



PROJETO DE UM SISTEMA PARA LIQUEFAÇÃO DE BIOMASSA

HUGO ALEXANDRE CABRAL MARTINS DE BAIRES

Outubro de 2016

PROJETO DE UM SISTEMA PARA LIQUEFAÇÃO DE BIOMASSA

Hugo Alexandre Cabral Martins de Bairres

2015/2016

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

PROJETO DE UM SISTEMA PARA LIQUEFAÇÃO DE BIOMASSA

Hugo Alexandre Cabral Martins de Bairres
Nº1110660

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação de Nídia Caetano.

2015/2016

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Doutor Francisco José Gomes Da Silva

Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutora Nídia de Sá Caetano

Professora Coordenadora do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

AGRADECIMENTOS

*À minha Orientadora,
à minha melhor amiga,
aos meus pais e irmãos,
e à minha avó e avô.*

PALAVRAS CHAVE

Bioóleo, Borra de café, Liquefação, Reator descontínuo

RESUMO

A energia é um bem de consumo indispensável a todas as atividades e a sua disponibilidade condiciona o desenvolvimento da população e a segurança e independência das nações. Nesse sentido, a utilização dos combustíveis de origem fóssil, cuja ocorrência natural não está distribuída uniformemente por todo o mundo, e cujas reservas são limitadas, veio permitir um desenvolvimento tecnológico e científico impressionante, nos últimos dois séculos. Este desenvolvimento trouxe consigo alguns problemas, de entre os quais se destaca a subida do preço da energia e combustíveis, associadas ao aumento da sua procura, e um aumento dramático das emissões de gases com efeito de estufa, que em muito têm contribuído para as alterações climáticas.

Ora tendo em vista mitigar estes problemas, as nações têm promovido políticas de aumento da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, e de aumento da eficiência energética.

A biomassa pode ser usada diretamente como fonte de energia (por combustão), ou ainda como matéria-prima para a obtenção de combustíveis sólidos, líquidos e/ou gasosos alternativos aos combustíveis de origem fóssil usados correntemente. Quando a biomassa é de origem residual, os benefícios atingidos ainda podem ser mais significativos, pelo facto de se dar um destino ambientalmente mais adequado a este resíduo.

A liquefação é um processo que, por ser realizado a uma pressão e temperatura relativamente elevadas, permite obter um combustível líquido (o liquefeito) com propriedades semelhantes às de outros combustíveis líquidos derivados do petróleo. Deste modo, é possível continuar a operar os equipamentos existentes com um combustível semelhante, apenas que de origem renovável e com menores emissões de CO₂.

Nesta dissertação foi projetado um reator em escala piloto (com capacidade de 20 L) para liquefação de borra de café, em modo descontínuo. A produção estimada é de 20 L de liquefeito por dia. Foi proposto o seu funcionamento a uma temperatura máxima de 275 °C e que o sistema alcance uma pressão máxima de 70 bar. Para que o projeto seja funcional, foi necessário incluir um sistema de aquecimento, arrefecimento, agitação e vedação que vão de encontro ao projeto em escala laboratorial de referência. O reator inclui válvulas de alimentação de gás de pressurização, de alimentação e descarga de matérias-primas e produtos, de segurança, transdutor de pressão, termopar para monitorização de pressão e temperatura, respetivamente, banho termostático com óleo térmico, sistema de agitação, permitindo a abertura do compartimento de reação para inspeção e limpeza por intermédio de flange.

O material escolhido para a construção do reator e acessórios foi o aço inoxidável 316. No projeto deste reator foram tomados em consideração os aspetos relacionados com a segurança, nomeadamente pelo facto de se estar a planear um recipiente a operar a pressão e temperaturas relativamente elevadas.

Este sistema tem um custo total estimado de 9843 €.

KEYWORDS

Batch reactor, Crude Bio-oil, Liquefaction, Spent coffee grounds

ABSTRACT

Energy is an essential consumption supply to all activities and its availability affects the development of the population and the security and independence of nations. In this sense, the use of fossil fuels, whose natural occurrence is not evenly distributed throughout the world, and whose reserves are limited, has allowed an impressive technological and scientific development in the last two centuries. This development has brought with it some problems, among which stands out the rising price of energy and fuel, coupled with the increase in its demand, and a dramatic increase in emissions of greenhouse effect, which have contributed greatly to the climatic change.

Now in order to mitigate these problems, nations have promoted policies increase the use of energy from renewable sources and increase energy efficiency.

The biomass can be used directly as the energy source (combustion), or as raw materials for obtaining solid, liquid and / or gaseous alternative to fossil fuels currently used. When the biomass is from residual origin, the benefits achieved can be even more significant, for the fact that it gives a more environmentally fit manner to deal with this residue.

Liquefaction is a process which, being carried out at a relatively high pressure and temperature, yields a liquid fuel (liquefied) with properties similar to other liquid fuels derived from petroleum. Thus, it is possible to continue to operate the existing equipment with a similar fuel, just from renewable sources and lower CO₂ emissions.

In this work it was designed a reactor on a pilot scale (20 L capacity) for coffee grounds liquefaction in batch mode. The daily output is estimated to be 20L liquefied product. It has been proposed to functioning at a maximum temperature of 275 ° C and the system reaching a maximum pressure of 70 bar. For the project to be functional, it was necessary to include a heating system, cooling, agitation and seals that meet the project in laboratory scale reference. The reactor includes pressurizing gas supply valves, supply and discharge of raw materials and products, safety, pressure transducer, thermocouple for monitoring temperature and pressure, respectively, thermostatic bath with thermal oil agitation system, allowing opening the reaction chamber for inspection and cleaning through the flange.

The material chosen for construction of the reactor and its accessories was 316 stainless steel.

In the design of this reactor were taken into account aspects related to security, in particular for the fact that it is planned an high operating pressure and relatively high temperatures.

This system has a total estimated cost of € 9,843.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

Termo	Designação
FFKM	Perfluoro-elastómero
HTL	Liquefação hidrotérmica (<i>hydrothermal liquefaction</i>)
THTL	Liquefação hidrotérmica a dois passos (<i>two-step hydrothermal liquefaction</i>)

Lista de Unidades

Termo	Designação
Cent/MJ	Custo em cêntimos por megajoule
MJ/kg	Energia específica

Lista de Símbolos

Termo	Designação
∅	Diâmetro

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Termo	Designação
<i>Batch</i>	Termo inglês para denominar os reatores que trabalham em ciclos descontínuos.
Pré-mistura	Mistura mássica 20:1 de água com borra de café, esta mistura será fornecida ao reator como “reagente” e através do processo termoquímico transformar-se-á num bioóleo líquido com maior poder calorífico.
<i>Scale-up</i>	Designação para o aumento de tamanho (geralmente, mas também pode ser de informação ou detalhe) de um dado modo de operação ou equipamento a partir de uma referência mais pequena.
<i>Thread Galling</i>	Este fenómeno ocorre durante a instalação em que a pressão entre a rosca do parafuso e a do furo roscado provoca a união destes. Depois disto ocorrer só é possível separar as peças através de corte.
Válvula <i>On-off</i>	Válvula que permite dois estados, <i>On</i> , estado aberto onde é possível escoar produto através do seu interior e <i>Off</i> , estado fechado onde o escoamento do produto é bloqueado.
Volume interior útil	Volume do reator apto para ser ocupado pela mistura e pelo gás inerte, ou seja, o volume ocupado por outros componentes (impulsor e serpentina) não são contabilizados neste volume.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - REATOR QUÍMICO COM SISTEMA DE AGITAÇÃO DA NOXFOR EQUIPS	5
FIGURA 2 – REATOR CONTÍNUO HORIZONTAL DA CAMBRIDGE	16
FIGURA 3 – INTERIOR DE UM REATOR VBM	17
FIGURA 4 - TANQUE COM AGITAÇÃO	22
FIGURA 5 - REATOR TUBULAR	22
FIGURA 6 - REATOR DE LEITO	22
FIGURA 7 - VARIAÇÃO DAS TENSÕES COM A ESPESSURA(T)	27
FIGURA 8 – PRIMEIRO ESBOÇO DO REATOR	28
FIGURA 9 - TIPOS MAIS CORRENTES DE VEDAÇÃO DE REATORES A) VEDAÇÃO POR FLANGE; B) VEDAÇÃO POR <i>SPLIT-RING</i> ; C) VEDAÇÃO POR <i>ZIPPER – CLAVE</i>	29
FIGURA 10 - CONFIGURAÇÃO DO "O-RING"	29
FIGURA 11 – DIMENSÕES CARACTERÍSTICAS DA GLANDE	30
FIGURA 12 – PEÇA DO REATOR COM ALOJAMENTO PARA O <i>O-RING</i>	30
FIGURA 13 – TAMPA DO REATOR	31
FIGURA 14 – EXEMPLO DE UM “O-RING”	31
FIGURA 15 – VEDAÇÃO POR FLANGE DO REATOR	32
FIGURA 16 – VÁLVULA <i>ON-OFF</i> PARA A INJEÇÃO DA PRÉ-MISTURA NO REATOR	33
FIGURA 17 – MONTAGEM DA VÁLVULA À BASE DO REATOR.	34
FIGURA 18 -CONFIGURAÇÃO DA UNIÃO DO REATOR.	34
FIGURA 19 - COLOCAÇÃO DA GARRA NAS DUAS PEÇAS DO REATOR	35
FIGURA 20 - REPRESENTAÇÃO DOS PINOS DE COMPRESSÃO EM ATUAÇÃO	35
FIGURA 21 – <i>SPLIT-RING</i> DO REATOR	36
FIGURA 22 – REPRESENTAÇÃO ATUAL DO REATOR	36
FIGURA 23 – AQUECIMENTO EXTERIOR	37
FIGURA 24 – AQUECIMENTO INTERIOR	37
FIGURA 25 – VARIAÇÃO DAS TENSÕES NA SERPENTINA COM A ESPESSURA DESTA	38
FIGURA 26 – ESPIRAL DE AQUECIMENTO	39
FIGURA 27 – COLOCAÇÃO DA ESPIRA DE AQUECIMENTO NO REATOR	39
FIGURA 28 – BANHO TERMOSTÁTICO DA <i>LUADA</i>	40
FIGURA 29 - VARIAÇÃO DAS PERDAS TÉRMICAS COM A ESPESSURA DE ISOLAMENTO	41
FIGURA 30 – IMPULSOR DE PÁS RADIAIS	43
FIGURA 31 – IMPULSOR DE PÁS AXIAIS	43
FIGURA 32 – COLOCAÇÃO DO IMPULSOR NO REATOR	44
FIGURA 33 – IMPULSOR DO REATOR	44
FIGURA 34 - RELAÇÃO DO VOLUME DO REATOR E DA FORÇA DE AGITAÇÃO DO MOTOR	45
FIGURA 35 – MOTOR ELÉTRICO EXEMPLO	45
FIGURA 36 – SELO MECÂNICO DA EKATO GROUP ESD64H	46
FIGURA 37 – DESENHO TÉCNICO DO ESD64H	46
FIGURA 38 – SISTEMA DE AGITAÇÃO	47

FIGURA 39 – JUNÇÃO ENTRE A TAMPA DO REATOR E O SELO	47
FIGURA 40 – REPRESENTAÇÃO DO FURO PARA ALOJAMENTO DO TRANSDUTOR DE PRESSÃO	49
FIGURA 41 – TRANSDUTOR DE PRESSÃO <i>KULITE</i>	49
FIGURA 42 – SENSOR DE PRESSÃO DIGITAL	49
FIGURA 43 – REPRESENTAÇÃO DA INSTALAÇÃO DA VÁLVULA DE ALÍVIO DE PRESSÃO	50
FIGURA 44 – PEÇA DE SUPORTE	51
FIGURA 45 – REPRESENTAÇÃO DO REATOR ASSENTE NO SEU LUGAR	52
FIGURA 46 – APERTO DO RODAPÉ À BARRA	53
FIGURA 47 - BASE	53
FIGURA 48 – MONTAGEM DAS BARRAS	53
FIGURA 49 – SUPORTE DA PEÇA QUE SUPORTA O REATOR	54
FIGURA 50 – PORMENOR DAS RODAS	54
FIGURA 51 – PORMENOR DO FECHO MAGNÉTICO	54
FIGURA 52 – BATENTE DAS PORTAS	54
FIGURA 53 – SUPORTE E PROTEÇÃO DO REATOR	55
FIGURA 54 - VALOR A COBRIR EM FUNÇÃO DO TEMPO	60
FIGURA 55 – REPRESENTAÇÃO FINAL DO REATOR	61

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – PROCESSOS TERMOQUÍMICOS	9
TABELA 2 - ESTUDOS DO PROCESSAMENTO DE VÁRIAS MICROALGAS	12
TABELA 3 - DIVERSOS ESTUDOS DE PROCESSAMENTO DE BIOMASSA	13
TABELA 4 – LIQUEFAÇÃO DE MATERIAIS NÃO ORGÂNICOS	14
TABELA 5 – TIPOS DE REATORES	15
TABELA 6 - TIPOS DE REATORES	22
TABELA 7 - MATERIAIS POSSÍVEIS PARA O REATOR	25
TABELA 8 – ÍNDICE DE DESEMPENHO DOS MATERIAIS VIÁVEIS	26
TABELA 9 – DIMENSÕES CARACTERÍSTICAS DO O RING E DO SEU ALOJAMENTO	30
TABELA 10 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SOLUÇÃO DA GARRA	34
TABELA 11 – OPÇÕES DE AQUECIMENTO	37
TABELA 12 – GASTO ENERGÉTICO PARA O AQUECIMENTO	42
TABELA 13 – TIPOS DE IMPULSORES	43
TABELA 14 – MASSAS DAS PEÇAS DO REATOR	51
TABELA 15 – TENSÃO NA PEÇA DE SUPORTE	52
TABELA 16 – DIMENSÕES DAS BARRAS	53
TABELA 17 – SEQUÊNCIA DE MONTAGEM	53
TABELA 18 – PORMENORES CONSTRUTIVOS DAS PORTAS	54
TABELA 19 – BALANÇO ENERGÉTICO DO REATOR POR UTILIZAÇÃO	57
TABELA 20 - BASES DE ORÇAMENTAÇÃO	57
TABELA 21 – ORÇAMENTO DO PROJETO	58
TABELA 22 – CUSTO DOS COMBUSTÍVEIS COMUNS	59
TABELA 23 – LUCRO MONETÁRIO	59
TABELA 24 – FICHA TÉCNICA DO REATOR	61

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	Consumo mundial de energia	3
1.2	Energias Sustentáveis	3
1.3	A biomassa	4
1.4	O objetivo deste projeto	4
1.5	Estrutura da Dissertação	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1	Os processos termoquímicos	9
2.2	Processos termoquímicos secos	9
2.2.1	Torrefação	10
2.2.2	Pirólise	10
2.2.3	Gaseificação	10
2.3	Processos termoquímicos húmidos	10
2.3.1	Carbonização hidrotérmica	10
2.3.2	Liquefação hidrotérmica	10
2.3.3	Gaseificação hidrotérmica	10
2.4	Processo de interesse	11
2.5	O uso das microalgas	11
2.6	Estudos com outros tipos de biomassa	12
2.7	Estudo com outros resíduos	13
2.8	Reatores	14
2.8.1	Liquefação em reatores contínuos	15
2.8.2	Liquefação em reatores descontínuos	16
2.8.3	Estratégias de liquefação incomuns	17
3	DESENVOLVIMENTO	21

3.1	Objetivo	21
3.2	Necessidades do projeto	21
3.3	Classificação do reator pretendido	21
3.4	Ordem de construção	22
3.5	Geometria do Reator	22
3.5.1	Material do Reator	23
3.5.2	Espessura Mínima do Reator	26
3.6	Vedação	28
3.6.1	Material do O-ring	31
3.6.2	Escolha dos Parafusos	31
3.7	Fluxo da pré mistura e do bioóleo	32
3.8	Aquecimento e Arrefecimento	36
3.8.1	Proposta de Aquecimento	38
3.8.2	Controlo da temperatura	39
3.8.3	Isolamento térmico	40
3.8.4	Proposta de arrefecimento	42
3.8.5	Gasto energético do controlo de temperatura	42
3.9	Agitação	42
3.9.1	Impulsor	43
3.9.2	Motor	44
3.9.3	Vedação do agitador	45
3.10	Pressurização e condicionamento atmosférico	47
3.11	Controlo	47
3.11.1	Controlo de Temperatura	48
3.11.2	Controlo de pressão	48
3.12	HAZOP	50
3.13	Suporte	51
3.14	Guia de funcionamento	55
3.15	Capacidade de produção	57
3.16	Orçamento	57
3.17	Amortização	59

3.18	Ficha técnica	61
4	CONCLUSÕES	65
4.1	Acumular riqueza	65
4.2	Rumo à Sustentabilidade	65
4.3	Conhecimento é poder	66
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	69
6	ANEXOS	73
6.1	Cálculos	73
6.1.1	Volume útil do Reator	73
6.1.2	Consumo do agitador	73
6.1.3	Massa das peças	73
6.1.4	Cargas no sistema de suporte e proteção	74
6.1.5	Carga instalada nas barras de apoio	75
6.2	Desenhos técnicos	76

INTRODUÇÃO

1.1 Consumo mundial de energia

1.2 Energias Sustentáveis

1.3 A biomassa

1.4 O objetivo deste projeto

1.5 Estrutura da Dissertação

1 INTRODUÇÃO

A presente dissertação de mestrado foi desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação do Mestrado em Engenharia Mecânica – Energia, com vista à obtenção do grau do Mestre pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto.

1.1 Consumo mundial de energia

É do conhecimento geral que se o consumo de combustíveis fósseis permanecer constante ao longo do tempo, as reservas destes irão esgotar. Não fosse isto bastante, a procura global de energia tem aumentado nos últimos anos. Isto porque o consumo atual já é muito maior do que aquilo que o planeta produz naturalmente. Juntamente com os danos que a utilização desta energia provoca ao ambiente, é natural que haja um interesse cada vez maior no desenvolvimento de energias sustentáveis.

