos de cobre e alhetas em alumínio. O coletor agrupa todos os circuitos paralelos da bateria num tubo que será ligado ao circuito principal do equipamento

As baterias de aquecimento por água são fabricadas tendo em conta o tamanho da UTA em questão e a potência de aquecimento pode variar entre os 15 kW e os 75 kW.



Características das baterias

KW REL.	RC Referência	L	A	B	C	D
15	16T-420L-3F	405	505	450	400	1/2"
21	18T-470L-3F	455	555	500	450	3/4"
35	22T-560L-3F	545	650	600	550	1"
45	25T-660L-3F	645	750	675	625	1"
60	27T-750L-3F	735	845	725	675	1 1/4"
75	33T-905L-3F	890	1000	875	825	1 1/4"

Características das baterias

Propriedades	Modelo de Bateria					
	15 kW 16T-420L-3F	28 kW 20T-525L-3F	35 kW 22T-560L-3F	45 kW 25T-660L-3F	60 kW 27T-750L-3F	75 kW 33T-905L-3F
Características aerúlicas						
Capacidade (kW)	15,40	31,58	37,84	48,63	71,30	95,05
Caudal volúmico de ar (m ³ /h)	1800	4500	6000	7000	12000	15000
Velocidade frontal na bateria (m/s)	3,09	4,76	5,56	4,82	6,72	5,67
Temperatura do ar na entrada (°C)	25	25	25	25	25	25
Temperatura do ar na saída (°C)	50,6	45,9	43,9	45,8	42,8	44
Queda de pressão (Pa)	78		210	165	289	217
Características hidráulicas						
Caudal volúmico do fluido (m ³ /h)	0,6	1,2	1,5	1,9	2,6	3,2
Velocidade do fluido (m/s)	0,71	0,76	0,61	0,71	0,88	0,89
Temperatura do fluido na entrada (°C)	80	80	80	80	80	80
Temperatura do fluido na saída (°C)	59,3	56,4	58,2	58,2	56	54,4
Queda de pressão (kPa)	10,39	8,51	4,55	7,14	11,28	13,32
Relação - bateria / tamanho da UTA (polegadas)						
Tamanho da caixa	7-7	9-9	10-10	12-9 / 12-12	15-11 / 15-15	18-13 / 18-18

CMR-1445-2T IE3



Ventiladores centrífugos de média pressão e simples aspiração muito robustos turbina de pás recuadas

Ventilador:

- Envolvente em chapa de aço.
- Turbina com pás recuadas em chapa de aço de grande robustez.

Motor:

- Motores de eficiência IE3 para potências iguais ou superiores a 0,75 kW, exceto monofásicos, 2 velocidades e 8 polos.
- Motores classe F, com rolamentos de esferas, proteção IP55.
- Trifásicos 230/400 V 50 Hz (até 4 kW) e 400/690 V 50 Hz (potências superiores a 4 kW).
- Temperatura máxima do ar a transportar: -20 °C a +120 °C.

Acabamento:

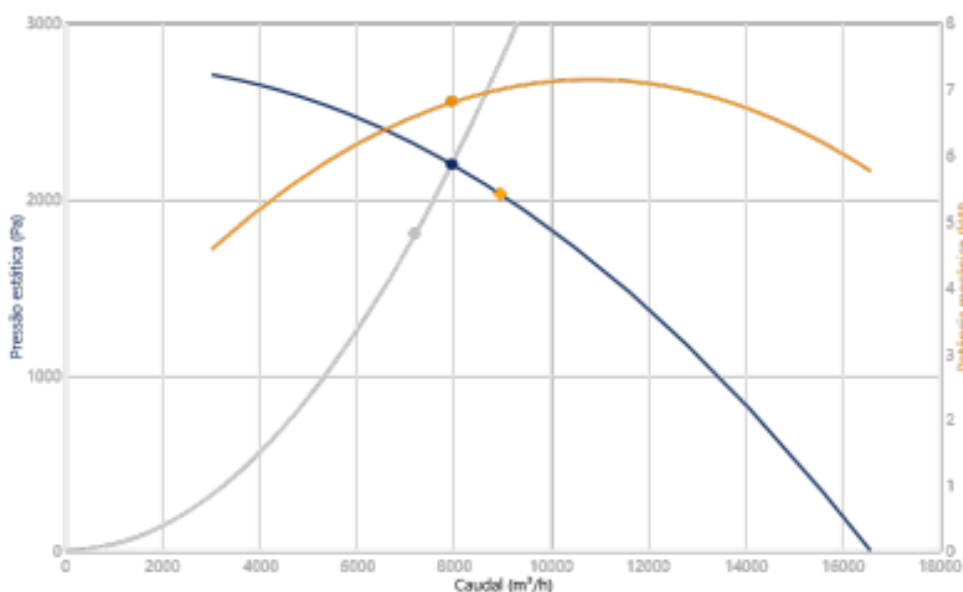
- Resistente à corrosão em resina de poliéster polimerizada a 190°C, desengorduramento prévio com tratamento nanotecnológico sem fosfatos.

Mediante pedido:

- Bobinagens especiais para diferentes tensões.
- Ventilador preparado para transportar ar até 250 °C.
- Ventilador em aço inox.
- Certificação ATEX Categoria 2 (ver série CMR/ATEX).



CURVA CARACTERÍSTICA E ACÚSTICA PARA 1,2KG/M³



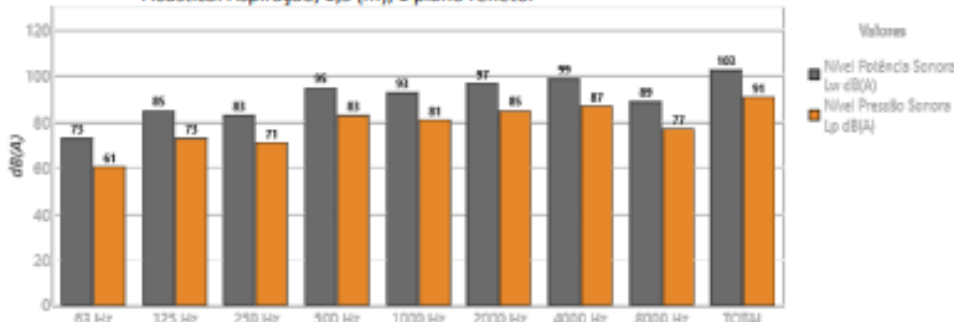
Ponto de Desenho

Q (m ³ /h)	7200
Pe (Pa)	1800

Ponto Serviço (PS)

Q (m ³ /h)	7950
Pe (Pa)	2195
Pd (Pa)	114,3
Pt (Pa)	2309
Velocidade (rpm)	2930
Máx. Temp. (°C)	250
Velocidade saída ar (m/s)	13,8
Rendimento (%)	75,1
SFP (kW/m ³ /s)	3,416
Potência mecânica (kW)	6,79

Acústica: Aspiração, 1,5 (m), 1 plano refletor



Faixa	Lw dB(A)	Lp dB(A)
63 Hz	73	61
125 Hz	85	73
250 Hz	83	71
500 Hz	95	83
1000 Hz	93	81
2000 Hz	97	85
4000 Hz	99	87
8000 Hz	89	77
TOTAL	103	91

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (m ³ /h)	16562
Velocidade (rpm)	2930
Pressão estática máxima (Pa)	2703
Pressão total máxima (Pa)	2720