1.2 Energias Sustentáveis

Energia sustentável é aquela que é capaz de ser fornecida de modo a atender as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazerem as suas necessidades. As principais fontes de energia sustentável são as renováveis e limpas, com nenhum ou muito pouco índice de geração de CO₂ (dióxido de carbono). Energia sustentável é aquela que é capaz de ser fornecida de modo a atender as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazerem as suas necessidades. As principais fontes de energia sustentável são as renováveis e limpas, com nenhum ou muito pouco índice de geração de CO₂ (dióxido de carbono) e outros gases com efeito de estufa (GEE).

Este desenvolvimento tem mostrado já alguns resultados. É possível ver algumas alternativas em prática da tentativa de substituir os combustíveis de origem fóssil por outras técnicas de aproveitamento de energia renovável como a eólica, hídrica ou radiação solar, e por outros combustíveis de fontes que possuem a possibilidade de serem sustentáveis (biomassa) [1] [2]. No entanto ainda não foi possível chegar a uma solução perfeita que permita ao ser humano utilizar a energia de que necessita sem o auxílio dos combustíveis fósseis, visto que esta solução tem de ser economicamente viável, não gerar poluição ou desperdício. Para ser sustentável, a energia obtida não pode deixar desperdício, causar danos irreversíveis ao ambiente, ou seja, para o fabrico de algo ser considerado sustentável é necessário que o que era considerado desperdício, por exemplo, aparas de madeira da indústria de mobiliário, em vez de ser colocado no lixo, é possível condensá-las na forma de *pellets* e obtém-se um novo combustível.

1.3 A biomassa

Uma fonte de energia com grandes possibilidades de se tornar uma solução sustentável é a biomassa (material orgânico com possibilidade de ser utilizado como combustível ou para produzir combustíveis mais eficientes e limpos). Pode ser usada no estado bruto, mas na generalidade é mais atraente processar a biomassa de modo a que a energia esteja mais concentrada o que, para além de melhorar o poder calorífico, facilita também o seu transporte. Segundo Koonin [3], é possível fornecer 30% da procura mundial de energia usando apenas a biomassa sem afetar a produção de comida e respeitando o ambiente.

Um método bastante promissor em termos de sustentabilidade é a liquefação de biomassa. Este processo transforma a biomassa na forma de grandes e pequenos sólidos em produtos maioritariamente líquidos. A constituição dos produtos líquidos depende diretamente da natureza da biomassa utilizada, mas também é afetada pelas condições de processamento, onde estão incluídos os catalisadores, o solvente, a temperatura e a pressão.

É necessário agora criar mecanismos que permitam ao ser humano condensar a energia dessa biomassa de uma forma sustentável, deste modo reduz-se largamente as necessidades de transporte e aumenta-se o valor do combustível. Vários testes já foram realizados com vários tipos de biomassa, para perceber a melhor metodologia de fabrico de biocombustível. Por exemplo, recorrendo aos resíduos sólidos urbanos já foram feitos estudos usando restos de comida, desde casca de batata até palha de milho.

Uma fonte de biomassa bastante interessante são as microalgas, seres unicelulares ou com composições multicelulares simples, que podem ser consideradas como uma boa fonte de matérias-primas para a produção de biocombustíveis renováveis, com uma maior eficiência de fotossíntese, crescimento mais rápido e maior densidade de crescimento do que a biomassa terrestre.

Diversos processos, especialmente os processos termoquímicos, necessitam de um reator (Figura 1) para converter a biomassa num produto energeticamente mais eficiente. É neste reator que se dão as reações químicas responsáveis pela quebra molecular da biomassa, até a formação de um novo produto. Também ocorre aqui a agitação e as trocas de energia e de massa.

1.4 O objetivo deste projeto

O presente trabalho tem em vista o total dimensionamento de um reator onde se dá um processo de aproveitamento da energia contida na biomassa, a liquefação hidrotérmica. Este reator tem como objetivo fazer parte de um processo de criação de energia sustentável na forma de um combustível líquido.

Neste projeto é almejada uma capacidade diária de 20 L, utilizando uma matéria-prima residual, de modo a promover a possibilidade de sustentabilidade do processo onde será despendida a energia produzida neste reator.

É assim necessário que a energia produzida seja muito superior do que a energia despendida no processo. Para que isso aconteça será realizada uma investigação aplicada nas diversas técnicas conhecidas para a liquefação de biomassa, passando a maior parte da atenção nos diferentes tipos de biomassa possíveis de se liquefazerem e também nos diversos tipos de reatores.



Figura 1 - Reator químico com sistema de agitação da Noxfor Equipis

1.5 Estrutura da Dissertação

No capítulo 1 foi feita uma introdução à dissertação apresentado o tema geral.

No capítulo 2 será feita uma investigação aplicada nas tecnologias atuais para a liquefação da biomassa, as biomassas possíveis de serem liquefeitas nas condições pretendidas. Também serão investigados os progressos nos reatores de liquefação.

No capítulo 3 será tido em conta em a investigação realizada e será aplicada no projeto do reator. Este projeto tentará criar mais uma tecnologia de “produção” de energia sustentável. Será também feita uma breve análise económica do processo.

No capítulo 4 serão apresentadas as devidas conclusões desta dissertação.

No capítulo 5 são apresentadas as fontes de informação mais relevantes para o desenvolvimento do projeto.

No capítulo 6 são apresentados os cálculos de menor importância, os desenhos detalhados e as fichas técnicas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Os processos termoquímicos

2.2 Processos termoquímicos secos

2.3 Processos termoquímicos húmidos

2.4 Processo de interesse

2.5 O uso das microalgas

2.6 Estudos com outros tipos de biomassa

2.7 Estudo com outros resíduos

2.8 Reatores

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será feita uma análise das tecnologias atuais referentes ao processamento de materiais cujo destino seria um depósito de lixo devido à sua aparente falta de utilidade. Aqui são mostrados estudos que comprovam a possibilidade de existência de um destino alternativo útil para esse lixo.

2.1 Os processos termoquímicos

No campo do aproveitamento de energia contida na biomassa, inúmeros estudos já foram realizados, com o objetivo de encontrar uma solução sustentável e economicamente atrativa para minimizar a dependência dos combustíveis fósseis.

A biomassa pode ser aproveitada em bruto, pode sofrer processo de refinamento ou desidratação, ou pode ser também convertida noutros biocombustíveis através de processos químicos, bioquímicos ou termoquímicos.

Os processos termoquímicos podem ser divididos em processos por via seca ou por via húmida (Tabela 1).

Tabela 1 – Processos termoquímicos

Via seca	Via húmida
Torrefação	Carbonização hidrotérmica
Pirólise	Liquefação hidrotérmica
Gasificação	Gasificação hidrotérmica

A distinção entre os processos termoquímicos por via húmida e por via seca é a não desidratação da biomassa antes da transformação no caso da via húmida. Sendo a secagem um processo muito dispendioso em termos energéticos, e por conseguinte em termos financeiros, a não necessidade desta etapa torna o processo atraente, no entanto, na generalidade das situações, os processos por via seca criam produtos com maior poder calorífico.

2.2 Processos termoquímicos secos

Dentro desta categoria destacam-se a torrefação, pirólise e gasificação. Embora todos utilizem temperaturas e pressões altas, como também há controlo atmosférico dentro do reator, cada processo utiliza a sua gama de condições com o intuito de produzir combustíveis com diferentes características.

2.2.1 Torrefação

Torrefação é a conversão termoquímica que processa biomassa relativamente seca a condições suaves (200-300 °C e pressão atmosférica), na ausência de oxigênio, causando uma decomposição da biomassa, e resultando num material sólido rico em hidrocarbonetos como principal produto.

2.2.2 Pirólise

Pirólise é um processo também realizado na ausência de oxigênio, transformando a biomassa em bio óleo, carvão e numa fração gasosa, a temperaturas entre 400 a 600 °C e à pressão atmosférica.

2.2.3 Gaseificação

Gasificação, como processo termoquímico, consiste na conversão de materiais carbonáceos através da oxidação parcial da biomassa a temperaturas elevadas (superiores a 700 °C) e à pressão atmosférica.

2.3 Processos termoquímicos húmidos

Carbonização, liquefação, e gaseificação hidrotérmica são os processos termoquímicos húmidos mais relevantes.

2.3.1 Carbonização hidrotérmica

Carbonização hidrotérmica consiste na produção de hidrocarbonetos em água. As condições deste processo andam à volta dos 200 °C e pressões inferiores a 2 MPa. Este método é exotérmico e produz dois produtos, uma fase aquosa e um hidrocarboneto insolúvel.

2.3.2 Liquefação hidrotérmica

Liquefação hidrotérmica (HTL) é um processo que transforma a biomassa em óleo em água a temperaturas médias (280-370 °C) e gamas alargadas de pressão, mas geralmente estas andam entre 10-25 MPa, de modo a que mantenham a água em estado condensado. Este processo origina quatro frações de produtos: óleo, gás, resíduo sólido e uma fase aquosa.

2.3.3 Gaseificação hidrotérmica

Neste processo é utilizada água no estado supercrítico, também conhecido como gaseificação em água supercrítica este processo utiliza pressões acima de 22,1 MPa e temperaturas superiores a 374 °C. Este processo origina maioritariamente biocombustíveis gasosos, no entanto, o valor do gás obtido não é competitivo com os custos de produção [4].

2.4 Processo de interesse

De todos os processos que foram apresentados, os únicos que podem ser tidos como possíveis referências são a pirólise e a liquefação hidrotérmica, dado que os produtos deste processos são maioritariamente líquidos. Os outros processos focam-se mais na produção de sólidos ou biocombustíveis gasosos.

A pirólise não aparenta ser o caminho deste projeto dadas as condições mais agressivas a que o reator estaria sujeito. As condições mais amenas da HTL relativamente à pirólise tornam esta tecnologia mais atraente e os estudos positivos desta tecnologia têm cada vez aparecido.

2.5 O uso das microalgas

Como descrito anteriormente, a alta eficiência fotossintética das microalgas despertou um grande interesse na comunidade científica como um potencial substituto aos combustíveis fósseis [5]. Esta eficiência fotossintética permite uma velocidade de produção de combustível maior dado o rápido crescimento das microalgas em áreas de cultivo menores, relativamente a outras biomassas. Mas para que seja possível produzir os biocombustíveis provenientes desta biomassa é preciso que a longa cadeia de processos para a obtenção destes biocombustíveis (biodiesel, bioetanol, etc.) seja otimizada primeiro. Um desses processos é a rutura das ligações moleculares que pode ser feita através de uma liquefação, seja esta mecânica, química ou termoquímica.

Para a pesquisa de informação foi foram procuradas referências para as condições de liquefação mais suaves (baixas temperaturas e pressões) e a HTL teve especial atenção na separação de informação útil e não útil. A informação mais útil foi condensada na Tabela 2.

Tabela 2 - Estudos do processamento de várias microalgas

Microalga	Processo	Condições	Resultado	Referência
<i>Coelastrum sp.</i>	Liquefação Hidrotérmica com dois passos	Liquefação hidrotérmica de um ou dois passos (THTL) com variações de temperatura de 200 a 360 °C e de pressão entre 7 a 20 MPa.	A condição adequada para THTL seria um primeiro passo a 200 °C e 7 MPa, e um segundo passo a 320 °C e 20 MPa, durante 2 h.	[6]
<i>Chlorella</i>	Liquefação hidrotérmica em fluxo contínuo	Fluxo de 2,5 l/h a uma temperatura de 350 °C a uma pressão 20,6 MPa durante 1,4 a 5,8 minutos.	40% de bioóleo em fração mássica húmida com 35 MJ/kg mas incapaz de ser combustado diretamente devido à excessiva presença de nitrogénio e oxigénio.	[7]
<i>Chlorella pyrenoidosa</i> e <i>Spirulina platensis</i>	Liquefação Hidrotérmica	Temperatura entre 200 a 320 °C.	O óleo com maior percentagem de compostos alifáticos foi obtido com as temperaturas mais altas (280 a 320 °C).	[8]
<i>Nannochloropsis</i>	Carbonização Hidrotérmica seguida de extração de lípidos	Temperatura entre 180 e 220 °C e tempo de reação entre 15 a 30 minutos.	Sugerem que este processo é promissor para produzir lípidos com valor para biocombustíveis e nutracêuticos.	[9]

2.6 Estudos com outros tipos de biomassa

Embora as microalgas possuam a vantagem de um crescimento mais rápido, ocupando uma área de produção menor e sendo possível cultiva-las em espaços onde mais nenhuma biomassa consegue crescer, há que ter atenção aos outros tipos de biomassa (Tabela 3) que, pelas suas próprias razões, também podem ser alvo de um processo de liquefação para melhorar a sustentabilidade do seu consumo.

Tabela 3 - Diversos estudos de processamento de biomassa

Biomassa	Processo	Condições de processamento	Resultados	Referência
Borra de café	Liquefação hidrotérmica	275 °C, 2,0 MPa, 10 min de tempo de retenção, 20/1 de fração mássica água/matéria-prima de		[10]
Lenhite	Liquefação com metanol e óxido de cálcio	0.1 MPa	Zhipong Lei, 2011	[11]

Uma maneira estudada para aproveitar a energia contida na borra de café é através de uma liquefação hidrotérmica. Num estudo feito por Linxi Yang [10], é possível obter uma produção de 47,3 % (fração mássica) de bio óleo através de uma HTL nas condições de 275 °C, uma pressão de 2,0 MPa, 10 min de tempo de retenção, uma razão mássica água/matéria-prima de 20/1. Neste artigo é estudado o efeito da alteração da pressão neste processo, que revelou existir um impacto muito pequeno na pressão inicial entre 0,5 a 2,0 MPa.

2.7 Estudo com outros resíduos

Outra maneira de melhorar a sustentabilidade é aproveitar os resíduos sólidos que à partida não são sustentáveis e atribuir-lhes um processo de aproveitamento da energia a partir da sua decomposição. Deste modo, os resíduos que poderiam acabar num aterro ou numa sucata podem voltar à cadeia de sustentabilidade.

Para que isto aconteça é preciso primeiro descobrir também um processo que possa trazer benefícios económicos para o fabricante. E estando os benefícios económicos diretamente ligados aos benefícios energéticos, é do máximo interesse estar atento aos estudos dos processos de aproveitamento de energia a partir destes resíduos(Tabela 4).

Tabela 4 – Liquefação de materiais não orgânicos

Produto	Processo	Condições	Resultados	Referência
Pneus usados	HTL	Temperatura entre 200 e 430 °C e pressão entre 0 a 28 MPa com variação do tempo de retenção, fração mássica e do tipo de atmosfera.	Percentagem mássica de bioóleo atingida de 52,73% nas condições de 120 °C até 500 °C com poder calorífico de 44,20-45,09 MJ/kg	[12]

2.8 Reatores

Os reatores são os equipamentos onde se realizam as reações químicas responsáveis pela alteração da constituição dos reagentes originando produtos com características diferentes, podendo até alterar o estado físico da substância. O desenvolvimento de reatores atualmente já possui grande capacidade de adaptação às condições exigidas.

Para se obter a melhor informação possível para se saber quais os reatores mais indicados para as condições do projeto, foram vistos os reatores usados nos artigos científicos para um melhor afinamento de configurações possíveis.

No início foi condensada as informações básicas dos vários tipos de reatores na Tabela 5 de modos a que haja uma rápida percepção das possibilidades de construção, e a partir daí começar a descartar possibilidades.

Tabela 5 – Tipos de reatores

Designação	Vantagens	Desvantagens	Aplicações
Reator Contínuo	Produto contínuo regular em composição química. Aquecimento menos problemático, menor energia requerida e gera um experimento mais bem definido.	Elevado custo de investimento	Produção em maior escala (fábricas)
Reator Descontínuo	Baixo custo, construção simples, fácil manuseamento	Necessário que haja uma paragem no ciclo para a retirada dos produtos, limpeza e injeção dos produtos	Estudos científicos e produção em menor escala (oficinas, laboratórios)
Reator de para-corrente	Menor tempo de paragem em relação aos reatores descontínuos	Contaminação cruzada entre produtos e a biomassa que ainda não reagiu.	Estudos das reações químicas
Reator Semicontínuo	Reações cruzadas são prevenidas devido à eluição contínua	Custo unitário elevado, difícil de atingir produção em grande escala	Estudos de decomposição [13]

2.8.1 Liquefação em reatores contínuos

Os reatores contínuos para liquefação possuem dificuldades em gerar interesse no seu investimento devido à falta de pesquisa nesta área, que se justifica pela dificuldade de encontrar componentes que consigam introduzir lamas no reator continuamente às altas pressões necessárias a este processo. No trabalho de Mørup [13] é possível ver uma descrição detalhada de um reator contínuo com o propósito de liquefazer biomassa. O funcionamento deste reator é dividido em 5 secções que operam continuamente:

- Introdução da matéria-pima
- Pré-aquecimento
- Reator
- Zona de descarga
- Separação dos produtos

A introdução da matéria prima é feita por uma bomba para lamas ou por um conjunto de 2 injetores funcionando alternadamente para criar um fluxo mais contínuo possível. Nos reatores contínuos a matéria prima é aquecida até à temperatura de projeto antes desta entrar no reator.

O reator contínuo costuma possuir um corpo cilíndrico de forma a que a massa se desloque de uma extremidade à outra demorando o tempo de retenção necessário a fazer este percurso. Estes reatores podem ser colocados horizontalmente como na Figura 2, verticalmente como mostrado no trabalho de Mørup [13], ou até ligeiramente inclinados.



Figura 2 – Reator contínuo horizontal da *Cambridge*

Os reatores verticais possuem a vantagem da aceleração gravítica auxiliar no escoamento do produto. Depois de passar no reator, a matéria-prima já terá se decomposto em vários produtos (maioritariamente líquidos), que serão arrefecidos e escoados para fora do reator até à secção de separação. Nesta zona de separação é que os produtos serão separados. Neste tipo de reatores existe o risco acrescido de ocorrer a criação de carvão se as condições do processo não forem adequadas para a biomassa selecionada, gerando o risco de entupimento. Sendo assim, minimizar a formação de resíduos sólidos é crítico.

2.8.2 Liquefação em reatores descontínuos

Os reatores descontínuos são os mais simples e mais comuns dentro da comunidade científica. Dado o seu modo de funcionamento de abre/fecha o reator estes reatores são ideias para repetição de experiências laboratoriais para o aprofundamento do conhecimento.

No entanto dada a sua simples construção e menor custo de investimento e funcionamento, pode ser interessante fazer um *scale-up* dos reatores normais de laboratório para um tamanho que possibilitasse uma produção maior.

2.8.3 Estratégias de liquefação incomuns

A liquefação de biomassas lignocelulósicas com maiores tamanhos de partículas pode socorrer também de uma liquefação com a ajuda mecânica. Este apoio mecânico nos reatores de liquefação é feito com o sistema de vibro-bal-milling (VBM) ajuda a desfazer as maiores partículas através do impacto que as esferas no interior do reator exercem nesta biomassa [14]. Este reatores são cilíndricos e possuem ligação com um motor elétrico que mantém o reator a girar. No interior do reator as esferas estão soltas e através do atrito com a superfície interior do reator são projetadas para cima e com a ação da gravidade são largadas em cima da biomassa (Figura 3).

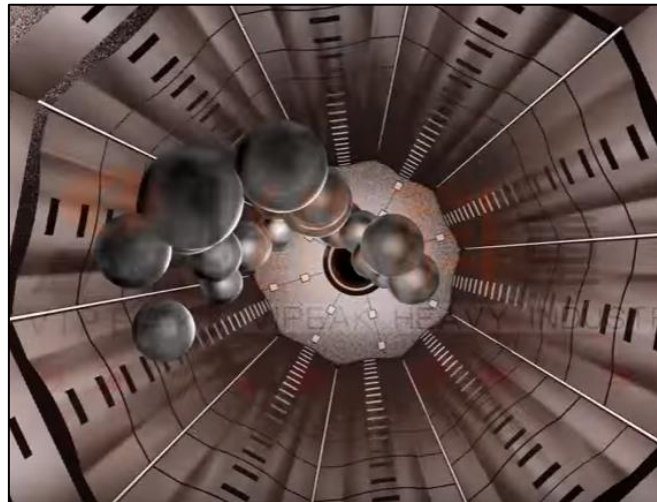


Figura 3 – Interior de um reator VBM

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Objetivo
- 3.2 Necessidades do projeto
- 3.3 Classificação do reator pretendido
 - 3.4 Ordem de construção
 - 3.5 Geometria do Reator
 - 3.6 Vedação
- 3.7 Fluxo da pré mistura e do bioóleo
- 3.8 Aquecimento e Arrefecimento
 - 3.9 Agitação
- 3.10 Pressurização e condicionamento atmosférico
 - 3.11 Controlo
 - 3.12 HAZOP
 - 3.13 Suporte
 - 3.14 Guia de funcionamento
- 3.15 Capacidade de produção
 - 3.16 Orçamento
 - 3.17 Amortização
 - 3.18 Ficha técnica

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será exibido todo o planeamento realizado para a projeção do reator de liquefação, desde o início até ao projeto final.

3.1 Objetivo

Tendo como base o artigo de Linxi Yang sobre o estudo da liquefação do café [10] será dimensionado um reator que consiga realizar a liquefação nas melhores condições indicadas, sendo estas uma temperatura de 275 °C, com um tempo de reação de 10 minutos e uma fração mássica água/café de 20:1. A pressão inicial entre 0,5 a 2 MPa não altera significativamente o resultado, por isso, por uma questão de poupança energética é definida a 0,5 MPa. Este processo produz um bioóleo com um poder calorífico de 31,0 MJ/kg a partir da biomassa em bruto que contém aproximadamente 20,2 MJ/kg. Este processo “produz” 10,8 MJ de energia por cada quilograma e será este o valor, em comparação com a energia despendida, que determinará a viabilidade do processo.

3.2 Necessidades do projeto

Para que o reator funcione nas condições necessárias, é preciso controlar vários aspetos e definir as necessidades à partida, para que o desenvolvimento inicial não comprometa a resolução de problemas exteriores, por exemplo, o formato do reator pode comprometer o sistema de aquecimento se não for pensado de forma a suportar um. As necessidades do reator são então:

- Aquecimento e Arrefecimento
- Entrada e saída de resíduo e óleo
- Agitação
- Capacidade 20 L/dia
- Resistência à corrosão
- Possibilidade de manutenção e limpeza

3.3 Classificação do reator pretendido

O reator pretendido tem uma capacidade de produção de 20 L/dia de bioóleo. Para isso é considerado que o reator deverá funcionar quatro vezes por dia, produzindo 4,73 L de bioóleo em cada utilização a partir de 10 L da pré-mistura. Tendo em conta que o reator deve estar 50 a 60% cheio da pré-mistura e que há que considerar o volume que o agitador, os sistemas de aquecimento e arrefecimento ocupam, é almejado um volume interior útil de cerca de 20 dm³.

Para se conseguir uma produção de 20 L/dia com quatro utilizações do reator, é necessário 5 L de bioóleo por utilização o que obriga a uma quantidade inicial da pré-mistura de 10,57 L o que corresponde a aproximadamente 53 % do volume do reator, o

que se encontra dentro do intervalo aceitável de 50 a 60%. Isto não obriga a um rigor elevado, qualquer que seja a quantidade colocada inicialmente não afeta significativamente a qualidade do bioóleo.

3.4 Ordem de construção

A ordem de construção foi pensada de modo a que o desenvolvimento do reator se desse de uma forma lógica, começando pelo reator em bruto e adicionado as capacidades em seguida.

1. Geometria do reator
2. Vedação
3. Aquecimento e Arrefecimento
4. Controlo da atmosfera e pressão
5. Controlo da entrada da biomassa e saída do bioóleo
6. Agitação
7. Suporte
8. Proteção

3.5 Geometria do Reator

Em relação à geometria do reator é necessário ter em conta as atividades que ocorrem no seu interior; agitação do conteúdo através de um agitador magnético, aquecimento e arrefecimento. Para estes efeitos é conveniente que o reator tenha a forma de um recipiente largo para facilitar a limpeza do mesmo e tenha um volume disponível de pelo menos 20 dm³. Algumas geometrias básicas estão mostradas na (Tabela 6).

Tabela 6 - Tipos de Reatores

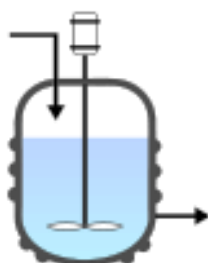


Figura 4 - Tanque com agitação

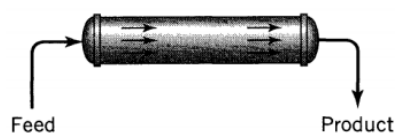


Figura 5 - Reator tubular



Figura 6 - Reator de Leito

Para o reator em questão, é necessário que o reator aguente uma pressão de 7 MPa e temperaturas de 200-300 °C. Para que isto aconteça da forma mais sustentável é desejável um reator que funcione em descontínuo, sendo a principal razão a dificuldade energética e mecânica de criar um fluxo de uma lama espessa à pressão de 7 MPa. Dentro das opções analisadas, a melhor será o tanque com agitação. O plano de funcionamento será a introdução da pré-mistura, a vedação do reator, a introdução de uma atmosfera inerte à pressão inicial e o início da reação. No final retira-se o bioóleo produzido após o arrefecimento do reator e do produto, e a despressurização dos mesmos.

3.5.1 Material do Reator

As propriedades importantes para a escolha do material começam pela resistência mecânica (σ_f), para que o reator suporte os esforços a que estará sujeito sem se deformar plasticamente durante a atividade; resistência à corrosão/oxidação, para garantir a não contaminação do bioóleo produzido e para que o reator não seja facilmente degradado. A tensão limite de fadiga (σ_f) do material do reator também é um valor importante para que este suporte um número infinito de ciclos sem romper. Para os efeitos de construção é necessário a possibilidade de soldadura e boa maquinabilidade.

As opções passam pelos metais, cerâmicos, polímeros e compósitos. Pelas condições agrestes do processo de liquefação excluem-se os polímeros e os vidros, os cerâmicos não são uma boa opção devido à dificuldade de fabrico e pela alta fragilidade e os compósitos mostram-se uma opção dispendiosa e desnecessária, visto que os metais, nesta situação, possuem a vantagem da facilidade de fabrico a um preço reduzido, mantendo uma alta resistência mecânica, à corrosão e às temperaturas do processo.

Dentro das ligas metálicas existem diversas ligas que poderiam ser escolhidas para o reator, há o interesse de escolher a ou pelo menos as melhores ligas que melhor se adequam a este reator. Sendo impossível procurar detalhadamente todas as ligas de todos os metais em tempo útil, foi feita uma seleção a partir das ligas mais comuns. Foram pesquisadas as ligas de alumínio, magnésio, níquel, titânio e aço, e também as ligas mais utilizadas pela *Parr Instrument Company* no fabrico de reatores químicos (Tabela 7).

Antes de selecionar uma liga como possível é preciso verificar que esta possui os requisitos mínimos sendo estes:

- Muito boa resistência à corrosão
- Temperatura de fusão superior a 1102 °C para evitar a deformação devida à fluência
- Resistência à fadiga aceitável

As ligas de ferro mais utilizadas para estes reatores são feitas em aço inoxidável. A liga 316 é um material excelente para uso com a maioria dos sistemas orgânicos, foi esta liga a utilizada por Yang [10].

As ligas de Titânio são atrativas pelas muitas propriedades favoráveis que apresentam, sendo as mais interessantes a alta resistência mecânica mesmo a altas temperaturas, a excelente resistência à corrosão e ao desgaste. A sua baixa densidade relativa ao aço inoxidável também é uma vantagem, mas não foi considerada dado que é suposto o reator ficar imóvel suportado por uma estrutura metálica. As ligas mais utilizadas na fabricação de reatores são as de titânio comercialmente puro (grau 2,3,4 e 7), no entanto para um reator onde a soldadura seja uma opção as melhores ligas são as de grau 2 e 7. Destes dois é mais difícil obter lingotes de grau 7.

As ligas de Alumínio mais adequadas são as da série 5xxx devido à sua elevada resistência e corrosão e superiores propriedades mecânicas relativamente à série 5xx.x. Estas ligas possuem Mg na sua composição que aumenta consideravelmente a resistência à corrosão, no entanto esta quantidade de magnésio não pode ser superior a 3% porque estas ligas a temperaturas superiores a 100 °C sofrem danos causados pela corrosão devida ao stress. Uma desvantagem das ligas de alumínio é também o seu baixo ponto de fusão, e mesmo a resistência mecânica destas ligas mais resistentes não é tão boa como a do resto dos materiais aptos para o reator.

As ligas de níquel não são, à partida, aptas para este reator, começando pelo seu elevado custo de fabricação e pela fraca resistência mecânica (≈ 145 Mpa). Níquel 200 é uma das denominações de níquel comercialmente puro e utilizado ocasionalmente pela *Parr Instrument Company*. Esta liga oferece o máximo em resistência à corrosão em ambientes cáusticos quentes, mas as suas aplicações são severamente restringidas por causa de sua má maquinabilidade e elevados custos de fabricação resultantes. Uma melhor opção será a liga 400 (66% níquel, 33% cobre) que possui a mesma resistência à corrosão e uma melhor maquinabilidade resultando num reator mais barato e mais resistente à corrosão e ao *stress*.

O zircônio é indicado na presença de ácido sulfúrico e ácido hidrolórico, neste reator é inútil visto o seu elevado preço para uma resistência mecânica mais baixa e resistência à corrosão mais baixa noutros ambientes.

O tântalo é mais indicado para aplicações com ácidos concentrados a altas temperaturas, mas a um preço tão elevado que muitas vezes é uma melhor opção vaporizar o reator com tântalo resultando numa camada protetora com as características do tântalo puro. Esta vaporização também vai acarretar um maior peso económico ao material escolhido pelo que não se justifica.

Tabela 7 - Materiais possíveis para o reator

Material	σ_f [Mpa]	Resistência à corrosão (a)	Disponibilidade do material (a)	Fabricação (a)	Custo aproximado [€/kg]
Haynes 230	275	9	6	6	44,1
Ti Gr. 2	276	8	6	7	10,4
Ti 6AL 4V	827	9	7	7	15,4
AISI 316	240	8	8	8	1,33
AISI 430	270	7	6	5	0,95
Al 5052 – H32	193	8	8	7	1,45
Níquel 400 (Monel 400)	240	9	7	5	6,6

(a) Escala de 1 a 10, sendo 1 muito pouco e 10 excelente

Dos materiais apresentados na Tabela 7, todos são viáveis para a construção do reator. Para escolher o melhor, o ideal é recorrer à matriz de seleção. Nesta metodologia é necessário definir as propriedades mais relevantes para a escolha do material e quantificá-las. A propriedade mais importante foi considerada a resistência à corrosão porque é esta propriedade que é mais afetada pelo funcionamento do reator (Foi dada uma importância de 30%). Em segundo lugar está o custo do material juntamente com a disponibilidade deste, visto que de nada serve um material barato, mas difícil de adquirir (Ambos com uma percentagem de importância de 20%). A Fabricação e a resistência mecânica ficaram em último lugar, mas também são importantes e recebem uma importância de 15% cada uma. O índice de desempenho do material (Tabela 8 **Erro! fonte de referência não encontrada.**) é calculado em função da relevância da propriedade com o desempenho do material nessa propriedade.

$$\acute{I}.M. = \sum \text{Desempenho do material} * \text{relevância da propriedade}$$

Ou seja, para a liga Haynes a σ_f deste (275MPa) é dividida pelo valor do melhor material nesta propriedade (Ti 6Al 4V com σ_f de 827 MPa) e multiplicada pela percentagem da propriedade (15% $\rightarrow \sigma_f = 0,15$). Este valor é depois somado ao respetivo valor das outras propriedades e o mais próximo de 1 é o material com melhor desempenho. No caso do custo aproximado em que o melhor valor é o mais baixo, o cálculo é semelhante, mas é o melhor valor (0,95 €/kg) que é dividido pelo valor do material (44,1 €/kg) de modo a que o valor resultante seja inferior a 1 na mesma.

Tabela 8 – Índice de desempenho dos materiais viáveis

Material	σ_f [Mpa]	Resistência à corrosão	Disponibilidade do material	Fabricação	Custo aproximado [€/kg]	Índice de Desempenho do material
Relevância da propriedade	0,15	0,3	0,2	0,15	0,2	1
Haynes 230	0,05	0,30	0,15	0,11	0,004	0,62
Ti Gr. 2	0,05	0,27	0,15	0,13	0,02	0,62
Ti 6AL 4V	0,15	0,30	0,18	0,13	0,01	0,77
AISI 316	0,04	0,27	0,20	0,15	0,14	0,80
AISI 430	0,05	0,23	0,15	0,09	0,20	0,73
Al 5052 – H32	0,04	0,27	0,20	0,13	0,13	0,76
Níquel 400 (Monel 400)	0,04	0,30	0,18	0,09	0,03	0,64

Pela análise da Tabela 8 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** pode-se reparar que material com um índice de desempenho melhor é o aço inoxidável 316 com um índice de desempenho de 0,80; as ligas cujo índice está sombreado a amarelo também possuem um índice de desempenho próximo e não precisam de ser descartadas se o construtor tiver preferência por uma delas.

3.5.2 Espessura Mínima do Reator

Para que não haja o risco de o reator ceder à pressão do interior o melhor é recorrer às equações de tensões de peças cilíndricas para definir uma espessura mínima de segurança. No caso das tensões radial e circunferencial (σ_r e σ_θ) o valor da tensão vai diferindo com o raio, no entanto visto que a pressão interna de funcionamento é muito superior à pressão externa o ponto que estará em maior tensão será o que está em contacto com o ambiente interior, logo os cálculos foram feitos para $r = a$.

$$\sigma_r = \frac{1}{b^2 - a^2} \left[(p_a \cdot a^2 - p_b \cdot b^2) - \frac{a^2 \cdot b^2}{r^2} (p_a - p_b) \right] \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = \frac{1}{b^2 - a^2} \left[(p_a \cdot a^2 - p_b \cdot b^2) + \frac{a^2 \cdot b^2}{r^2} (p_a - p_b) \right] \quad (2)$$

Estas equações são válidas para a tensão radial e circunferencial, no entanto visto que o reator é fechado nas extremidades é necessário contabilizar a tensão longitudinal com a equação:

$$\sigma_z = \frac{(a^2 \cdot p_a - b^2 \cdot p_b)}{(b^2 - a^2)} \quad (3)$$

Onde:

a, raio interno do reator (mm)

b, raio externo do reator (mm)

r, raio em estudo (mm)

p_a , pressão interna do reator (Pa)

p_b , pressão externa do reator (Pa)

Os cálculos foram efetuados contando com uma pressão interior de 7 MPa, e uma pressão exterior de 101 325 Pa (1 atm). No gráfico da Figura 7 estão representados os valores de cada uma das tensões para cada valor de espessura do reator já convertidos para MPa, para uma leitura mais fácil e também já multiplicadas pelo coeficiente de segurança de 1,5:

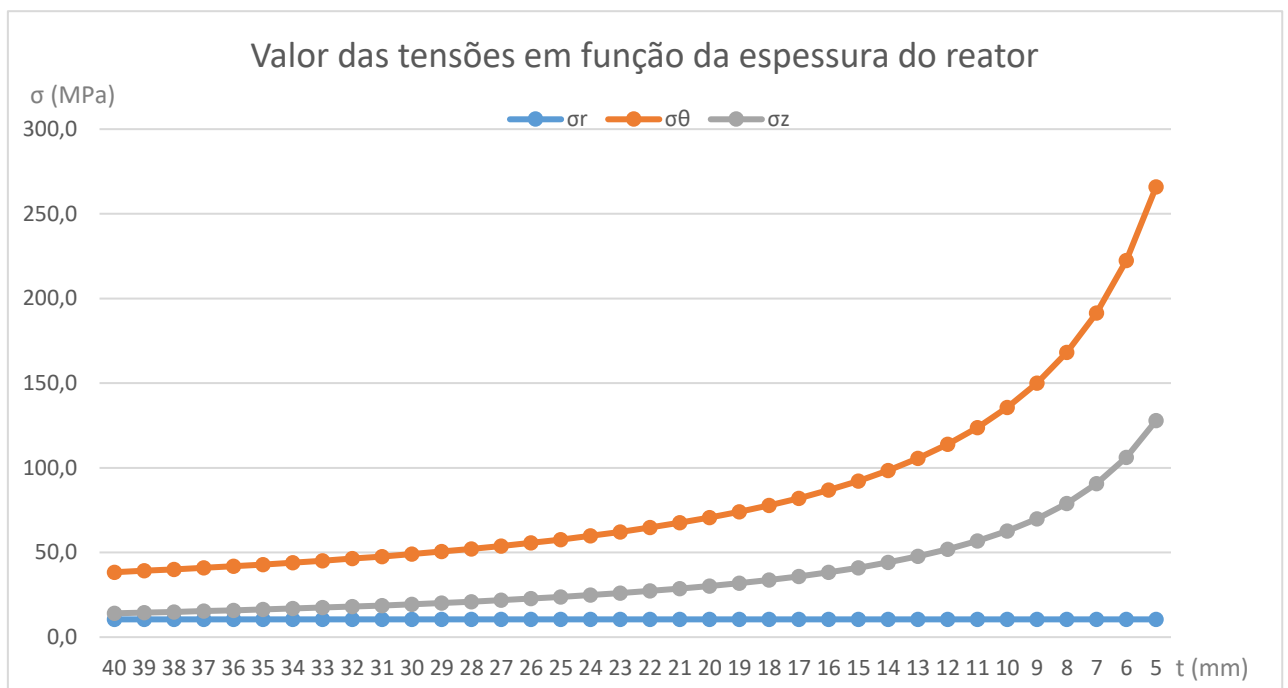


Figura 7 - Variação das tensões com a espessura(t)

Para o material escolhido (aço inoxidável AISI 316) vemos que a tensão circunferencial ultrapassa o valor de 275 MPa (máximo admitido pelo aço) em espessuras inferiores a 6 mm, ou seja, o reator precisa de ter 6 mm no mínimo para aguentar a pressão interior de funcionamento.

O reator precisa de ser mais robusto e a adição de mais componentes e ligações implica uma necessidade de uma espessura maior, para tal foi definida como 1,5 cm. Esta espessura é justificada pelo desgaste que o processo, que possui vapor de água a alta temperatura e pressão, vai originar. O desgaste vai corroer lentamente as paredes do reator tornando-o com o uso mais fino. Juntando à forma de tanque que já foi definida é possível já obter um esboço do reator (Figura 8).

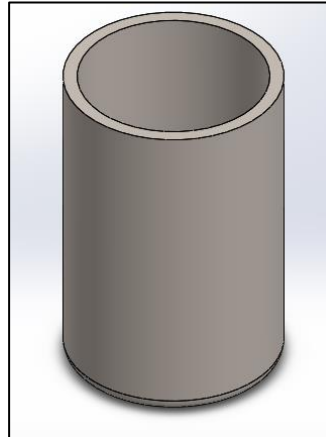


Figura 8 – Primeiro esboço do reator

Para que o volume interior útil (sem considerar o volume que o agitador e a serpentina de aquecimento ocupam) seja aproximadamente 20 dm^3 (20 L), a altura máxima do cilindro depende do raio que foi definido para o projeto. Para que a tampa do reator possa ter espaço para todos os componentes associados (agitador e sua vedação, válvulas de entrada, saída e de segurança e também medidores de pressão e temperatura) foi previsto um raio de 0,15 m.

A altura do cilindro de modo a que o volume desejado seja obtido é 0,312 m. Esta dimensão serve apenas como referência visto que o reator ainda pode sofrer muitas modificações, é provável e não um obstáculo que a altura efetiva no final do projeto não seja esta.

3.6 Vedação

Uma vez que a espessura mínima já tenha sido definida, e lembrando que a melhor forma para o reator é a de tanque, para um funcionamento em descontínuo, há que ponderar as opções de vedação para o reator. Das soluções mais comuns encontram-se a de flange com o-ring e a vedação do tipo “split-ring (Figura 9).



Figura 9 - Tipos mais correntes de vedação de reatores a) Vedação por flange; b) Vedação por *split-ring*; c) Vedação por *Zipper – clave*

Das três opções apresentadas as mais interessantes são a vedação por flange aliada com *o-ring* e a *Zipper-clave*. A vedação por *split-ring* é uma solução boa quando é necessário que haja uma rápida abertura do reator, mas acarreta maiores custos de construção. A vedação por flange é versátil, fácil de instalar e construir com uma manutenção muito simples, sendo a única desvantagem um alargado tempo de abertura e fecho.

Para este tipo de vedação foi consultado o guia “Seal Design Guide” da Apple Rubber Products [15]. Para uma pressão interior a configuração recomendada é a representada representada nas Figuras 10 e 11:

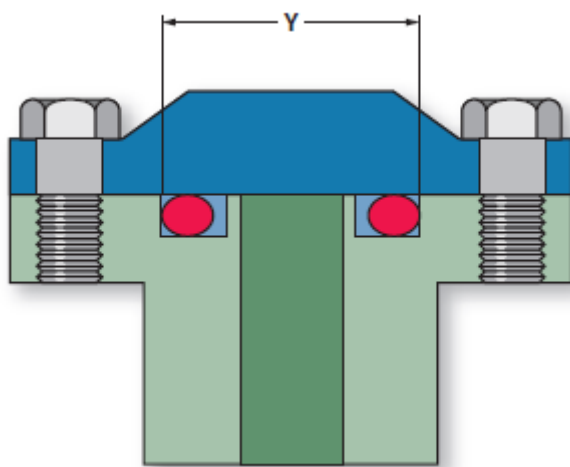


Figura 10 - Configuração do "O-ring"

O O-ring deve ser colocado em contacto com o diâmetro exterior do alojamento, para pressões interiores elevadas, como é o caso do reator. As dimensões do alojamento do O-ring (Tabela 9) já estão definidas pelo modelo standard de uma vedação axial estática.

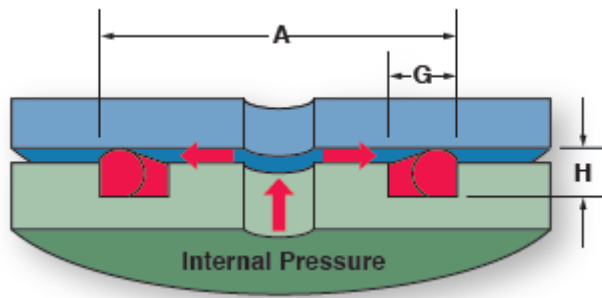


Figura 11 – Dimensões características da Glande

Na Tabela 9 estão as dimensões do “O-ring” e do seu alojamento. Onde D.I. é o diâmetro interno do O-ring, D.E. é o diâmetro externo e S. é o diâmetro da Secção, A representa o diâmetro exterior do alojamento, G o comprimento deste e H a profundidade.

Tabela 9 – Dimensões características do O ring e do seu alojamento

O-ring D.I. (mm)	S. (mm)	O-ring D.E. (mm)	A (mm)	G (mm)	H (mm)
329,57±1,65	5,33±0,13	340,23	340,11	7,62	4,30

A partir do esboço do reator foi adicionada a zona de vedação com as dimensões indicadas na tabela 10 (Figura 12).

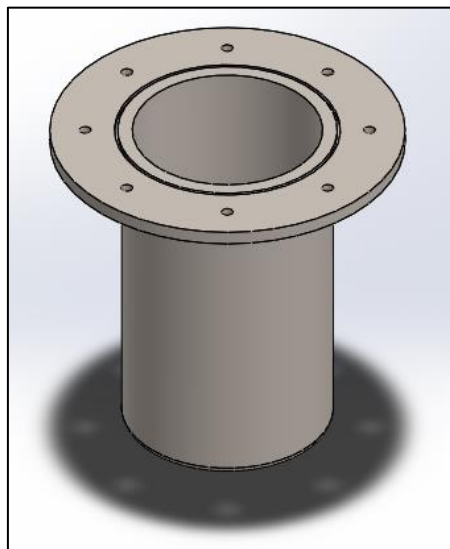


Figura 12 – Peça do reator com alojamento para o o-ring

Para fechar o reator é necessário a colocação de uma tampa com o mesmo diâmetro exterior da flange, o furo central da flange prevê a colocação do agitador que terá o mesmo diâmetro do furo (Figura 13).

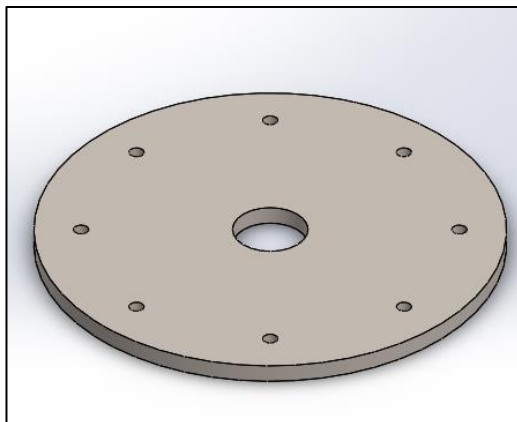


Figura 13 – Tampa do reator

3.6.1 Material do O-ring

Pelas condições de funcionamento, o único material que aguenta uma temperatura de 275 °C é o perfluoro-elastômero (FFKM). Pode ser usado numa gama de temperaturas entre -13 e 315 °C. Este material possui a cor negra (Figura 14).



Figura 14 – Exemplo de um “O-ring”

3.6.2 Escolha dos Parafusos

Para finalizar a vedação é necessário a escolha dos parafusos. Os parafusos vão ter de ligar duas peças com espessura de 15 mm cada uma e também terão de possuir alojamento para a porca. Para uma melhor uniformização da força de compressão aplicada pelo parafuso, foram escolhidos parafusos e porcas com flange. Uma pequena circunstância deve ser evitada, que é o material da porca e do parafuso, não devem ser ambos de aço inoxidável, pois depois de fixas as duas peças não podem mais ser desapertadas uma na outra. Este fenômeno é conhecido como *Thread Galling*. Tratando-se dos parafusos como peças substituíveis, a escolha destes não é muito restritiva, há que, no entanto, salvaguardar os aspetos mais relevantes. São estes:

- Comprimento do parafuso igual ou superior a 50 mm
- A rosca do parafuso não deve ir até ao interior das peças

- A porca e o parafuso não podem ambos de ser de aço inoxidável
- O diâmetro nominal do parafuso deve ser de 16 mm
- Deve possuir flange ou utilização da anilha no conjunto

O conjunto parafuso mais porca que melhor se aplicam a esta tarefa são:

- Parafuso DIN 6921 – M16 – 10,9 aço inoxidável
- Porca H com flange EN ISO 4761 – M16 liga de aço

Os dois elementos não podem ser ambos de aço inoxidável para evitar o fenómeno *Thread Galling*. Porém o aço inoxidável é aquele que é mais duradouro devido à sua resistência à corrosão. Mas essa durabilidade vem ao custo de maior gasto económico. Nesta situação haverá uma substituição mais frequente de porcas que são mais baratas de substituir que os parafusos. Ao longo do tempo o custo de substituição das peças é menor se forem utilizados parafuso de aço inoxidável e porcas de aço normal.

Uma alternativa à solução anterior, dado que os parafusos com porca e flange (Figura 15) são mais difíceis de encontrar aos tamanhos desejados o conjunto pode ser substituído por um parafuso sextavado, uma porca sextavada e duas anilhas. Esse conjunto pode ter a seguinte composição:

- Parafuso de cabeça hexagonal ISO 8765 – M16×1×60
- Porca hexagonal ISO 4032 – M16 – 8
- 2 Anilhas M16

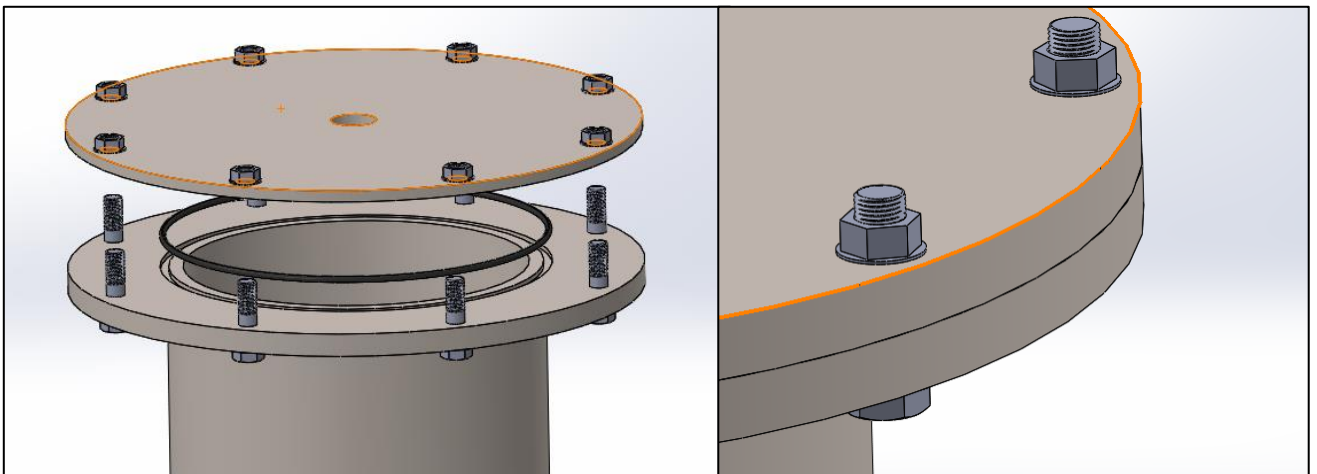


Figura 15 – Vedação por flange do reator

3.7 Fluxo da pré mistura e do bioóleo

Para reduzir a frequência em que as ligações aparafusadas são desapertadas e apertadas, para com isso reduzir também o desgaste destas ligações foi pensada uma solução através de válvulas de fecho, que permitissem a entrada da mistura sem abrir o reator completamente. Deixando assim a abertura do reator apenas para a questão da limpeza e manutenção.

Para que haja a possibilidade de isto acontecer é necessário certificar que a entrada da mistura e saída do bioóleo asseguram o funcionamento do reator estando devidamente vedadas e aguentando as temperaturas e pressões do interior do reator.

A entrada da mistura água/café no reator será efetuada pela tampa através de uma válvula *on-off* (Figura 16). Esta válvula só estará aberta durante a admissão da mistura no reator, antes do início do processo.

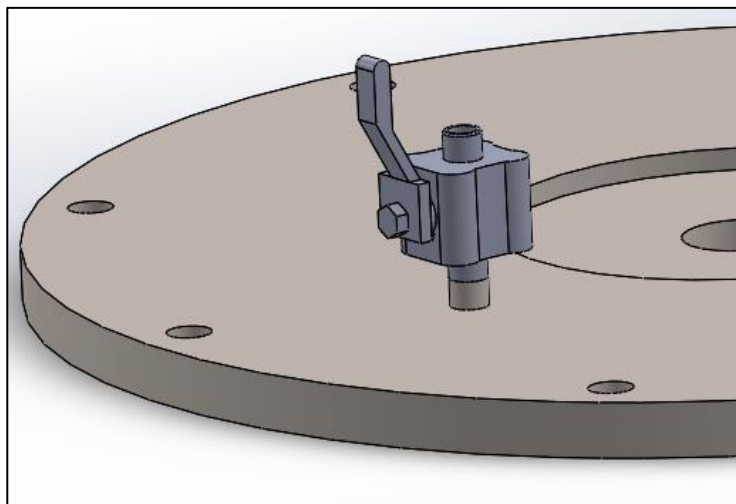


Figura 16 – Válvula *on-off* para a injeção da pré-mistura no reator

A saída do bioóleo será efetuada por uma válvula *on-off* na parte inferior do reator, no entanto, os sólidos resultantes da liquefação não poderão sair por esta válvula pelo risco de entupimento. A válvula de saída do bioóleo encontra-se acima do nível dos sólidos.

Os sólidos precisam de uma alternativa para a sua extração. A extração através de uma válvula de fecho não é seguro porque o risco de entupimento está sempre presente. Abrir sempre a flange superior para retirar os sólidos não é prático supondo que são efetuadas 4 liquefações diárias. É necessário criar uma alternativa para a extração dos sólidos.

A solução que menos desvantagens e mais vantagens traz é a colocação de uma garra que prensa a base do reator ao resto deste (Tabela 10).

Tabela 10 – Vantagens e Desvantagens da solução da garra

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Fácil extração dos sólidos • Peças do reator mais leves 	<ul style="list-style-type: none"> • Estrutura do reator mais complexa

A válvula de saída do bioóleo deve ser colocada acima do nível dos sólidos sedimentados na base do reator (Figura 17). Na figura seguinte já é mostrado a base do reator com a válvula *on-off* selecionada. A válvula escolhida é uma válvula da *Swagelok* com o código de encomenda SS-65TW12P10. É uma válvula de aço inoxidável que aguenta a pressão e a temperatura de projeto, a sua ligação à base do reator é feita através de soldadura em meio v (Figura 15). A série 65 aguenta uma pressão de 85,4 bar à temperatura de 300 °C.

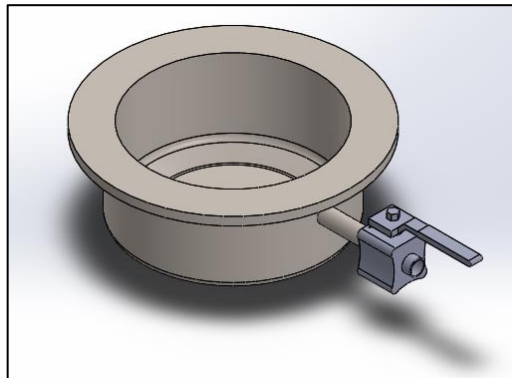


Figura 17 – Montagem da válvula à base do reator.

Também foi preciso fazer alterações a peça que contém a flange para que ambas possam ser vedadas pela garra *split-ring* (Figura **Erro! Fonte de referência não encontrada.** 18). Esta alteração passa pela criação de uma extremidade plana para haver uma superfície de contacto com a garra, uma superfície plana à superfície da base e alojamento para o *o-ring*.

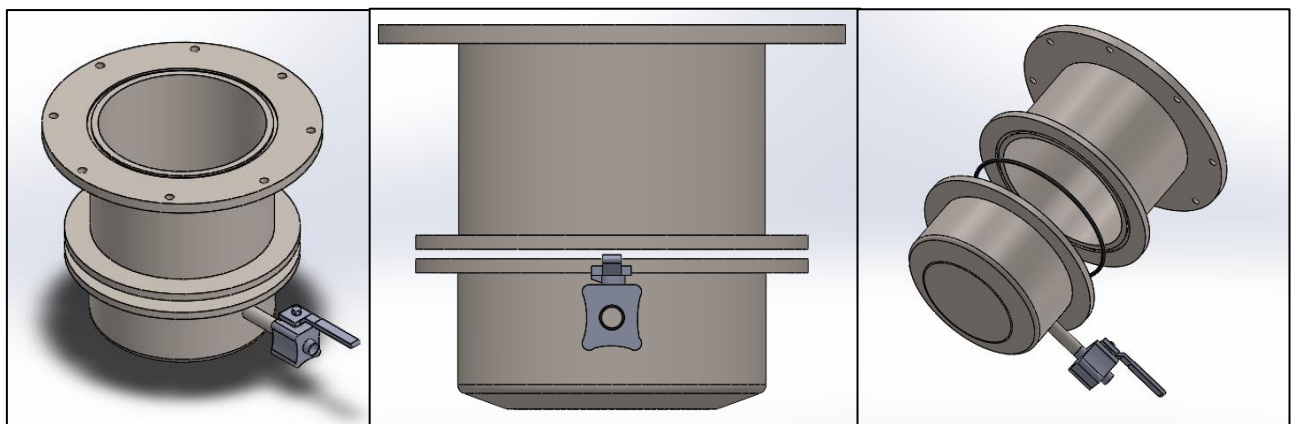


Figura 18 -Configuração da união do reator.

A solução *split-ring* possui vários aspectos a controlar de modo a que a vedação ocorra da melhor maneira. Primeiro a forma da garra (Figura 19) deve cobrir as duas peças quando unidas mas é desejável que deixe uma folga para que a sua colocação seja ágil.

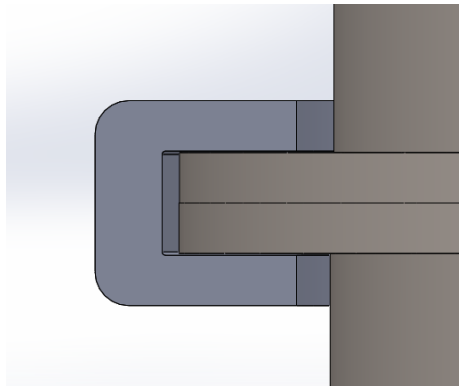


Figura 19 - Colocação da garra nas duas peças do reator

Não é esta garra que vai exercer a força de compressão nas duas peças de modo a vedá-las, mas sim um conjunto de parafusos aliados a esta garra que vão trabalhar à compressão e vão apertar as duas peças aliados a um *o-ring* (Figura 20). Este *o-ring* pode ter a mesma configuração do *o-ring* da flange superior, com as mesmas dimensões do alojamento e do *o-ring*.

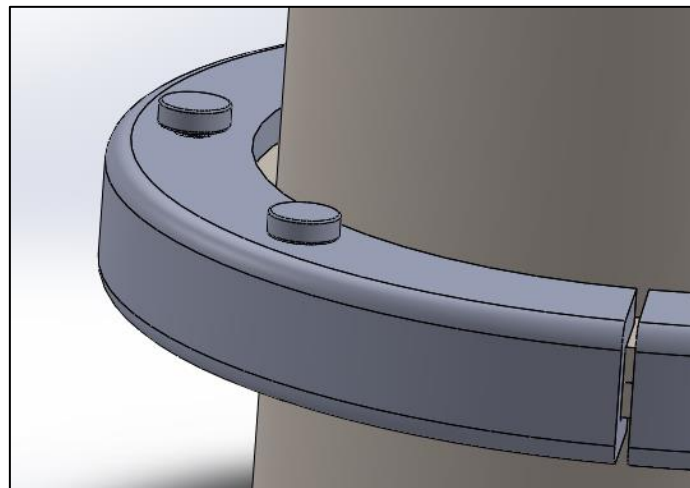


Figura 20 - Representação dos pinos de compressão em atuação

A garra foi pensada de forma a trazer uma maior facilidade de manuseamento em relação às outras existentes no mercado, sendo que de um lado possui uma dobradiça que pode ser separada em três peças. Nas figuras 21 e 22 estão representadas o conjunto da garra e a colocação desta no reator.

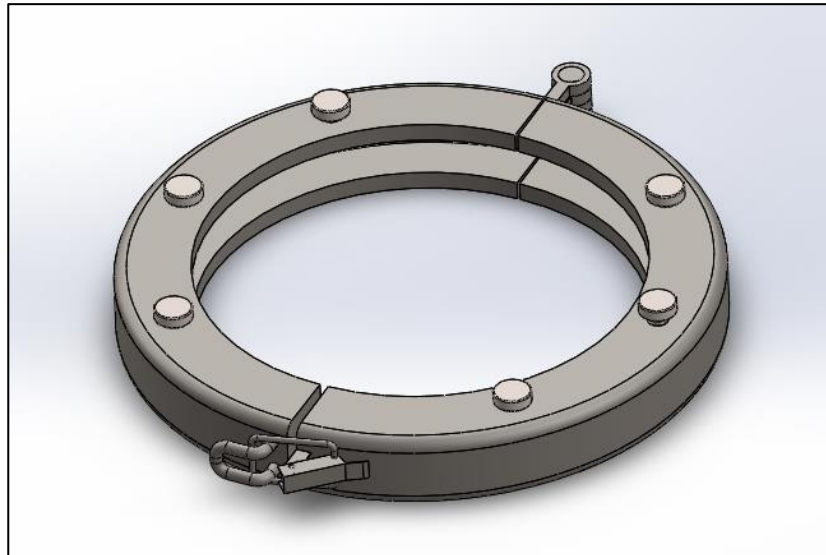


Figura 21 – Split-ring do reator

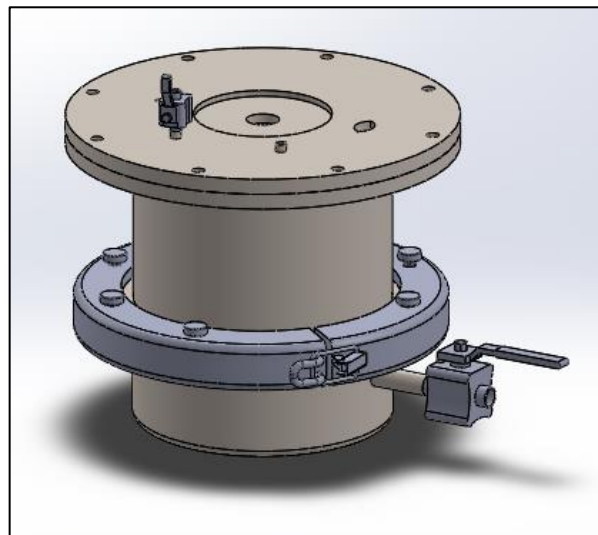


Figura 22 – Representação atual do reator

3.8 Aquecimento e Arrefecimento

Para que o processo se dê à temperatura necessária à liquefação da mistura é necessário que haja um sistema de aquecimento, e no final do processo é conveniente que haja um sistema de arrefecimento para agilizar o processo de recolha do bioóleo, à partida existem duas opções mais comuns (Tabela 11).

Tabela 11 – Opções de Aquecimento



Figura 23 – Aquecimento exterior

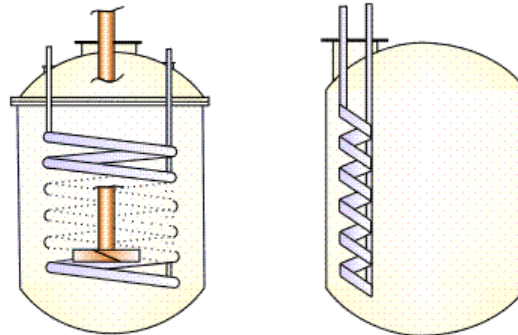


Figura 24 – Aquecimento Interior

O aquecimento exterior possui as vantagens de se fácil de construir e de não ocupar espaço no interior do reator, no entanto, do ponto de vista sustentável é menos eficaz na utilização da energia dado que a mistura, alvo a aquecer, só será aquecida depois do reator. O aquecimento interior, mais difícil de instalar é mais eficaz na utilização da energia. É preciso também ter em atenção que a serpentina interior precisa resistir à pressão do reator. Para escolher entre as duas opções a espessura da serpentina é relevante no sentido em que uma espessura maior obriga a um maior espaço ocupado e implica também uma maior resistência à transferência de calor.

Usando as mesmas equações para as tensões radiais e circunferencial que foram usadas para a definição da espessura do reator (equações 1 e 2) foi feito um estudo da variação das tensões com a variação da espessura. Não foi considerada a tensão longitudinal visto se tratar de um tubo longo e não de um reservatório. Tal como anteriormente foi necessário definir um dos diâmetros primeiro, neste caso o primeiro diâmetro definido foi o exterior com uma dimensão de 12,7 mm, aproximadamente meia polegada. Este valor foi tido em conta as serpentinas mais encontradas no mercado que utilização a polegada como unidade standard. A metodologia de cálculo foi semelhante à do reator, utilizando um coeficiente de segurança de 1,5.

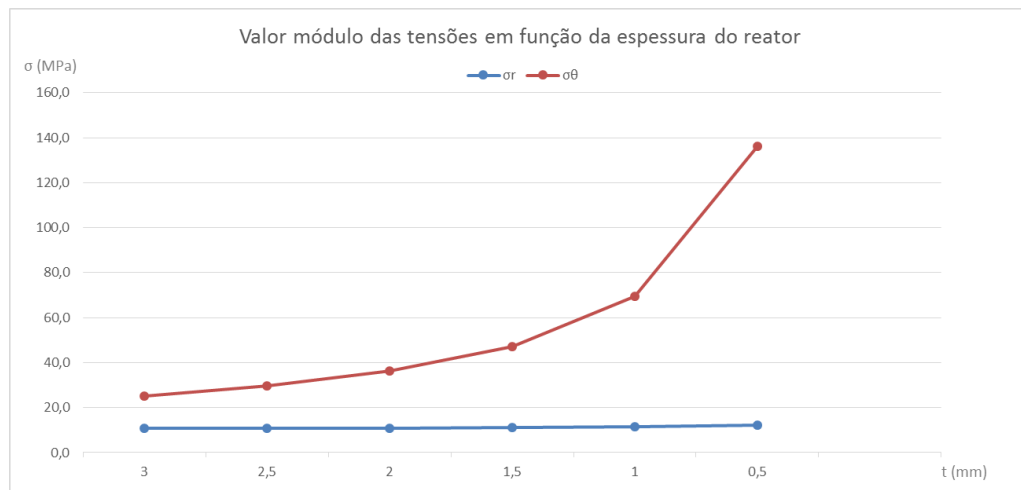


Figura 25 – Variação das tensões na serpentina com a espessura desta

Segundo o gráfico da figura 25 é possível perceber que diâmetros mais reduzidos permitem espessuras menores para a mesma pressão. A espessura mais comum nas serpentinas comerciais é 1,2 mm. A tensão correspondente para essa espessura é menor que 80 MPa, sendo possível de ser fabricada por qualquer material desde que seja resistente às condições corrosivas e às temperaturas que se instalarão.

O volume que a serpentina ocupa com estas dimensões é dada pela equação seguinte:

$$V = \pi r^2 L \quad [4]$$

Onde r é o raio exterior da secção em metros e L o comprimento da serpentina também em metros, comprimento este que é dado pela equação 5.

$$L = \frac{N^2 \times R^2}{9R + 10H} + L_{reto} \quad [5]$$

Onde N é o número de espiras, R é o raio das espiras e H a altura da serpentina em metros e L_{reto} é o comprimento do tubo que liga as extremidades da serpentina às válvulas do reator também em metros.

As espiras costuma ser entre 8 a 10, para este reator foram selecionadas 8 espiras, com um raio de 110 mm e uma altura de 160 mm. Deste modo a serpentina encontra-se submersa na pré-mistura concentrando-se em aquecer principalmente esta e não os gases dentro do reator. Esta configuração não é restritiva, mas uma linha de guia para a construção do reator. O mais importante na espira em si, é uma área de contacto com o fluído elevada e que a sua colocação não entre em conflito com o agitador.

3.8.1 Proposta de Aquecimento

A proposta de configuração é uma serpentina de aço inoxidável AISI 304 (mais comum no mercado para estes componentes). Esta serpentina será ligada ao banho de aquecimento (Figura 26 e 27).

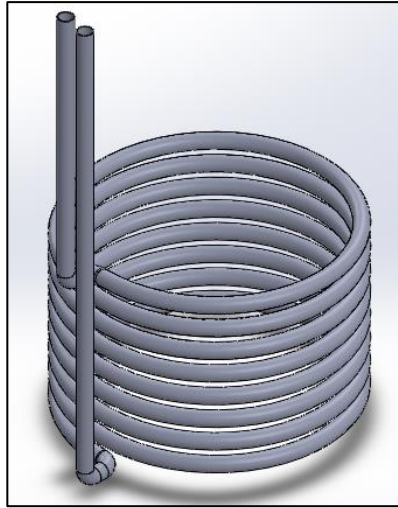


Figura 26 – Espiral de aquecimento

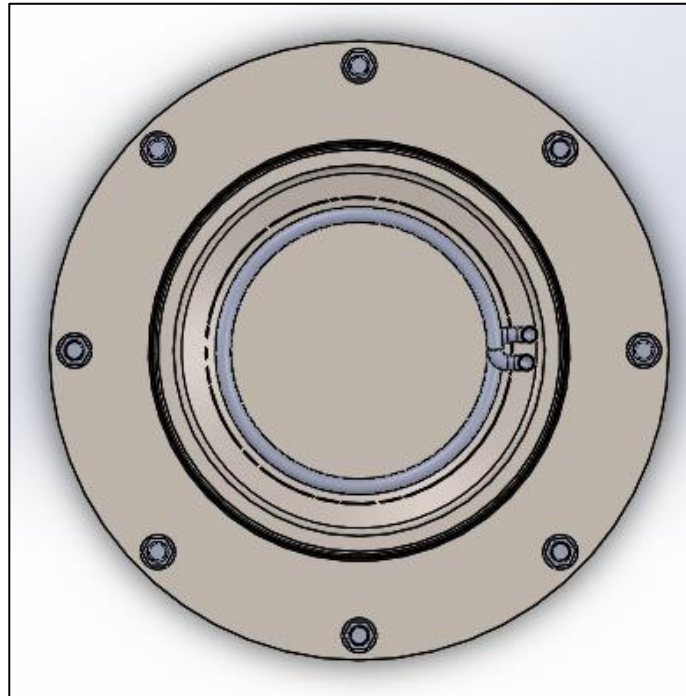


Figura 27 – Colocação da espiral de aquecimento no reator

3.8.2 Controlo da temperatura

O controlo de temperatura pode ser feito por um banho térmico. O banho térmico é uma máquina auxiliar que mantém um fluido térmico a uma temperatura desejada. Esse fluido térmico é bombeado para a serpentina interior do reator aquecendo o conteúdo no interior do reator.

A escolha do banho térmico tem de passar por um banho que opere a uma temperatura de pelo menos 275 °C. O banho térmico selecionado terá em si um termopar, um controlador e um mostrador da temperatura medida. Convencionalmente estes sistemas de banhos medem a temperatura do próprio banho, mas do ponto de vista do projeto é mais relevante a temperatura do interior do reator. A solução proposta passa pela aquisição de um banho térmico da marca LAUDA modelo P 5 C. Este banho térmico

possui a capacidade de aquecer até aos 275 °C em aproximadamente 14 minutos (Figura 28).



Figura 28 – banho termostático da Luada

3.8.3 Isolamento térmico

Já foi demonstrado que o aquecimento é um grande esforço energético para o processo, esta parcela é crítica no sentido que se não estiver otimizada pode comprometer a viabilidade desta liquefação. Para evitar que o calor seja transferido em quantidade excessiva para o exterior do reator a colocação de um isolamento nas paredes exteriores do reator é essencial. A equação da transferência de calor é dada pela equação 6:

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (6)$$

Onde:

Q representa a energia térmica perdida pelo reator em W

U representa o coeficiente global de transferência de calor em W/(m².K)

A representa a área de fluxo de calor em m²

ΔT representa a diferença de temperatura em K

Na equação anterior o isolamento só possui influencia no coeficiente global de transferência térmica que engloba as resistências de convecção interior e exterior e a resistência de convecção.

$$U = \frac{1}{(R_{conv\ ext} + R_{condução} + R_{conv\ int})} \quad (7)$$

Onde:

R_{conv ext} representa a resistência de convecção exterior

R_{conv int} representa a resistência de convecção interior

$R_{\text{condução}}$ representa a resistência de condução

O isolamento é uma resistência de condução e a sua contribuição é dada pela equação:

$$R_{\text{condução}} = e/k \quad (8)$$

Onde:

e representa a espessura do isolamento em m

k representa a condutividade térmica em W/(m.K)

O resultado da equação da transferência de calor (8) só pode ser controlado a partir da espessura de isolamento (e) visto que a condutibilidade térmica do material não é alterável, e as resistências de convecção dependem das condições atmosférica dentro e fora do cilindro. No gráfico da figura 29 está representada a curva de calor em função da espessura de isolamento.

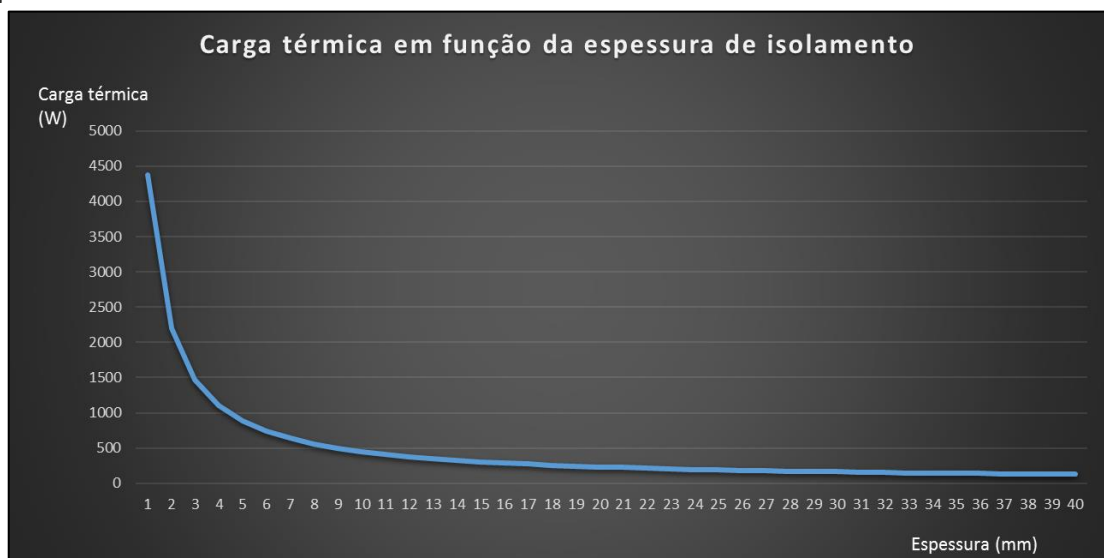


Figura 29 - Variação das perdas térmicas com a espessura de isolamento

O material escolhido foi o poliuretano com uma condutividade térmica de 0,036 W/(m.K). Pelo gráfico é possível que o isolamento térmico tem uma influência bastante acentuada nos primeiros 15 milímetros, a partir daí a espessura de isolamento não compensa o preço do isolamento nem o espaço que este ocupará.

Mas entre 15 a 20 milímetros a energia que se perde desce de 306 W para 233 W, embora em termos de otimização do isolamento pode não ser ideal, mas a energia que é protegida torna-se relevante tendo em conta o funcionamento de 10 minutos. O isolamento escolhido é então o poliuretano com uma espessura de 20 mm rodeando a peça central e a peça base do reator. Deve ser colocado de modo a cobrir o reator.

Perdendo 233 W durante 10 min equivale a uma perda térmica de 139,8 kJ. Este valor é considerado razoável para o processo quando comparado com a energia de aquecimento.

3.8.4 Proposta de arrefecimento

A referência que é mencionada depois do processo é um arrefecimento em água e gelo e não houve nenhum estudo do impacto que a velocidade de arrefecimento tem na qualidade do bioóleo.

Para este reator o que será proposto será uma espiral exterior ao reator onde circulará água fria até se atingir dentro do reator uma temperatura segura. A ideia principal é aproveitar a energia térmica do reator e utilizá-la noutro processo. Pode ser estudado o efeito que a utilização desta água quente num pré-aquecimento da pré-mistura. Esta possibilidade reduziria em muito a energia despendida no processo de aquecimento.

Do ponto de vista da construção do reator e desta serpentina, não é envolvida grande complexidade visto que esta serpentina não estará a uma pressão muito superior à atmosférica, sendo que o seu material não precisa de ser resistente, pode até ser uma mangueira maleável ao ponto de facilitar a sua instalação no reator, desde que suporte temperaturas até 275 °C.

3.8.5 Gasto energético do controlo de temperatura

O gasto térmico engloba a energia necessária para aquecer o interior do reator até os 275 °C, e a energia necessária para vencer as perdas térmicas e manter essa temperatura durante os 10 minutos de tempo de retenção. O valor total foi incrementado em 30 % para contabilizar as perdas térmicas pelas pontes térmicas e pelos elementos impossíveis de isolar, também para considerar as perdas térmicas durante o aquecimento que são menores, mas não irrelevantes (Tabela 12).

Tabela 12 – Gasto energético para o aquecimento

Processo	Energia [MJ]
Aquecimento (20 °C – 275 °C)	11,93
Aquecimento devido às perdas térmicas (275 °C)	0,14
Total	12,07
Total com 30% de segurança	15,69

É previsto um gasto total no aquecimento de 15,69 MJ de energia.

3.9 Agitação

A agitação necessária será realizada por um agitador à frequência recomendada pelo artigo de Linxi Yang, de 4.5 Hz [10]. Para o sistema de agitação deste reator o maior inconveniente é sem dúvida a pressão. A pressão máxima de 7.0 MPa obriga a um sistema de vedação bastante complexo e custoso, a nível económico, material, espaço e peso.

O sistema de agitação é constituído por três componentes chave. São estes o impulsor, responsável por transmitir ao fluido o movimento, o sistema de vedação e o motor responsável por transmitir a rotação ao veio do impulsor.

À pressão que se pode instalar o veio precisa de ter pelo menos 40 mm de diâmetro para assegurar o bom funcionamento do agitador.

3.9.1 Impulsor

O impulsor é o componente que manterá o fluido em escoamento. Entre os impulsores de fluxo radial e os impulsores de fluxo axial o que melhor mistura as possíveis partículas em suspensão é o escoamento axial. O escoamento axial previne tanto o assentamento dos sólidos no fundo do reator como os sólidos que poderão fixar à superfície. Na tabela 13 estão representados os dois tipos de impulsores mais comuns. Outros impulsores mais complexos não foram procurados devido à necessidade de um estudo do escoamento do fluido dentro do reator que suporta-se a ideia de colocar um impulsor desse tipo que seria mais caro.

Tabela 13 – Tipos de impulsores

Escoamento radial



Figura 30 – Impulsor de pás radiais

Escoamento axial



Figura 31 – Impulsor de pás axiais

Para líquidos mais viscosos, convém que o diâmetro do impulsor seja maior para obrigar o fluido mais próximo do reator a escoar também. Neste reator onde a resistência está também colocada no interior é necessário ter em atenção para que o impulsor não choque com este componente. Respeitando o diâmetro do veio mínimo de 40 mm. A configuração do impulsor é a seguinte.

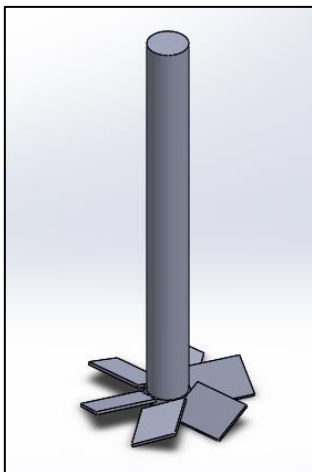


Figura 33 – Impulsor do reator

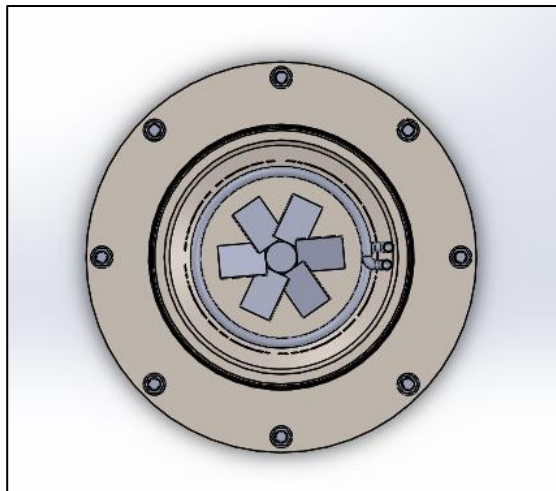


Figura 32 – Colocação do impulsor no reator

3.9.2 Motor

Para induzir o movimento rotatório do impulsor é necessário que este esteja associado a um motor. A potência do motor necessária para manter o veio em rotação depende de vários fatores, sendo os mais relevantes a quantidade de fluido a movimentar, geralmente traduzida em m^3 e a resistência que o fluido exerce ao movimento, geralmente traduzido na viscosidade e na quantidade e tamanho de sólidos em suspensão.

Uma empresa [16] que vende agitadores possui gráficos (Figura 34) para a escolha da potência do motor. Dada a pequena concentração de partículas sólidas e a sua pequena dimensão é considerado um nível de agitação médio. Mesmo considerando uma viscosidade alta do líquido o volume do reator é muito pequeno para ser necessário um motor com elevada potência.

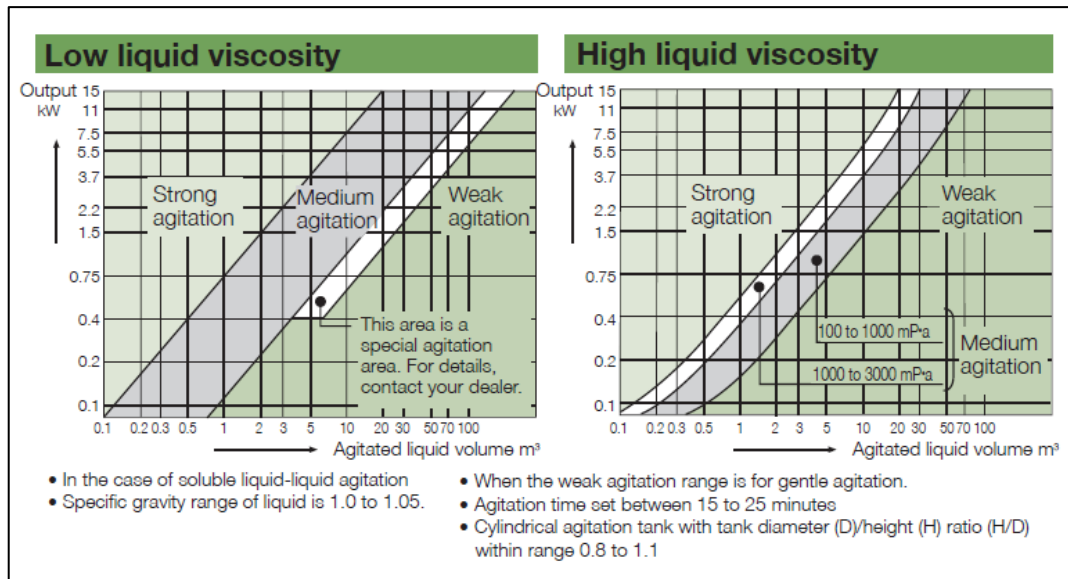


Figura 34 - Relação do volume do reator e da força de agitação do motor

É possível ver que o volume do reator (aproximadamente 0,13 m³) não assume sequer uma potência de 0,1 kW. Para suportar esta informação foi usado um cálculo automático no site [17], que para os dados inseridos recomenda uma potência de 0,05 kW mesmo com uma eficiência do motor estimada de 80%.

Estes valores não têm em conta a pressão a que o sistema vai operar nem ao elemento de vedação do agitador que também vai exercer uma resistência, mesmo que reduzida, ao motor.

Um motor com 1 kW (Figura 35) é o mais comum para potências reduzidas e é mais que suficiente. Assumindo que ele trabalhe à potência máxima durante os 30 min a energia consumida é 1,8 MJ.



Figura 35 – Motor elétrico exemplo

3.9.3 Vedação do agitador

A vedação do agitador é o fator mais complexo de resolver devido à sua pressão. Os vedantes típicos possuem tolerâncias até à pressão atmosférica, e mesmo os de selo mecânico duplo só aguentam pressões até 2,0 MPa. Para este caso é preciso um equipamento especializado para reatores de pressão elevada.

A “EKATO group” possui selos de vedação para agitadores para elevadas gamas de pressão, o selo mais indicado para este reator é o ESD64H (Figura 36), capaz de operar até uma pressão de 100 bar (10,0 Mpa). Este selo possui um diâmetro para o veio com 40 mm.



Figura 36 – Selo mecânico da EKATO group ESD64H

Uma particularidade deste selo é que a sua construção é feita de modo a que este vedante seja a tampa do reator (Figura 37), este pormenor põe em causa o funcionamento dos outros sistemas do reator. A melhor solução para controlar este obstáculo é soldar o selo à tampa que já foi dimensionada. Realizando um furo na tampa com as dimensões da base do selo é possível ligar estas duas peças pelo meio de uma soldadura.

É conveniente que o orifício central da tampa seja um pouco superior a 40 mm para que este não crie atrito com o veio do impulsor. Foi escolhido um diâmetro de 42 mm para que não haja nenhum obstáculo ao funcionamento deste conjunto.

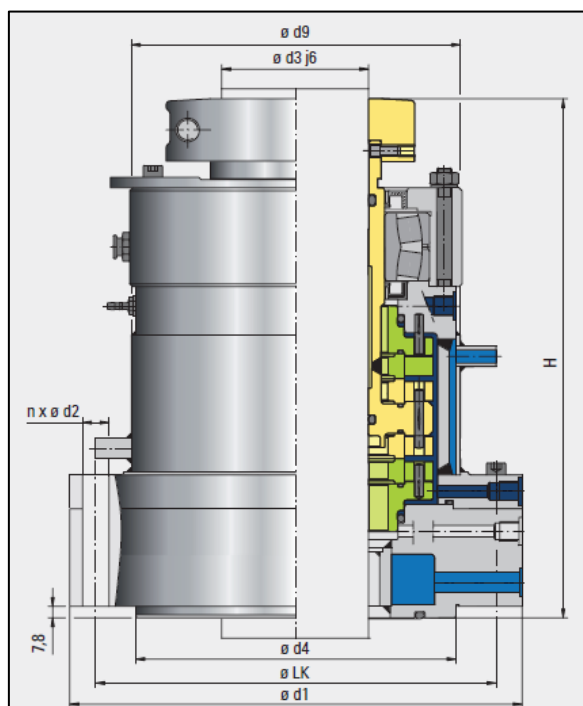


Figura 37 – Desenho técnico do ESD64H

O facto de o diâmetro de 42 mm ser o requerido no desenho técnico da tampa do reator elimina a preocupação do fabricante da peça em usar uma tolerância mais apertada nessa peça que iria aumentar desnecessariamente o custo de construção.

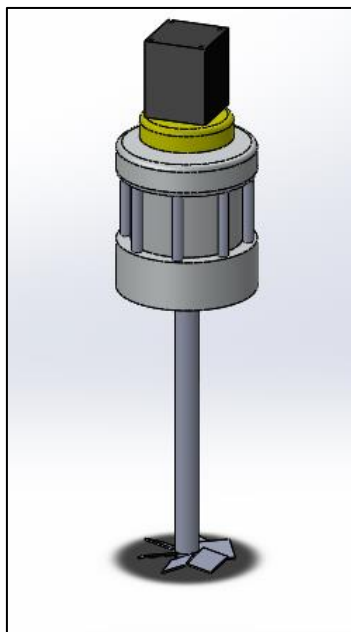


Figura 38 – Sistema de agitação

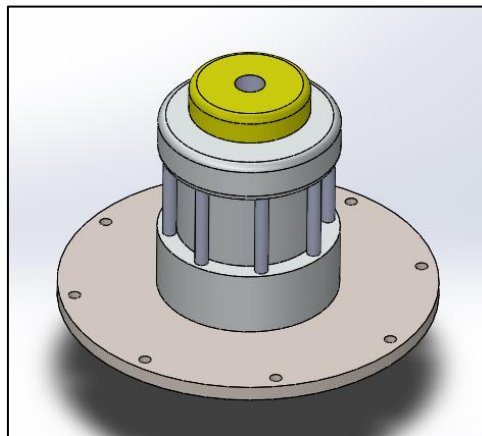


Figura 39 – Junção entre a tampa do reator e o selo

Na figura 38 está representado o sistema de agitação do reator e na figura 39 é mostrada a ligação deste sistema à tampa através do selo.

3.10 Pressurização e condicionamento atmosférico

Durante o funcionamento do reator é necessário que haja uma atmosfera de N₂ (para não haver reação entre esta e a mistura) e uma pressão inicial de pelo menos 0.5Mpa (5 atm). O reator possuirá inicialmente ar atmosférico no seu interior.

Para que o condicionamento da atmosfera seja efetuado da forma mais simples é conveniente que esta seja a última etapa antes do início do processo. Ou seja, este condicionamento é feito já quando a pré-mistura se encontra dentro do reator. Deixando apenas duas válvulas *on-off* abertas a mangueira de fornecimento é ligada a uma das válvulas, e escoar-se o gás inerte para dentro do reator indo reduzindo a quantidade de ar atmosférico dentro deste. Quando a atmosfera interior for composto por principalmente o gás inerte fecha-se a segunda válvula e injeta-se o gás até à pressão inicial de 0,5 MPa.

3.11 Controlo

Ao funcionamento do reator, é necessário o controlo da temperatura para que haja a certificação de que o seu interior atingiu os 275 °C e que estes se mantiveram durante os 10 minutos. Também é necessário controlar a pressão, embora haja uma válvula de

segurança instalada para 70 bar, saber que a pressão do interior não estar a subir pode indicar uma fuga no reator e deve ser parado o funcionamento. Para tal foram indicados dois medidores, um para cada unidade de medida.

3.11.1 Controlo de Temperatura

O controlo da temperatura é necessário para que não haja consequências indesejáveis vindas de uma temperatura inferior à necessária resultando num produto defeituoso, nem vindas de temperaturas demasiado altas resultando em danos no reator e nas suas peças adjacentes.

Das diversas maneiras possíveis para medir a temperatura do reator a que mais se indica é a utilização de um termopar. Na indústria em geral estes medidores de temperatura possuem o problema da baixa precisão, é difícil conseguir um erro menor que um grau celsius. No entanto, no reator em questão esta precisão não é crucial para o funcionamento do reator, visto que o impacto da temperatura observa-se com diferenças maiores de temperatura. Este termopar possui um fio cuja ponta será soldada à tampa do reator e medirá a temperatura dentro desse reator através da corrente provocada pela diferença de temperatura em relação à outra extremidade.

O dispositivo que irá converter essa informação elétrica num valor possível de ler será o banho térmico escolhido. O banho térmico possui em si um termopar que fará a leitura, no entanto, caso esse termopar não seja capaz de operar nas condições do reator é preciso encontrar um termopar que o consiga.

O melhor termopar a se considerar será um do tipo K, robusto, económico e com uma gama de temperaturas abrangente. Este termopar é mais do que o suficiente para as necessidades do reator. Para o alojamento deste termopar no reator é necessário criar também um orifício do termopar.

O furo no reator para o alojamento deste termopar não será desenhado, pois a dimensão deste irá depender única e exclusivamente do termopar disponível. Escolher um furo normalizado agora iria comprometer a escolha do melhor termopar.

3.11.2 Controlo de pressão

Tal como a temperatura o controlo de pressão dentro do reator também deve ser controlado. Uma vez que a pressão não é diretamente controlada pelo utilizador durante o processo, é apenas controlada no início quando se cria a atmosfera inerte à mistura, o controlo da pressão existe para evitar que pressões superiores à pressão que o reator aguenta se instalem.

O controlo de pressão é normalmente efetuado por um transdutor de pressão, que de uma forma semelhante ao termopar, é instalado no reator através de uma soldadura ou por ligação roscada.

Neste caso, é difícil encontrar transdutores que operem a uma temperatura tão elevada. A *Kulite* (líder em transdutores de pressão) apresenta uma proposta de solução que

passa pelo transdutor de pressão “XTEH-10L-190 (M) SERIES” capaz de operar à temperatura e pressão de trabalho. A sua ligação ao reator será efetuada pela tampa deste. É uma ligação roscada M5 com passo de 0,8 mm (Figura 40). Para tal, é necessário fazer um furo roscado na tampa com as dimensões respetivas para alojar o transdutor.

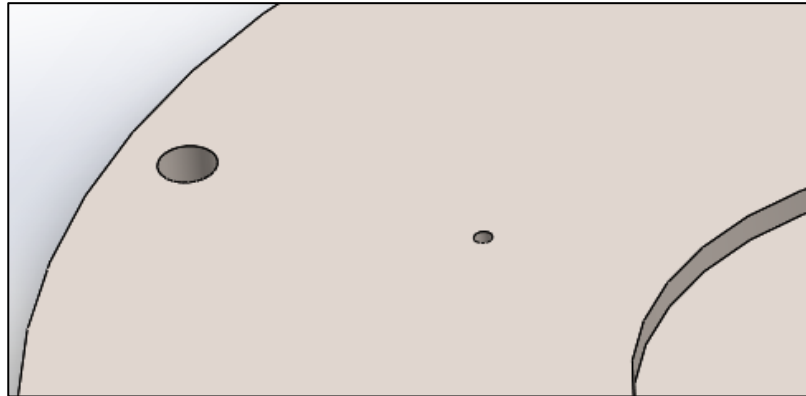


Figura 40 – Representação do furo para alojamento do transdutor de pressão



Figura 41 – Transdutor de pressão *Kulite*

O transdutor de pressão (Figura 41), tal como o termopar transmite a informação através de um sinal elétrico e é preciso um dispositivo que descodifique esse sinal e que o transmita numa informação numérica em unidades do sistema de medida utilizado pelo humano. Os aparelhos capazes aptos para esta tarefa são os sensores de pressão digital, como o mostrado na figura 42. Este aparelho será o aparelho consultado para a confirmação da pressão inicial e para o controlo visual durante o processo.



Figura 42 – Sensor de pressão digital

3.12 HAZOP

Do inglês *hazard and operability study*, este termo refere-se ao estudo de uma dada atividade ou processo com o intuito de detetar os potências riscos para os equipamentos e pessoas ao redor.

O reator em questão apresenta apenas dois riscos que poderão comprometer os equipamentos e humanos à sua volta, como também o próprio reator se o processo não for controlado. São estes a temperatura e a pressão no seu interior.

A temperatura dificilmente poderá danificar os envolventes depois do devido isolamento ter sido colocado. Com o banho térmico a fornecer uma temperatura máxima de 275 °C, não há risco da temperatura subir mais que isso, a não ser que as reações no interior do reator sejam exotérmicas. Nesse caso é preciso ativar a mangueira de arrefecimento para que a temperatura seja controlada.

Quanto à pressão, todo o equipamento está preparado para aguentar com 7.0 MPa, alguns componentes suportam mais, mas não é de todo admissível que a pressão ultrapasse este valor, para que isto não aconteça é fundamental colocar uma válvula de alívio de pressão.

Para a escolha da melhor solução foi consultado o catálogo da *Flow Safe*, foi selecionado um modelo de tamanho médio (o tamanho micro acarreta maiores custos que podem ser contornados com uma melhor configuração do reator). O modelo precisa de ser feito em aço para aguentar as altas pressões e ser inoxidável para aguentar a natureza corrosiva do processo. A melhor ligação é a roscada para não criar mais possíveis pontos de fuga nem para aumentar a complexidade do reator em demasia.

A colocação desta válvula acarreta um obstáculo devido à sua grande dimensão, a solução mais simples passa por criar uma extensão inclinada na tampa para que não haja conflito com o agitador (Figura 43).

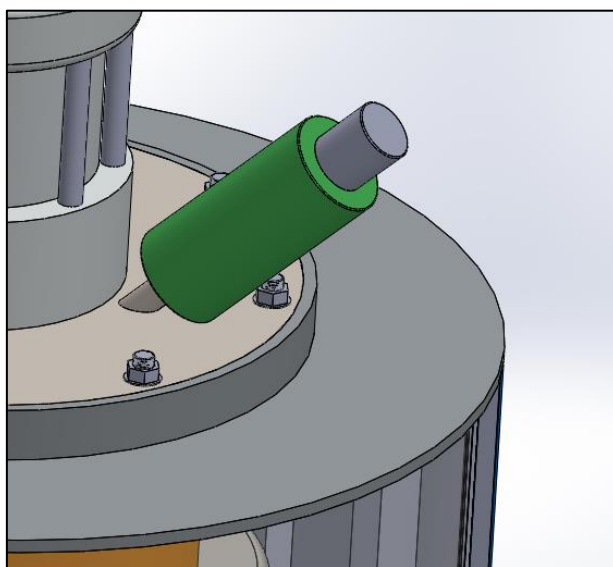


Figura 43 – Representação da instalação da válvula de alívio de pressão

3.13 Suporte

Dado que o reator não pode ficar pousado no chão dado a sua morfologia, convém criar um sistema que o suporte e que, se possível facilite a utilização do mesmo. Também é necessário que, visto que o reator contém uma mistura a altas pressões e a uma temperatura perigosa para o ser humano e possíveis objetos perto do reator, este suporte possa também proteger o meio exterior de possíveis falhas de contenção do reator. Primeiro é preciso estar atento à carga que o conjunto vai estar a suportar (Tabela 14).

Tabela 14 – Massas das peças do reator

Peça	Massa [kg]
Tampa	28,46
Peça central	53,19
Peça base	32,08
8×Parafusos M16	0,63
8×Porcas com falsa anilha	0,44
Válvulas	2
Sistema de agitação	60
<i>Split-ring</i>	25,52
Total	202,32

No máximo, o peso que estará associado ao reator serão 300 kg. Este valor foi elevado em quase 100 kg para que o sistema possua boa estabilidade e permita uma utilização despreocupada em relação aos utensílios que se colocarem neste suporte, que poderá servir de mesa para alguns materiais existentes no laboratório. A peça representada na figura 44 vai ser a responsável pelo suporte desse conjunto.

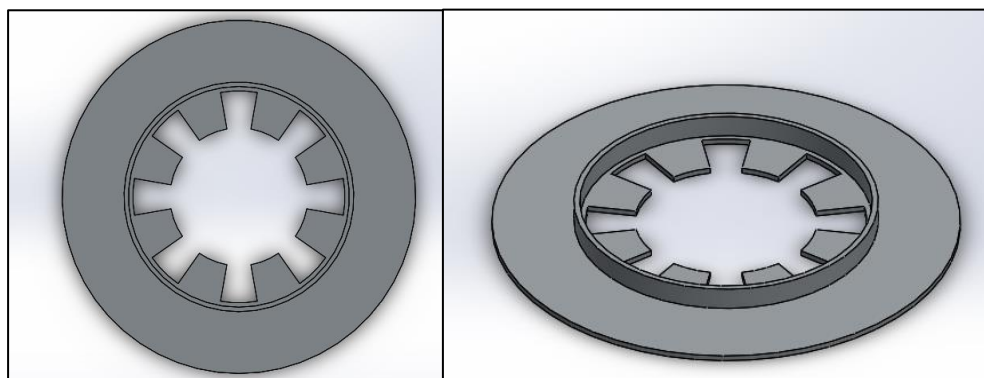


Figura 44 – Peça de Suporte

A peça foi pensada de forma a segurar o reator pelas suas saliências do seu centro, essas saliências estão espalhadas entre si de modo a que os parafusos possam ser colocados sem problemas. Supondo que a carga está uniformemente distribuída pelas oito saliências, é necessário calcular a tensão de corte que ocorrerá na secção da saliência (Tabela 15).

Tabela 15 – Tensão na peça de suporte

Peso [N]	Área da Secção [m ²]	Tensão [Pa]
$300 \times 9,81 = 2943$	$1,09 \times 10^{-4}$	27×10^6

A tensão de corte aplicada nesta peça é de 27 MPa, mesmo com o coeficiente de segurança de 1,5 a tensão atinge 40,5 MPa, um valor muito abaixo do encontrado nas massas de ligas metálicas existentes. Fica assim ao critério do construtor qual material usar nesta peça. A colocação do reator nesta peça é feito conforme a Figura 45.

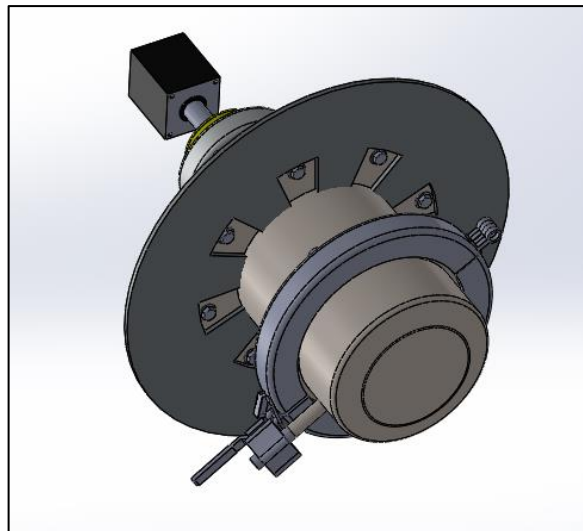


Figura 45 – Representação do reator assente no seu lugar

Isto não evita que seja dada a melhor sugestão aparente do ponto de vista do projeto. Esta peça não vai possuir desgaste mecânico ao longo da utilização do reator, também não estará sujeito a reagentes químicos durante longos períodos de tempo. O pior caso é, dado que o reator esteja num laboratório, o derrame de algum químico que possa corroer um pouco esta peça, mas é esperado que este reator seja limpo rapidamente. Tendo em conta estes aspetos o melhor é a solução mais económica é a utilização de um ferro fundido com uma pintura para o proteger da atmosfera.

O conjunto representado na figura precisa também de ser suportado por um conjunto que o mantenha elevado do chão. O suporte será feito por seis barras de aço ao carbono. Estas barras farão parte de uma estrutura de apoio constituída pelos seus respetivos rodapés e base. A união das barras de suporte aos apoios poderá ser feita através de um aperto, e a peça da base contém os furos já prontos para o posicionamento das barras. As barras sugeridas possuem as dimensões da tabela 16:

Tabela 16 – Dimensões das barras

Largura da secção [mm]	Comprimento da Secção [mm]	Comprimento da barra [mm]
30	60	1000

A tensão instalada nestas barras é de 0,3 MPa. Esta tensão é extramente reduzida o que não implica nenhum perigo das barras não suportarem o peso. Como no caso da última peça, não estão em jogo outros esforços físicos ou químicos nas barras ao ponto de restringir a escolha do material, por isso, como sugestão é mencionado outra vez o ferro fundido com pintura.

Estas barras serão ligadas à peça do topo, preferencialmente por soldadura para que não haja vibração durante o manuseamento do reator. O posicionamento das barras pode ser feito a partir da peça base cujas cavidades servem de posicionamento para as barras. E o apoio das barras ao chão pode ser feito através de rodapés com a cavidade com a forma das barras para que a ligação se dê por aperto.

Tabela 17 – Sequência de montagem

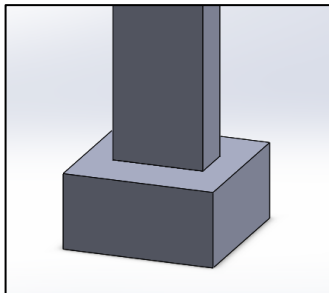


Figura 46 – Aperto do rodapé à barra

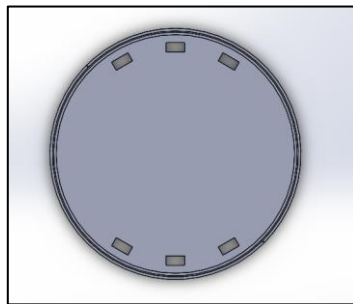


Figura 47 - Base

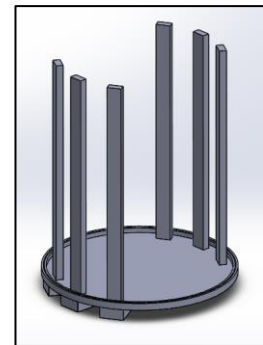


Figura 48 – Montagem das barras

A tabela 17 teve o propósito de simplificar a montagem deste suporte, a forma da base permite que o posicionamento das barras seja feita de forma eficaz e desejada como também serve de guia para as placas de proteção do reator e para as portas de acesso. Ao conjunto da figura 48 é soldada a peça do topo de modo a obter o conjunto da peça 49.

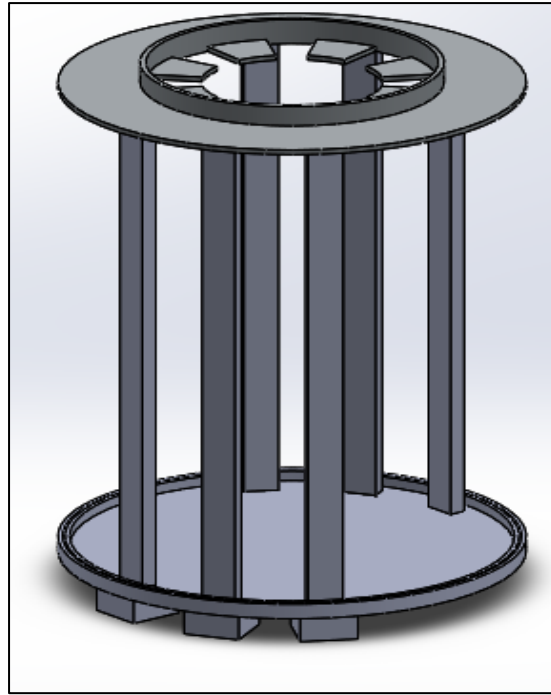


Figura 49 – Suporte da peça que suporta o reator

Estando o suporte concluído é agora do interesse pensar na proteção do redor do reator. Esta proteção será feita por duas placas curvas sólidas que serão fixas à base do suporte através de soldadura ou colagem.

As portas de acesso foram pensadas com base nas portas de chuveiro redondas de correr. O funcionamento é em tudo semelhante, as rodas de nylon percorrem a base que possuem alojamento para estas que estão agarradas ao vidro através de um suporte metálico e ligações magnéticas para um fecho simples (Tabela 18).

Tabela 18 – Pormenores construtivos das portas

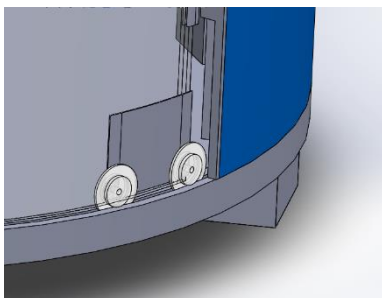


Figura 50 – Pormenor das rodas

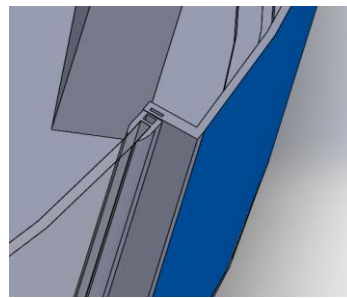


Figura 51 – Pormenor do fecho magnético

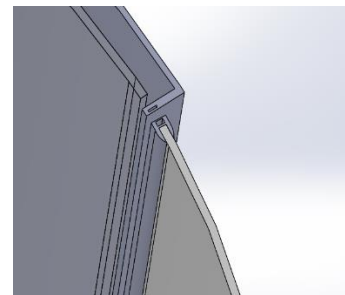


Figura 52 – Batente das portas

A representação do suporte e proteção do reator está mostrado na figura 53, possui duas portas de acesso para que o aparafusamento dos parafusos se dê sem a necessidade de desmontar as placas de proteção.

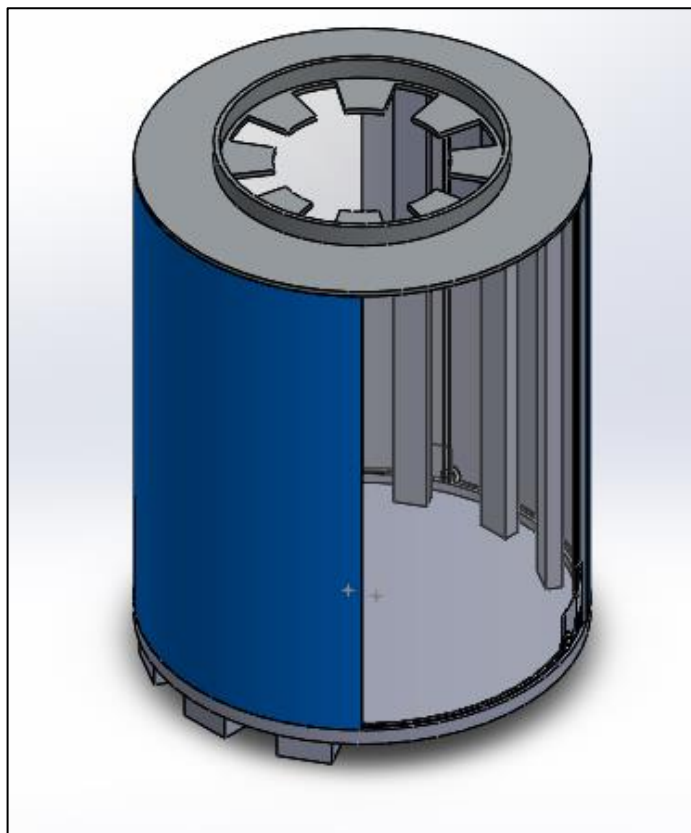


Figura 53 – Suporte e proteção do reator

3.14 Guia de funcionamento

Para cada utilização do reator existem passos a cumprir de modo a que a liquefação ocorra tal como o previsto.

No início é necessário verificar que todas o reator esteja limpo e vazio por dentro, as válvulas devem estar todas no seu estado de fecho- O reator deve estar à temperatura ambiente e despressurizado. A flange que liga a tampa do reator e a peça central deve estar a selar o reator. Também a garra que segura a base do reator à peça central deve estar a atuar no sentido de selar o reator. Para aceder ao reator é preciso primeiro abrir a porta de proteção.

Pode-se agora inserir a pré-mistura no reator através da válvula *on-off* (depois de ter aberto esta) na tampa do reator. Devem ser inseridos entre 10 a 12 L da mistura com uma fração mássica de água/borra de café de 20:1. Para facilitar o enchimento do reator, a abertura da outra válvula *on-off* no topo da tampa permite que o ar flua através desta última válvula enquanto que a pré-mistura entra na outra.

De seguida abre-se a segunda válvula *on-off* alojada na tampa do reator e conecta-se o fornecimento do gás inerte a uma destas válvulas e inicia-se a insuflação do gás no

reator. Quando o reator contiver apenas gás inerte no seu interior fecha-se a válvula *on-off* que está a deixar o gás escapar do reator e continua-se a insuflar até que a pressão no interior do reator seja 0,5 MPa. Uma vez que esta pressão seja atingida fecha-se a válvula que estava a admitir o ar.

Com a pressão em 0,5 MPa, é claro que não há nenhuma válvula aberta, pois esta pressão estaria a descer e seria visível no manómetro. É agora altura de fechar as portas de segurança.

Com todas as válvulas fechadas e o reator com a pré-mistura no seu interior e uma atmosfera inerte a 0,5 MPa liga-se o aquecimento. O aquecimento deve estar calibrado para uma velocidade de 10 °C/min e deve demorar 25 minutos a atingir a temperatura de 275 °C.

Uma vez que a temperatura desejada se instale é necessário esperar 10 minutos para que as quebras de ligações químicas no reator ocorram. Passados os 10 minutos é desligado o aquecimento e ligado o fornecimento de água fria à mangueira exterior na base do reator de modo a coletar a energia térmica e a acelerar o arrefecimento no interior do reator.

Quando a temperatura interior for baixa o suficiente para manusear o reator novamente, despressuriza-se o reator para ser seguro a sua abertura. Esta despressurização pode ser feita com o auxílio de uma mangueira conectada à válvula *on-off* por onde for efetuada a despressurização. Assim, quando a válvula for aberta, a mistura de gases pode ser armazenada num recipiente para posteriormente ser realizada uma separação destes gases e extrair alguma água para ser utilizada novamente na pré-mistura.

Depois é aberta a válvula *on-off* da base do reator para que o bioóleo flua para fora do reator e dentro do recipiente de armazenamento. Quando parar de sair bioóleo da válvula fecha-se esta e abre-se a garra do reator.

Dentro da base ainda deve estar contido algum bioóleo juntamente com os sólidos restantes do processo de liquefação. É altura de recolher os sólidos e o bioóleo restante e limpar moderadamente o reator.

Depois do reator estar limpo e completamente vazio fecha-se a garra novamente com a base na posição. Certificar que as válvulas estejam todas fechadas para que o processo se repita novamente. É estimado um tempo por utilização de 1 hora, sendo os primeiros 10 minutos se prepare o reator para a liquefação, a seguinte meia hora se dá o aquecimento e os últimos vinte minutos para arrefecer e extrair os produtos.

3.15 Capacidade de produção

Estando prevista uma produção de 20 L de bioóleo por dia utilizando o reator cerca de quatro vezes. É esperado um conteúdo de pelo menos 5 kg por utilização, originando 54 MJ por utilização. Mas para se obter esta energia é necessário gastar alguma nos sistemas de aquecimento e agitação. Na tabela 19 é feito o balanço térmico para se descobrir o “lucro energético” por utilização.

Tabela 19 – Balanço energético do reator por utilização

Fonte ou Consumidor de energia	Energia fornecida [MJ]
Produção do bioóleo	54
Agitador	-1,8
Aquecimento	-15,69
Total	36,51

3.16 Orçamento

A decisão de construir o reator recaí sobre dois aspetos importantes, o orçamento do projeto e a amortização do mesmo. O orçamento que está previsto não é 100% correta.

Para a estimativa do orçamento das peças em aço inoxidável, foi contactada uma empresa que trabalha com aço inoxidável e deram as seguintes informações relativamente aos seus métodos de orçamentação.

Tabela 20 - Bases de orçamentação

Gastos	Custo
Chapa de aço 316 3000×1500×15 mm (€/kg)	3,8
Mão de obra de soldadura (€/h)	13
Mão de obra do ajudante (€/h)	13
Margem de lucro (%)	15

Para os cálculos não foram tidos em conta os preços do transporte, sendo considerado que o construtor do reator irá buscar as peças pessoalmente à fabrica. Este valores têm interesse na orçamentação das 3 peças principais do reator. Todas fabricadas em aço inoxidável e, com possível soldadura na sua construção.

Tabela 21 – Orçamento do projeto

Função	Peça	Custo (€)
Corpo	Tampa	500
	Peça Central	500
	Base	500
Vedação	Garra	500
	2 o-rings	682
	8 parafusos m16	32
	8 porcas m16	8
Válvulas	2 válvulas on-off	300
	Banho térmico	3000
	1 válvula on-off	150
	1 válvula relief	300
Temperatura	1 Espiral	280
	1 Mangueira	20
	Isolamento térmico	50
Agitador	Motor	45
	Selo	2000
	Impulsor	40
Medição	Termopar	50
	Medidor associado à pressão	160
	Transdutor de pressão	50
Suporte	6 barras	60
	6 rodapés	30
	1 base	200
	1 topo	300
	2 placas	30
	2 portas	20
	4 dobradiças	20
	8 rodas	16
Total c/iva 23%		9843

O valor de 9843 € é apenas uma valor estimado e não o real. Os valores foram aproximados aos valores económicos do ano 2016 para um iva de 23%. Este projeto suporta várias configurações diferentes que o construtor pode decidir alterar caso lhe seja mais favorável, isto desde que não comprometa o funcionamento correto.

3.17 Amortização

Para ter uma estimativa do tempo de amortização é preciso estimar um valor monetário para o bioóleo a partir dos combustíveis já existentes (Tabela 22).

Tabela 22 – Custo dos combustíveis comuns

Fonte energética	Elétrica em períodos de utilização normal	Gasolina	Gás Natural
Preço (cent/MJ)	0,5	4,2	1,6

O custo do bioóleo pode ser comparado com os três, mas é mais natural que este bioóleo tente rivalizar com a gasolina por se tratarem ambos de um combustível líquido com o intuito de serem combustos. Por isso foi arbitrado um valor para o bioóleo de 4 centavos por cada MJ para que haja alguma competitividade.

Tendo esse valor como base fez-se o cálculo multiplicando por 36,51 MJ por cada utilização, depois foi considerada as quatro utilizações por dia e este valor foi multiplicado por um mês de referência de 30 dias na tabela 23.

Tabela 23 – Lucro monetário

Nº de utilizações	Lucro
Por utilização (€/útil)	1,46
Por dia (€/dia)	5,84
Por mês (€/mês)	175,25

É possível estimar um lucro mensal de 175,25 €. Para calcular a amortização foi colocado como valor de referência o orçamento inicial estimado (9843€) e debitado o valor de lucro estimado 175,25€ a cada mês que passe. O gráfico na figura 51 possui uma linha de tempo de 10 anos de operação do reator. A linha decrescente representa a diminuição do valor a cobrir. Quando esta linha cruzar o zero o reator terá pago o seu próprio investimento. A partir desse mês o reator estará apenas a gerar lucro.

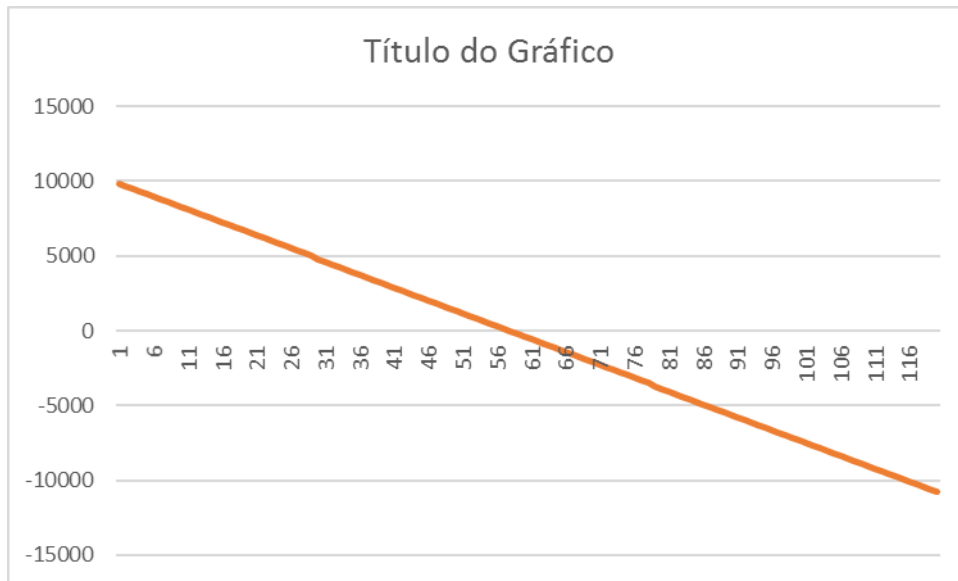


Figura 54 - Valor a cobrir em função do tempo

A linha representada no gráfico da figura 54 cruza o zero entre o mês 56 e o mês 57. Isto indica um tempo de amortização de 4 anos e 9 meses. Ao fim de 10 anos o retorno do investimento foi um total de 21 mil euros. Retirando aproximadamente 10 mil euros do custo do reator isto resulta num lucro de 11 mil euros.

3.18 Ficha técnica

Tabela 24 – Ficha técnica do reator

Nome	Reator de Liquefação para borra de café
<p>Figura</p>	
	<p>Figura 55 – Representação final do reator</p>
<p>Material principal</p>	<p>Aço inoxidável</p>
<p>Volume interior útil</p>	<p>20 dm³</p>
<p>Condições de vedação</p>	<p>Flange e Garra (<i>split-ring</i>)</p>
<p>Máxima pressão</p>	<p>70 MPa</p>
<p>Máxima temperatura</p>	<p>274 °C</p>
<p>Ligações</p>	<p>2 ligações para soldadura de válvula swagelok com \varnothing de 13,7 mm e profundidade de 1,5 mm de profundidade. 1 ligação para soldadura de válvula swagelok com \varnothing de 26,7 mm e profundidade de 2,3 mm de profundidade. 1 ligação roscada $\frac{3}{4}$ -10 polegadas (\approx19,05 mm) para válvula de alívio de pressão Flow safe 2 ligações para serpentina de aquecimento \varnothing_{ext} de 12,7 mm e \varnothing_{int} de 11,5 mm. 1 rosca M5 para o transdutor de pressão 1 rosca MX para o termopar.</p>

CONCLUSÕES

4.1 Acumular riqueza

4.2 Rumo à Sustentabilidade

4.3 Conhecimento é poder

4 CONCLUSÕES

Concluído o projeto do reator, são agora apresentadas as conclusões de maior relevância.

Os três produtos deste reator podem ser divididos em três grandes setores, económico, ambiental e disciplinar. Cada subcapítulo desta conclusão irá referir-se a cada um destes setores respetivamente.

4.1 Acumular riqueza

Em todos os investimentos há o interesse de haver a recuperação do mesmo. A construção deste reator mostra-se capaz de reembolsar o esforço financeiro aos aproximadamente 5 anos. É um tempo relativamente longo mas comum num equipamento deste tipo. É de referir que este tempo corresponde a apenas quatro utilizações por dia. Cada utilização durando 1 hora, é possível alargar o numero de utilizações diárias e reduzir o tempo de amortização.

Deve-se salientar que o cálculo da amortização foi efetuado utilizando apenas o bioóleo recolhido, e a energia que o processo em si produz. A energia contida dentro dos grãos da borra de café não desapareceu, apenas não foi contabilizada. O processo de liquefação também produz uma fração sólida que pode ser estudada para o fabrico de um biocarvão ou de um adubo, que poderá ajudar nas receitas. Também se pode averiguar se o gás resultante, que se supõe seja constituído maioritariamente por água e o gás inerte, também possua algum teor de biogás resultante da liquefação.

4.2 Rumo à Sustentabilidade

O reator projetado em si não é sustentável. Sustentável será a sua utilização se assim for desejado. A sustentabilidade pode ser avaliada pelo desperdício gerado pela utilização deste reator. Para ele ser sustentável é necessário que todos os produtos da liquefação (gases, líquidos e sólidos) sejam aproveitados de alguma forma, que não comprometa as gerações seguintes nem o ambiente.

Tendo em conta que a ideia principal do reator é liquefazer, à partida o bioóleo será usado de uma forma sustentável.

Os gases da liquefação podem ser recolhidos, separados e o seu vapor de água recuperado.

Os sólidos também devem ser aproveitados de modo a não serem pura e simplesmente eliminados sem qualquer valorização. Parte da energia térmica pode ser recuperada para aquecer um fluido térmico, a utilização deste calor pode reduzir o consumo de outras fontes de energia não sustentáveis e melhorar a sustentabilidade do laboratório ou fábrica onde estiver instalado o reator.

4.3 Conhecimento é poder

Para melhorar o desempenho geral dos reatores de liquefação de biomassa ainda é necessário mais pesquisa e estudos, mas a vantagem económica que este conhecimento pode tornar o processo de evolução tecnológica mais lento, com a retenção deste conhecimento para vantagem própria.

Este reator permite ao seu construtor obter mais conhecimento na liquefação de borra de café e de outras biomassas, pois a sua constituição não é muito restritiva em relação aos seus reagentes. Uma informação importante é a pressão necessária para que ocorra a liquefação da pré-mistura. No trabalho de Yang [10] não foi estudada a diferença nos resultados no controlo da pressão de liquefação, apenas foi arbitrada a pressão inicial e permitido que esta subisse até aos 6,0 MPa. É interessante descobrir se é preciso que a pressão chegue a valores tão elevados para que ocorra a liquefação, ou se, colocar a válvula de segurança a impedir a pressão de ultrapassar os 5,0 MPa e analisar o bioóleo resultante. O interesse na regulação desta pressão dá-se pela dificuldade que uma gama de pressão como esta gerou na construção dos diversos componentes do reator.

Existem muitos outros parâmetros possíveis de serem estudados mesmo com o tempo restante do dia após as 4 utilizações, é possível gerar conhecimento sem comprometer o tempo de amortização.

O único fator que impede este reator de dar o seu melhor ao mundo é o medo do conhecimento.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 Bibliografia e outras fontes de informação

- [1] G.-X. L. Zuo-Yu Sun, "On reliability and flexibility of sustainable energy application route," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 51, p. 830–846, 2015.
- [2] J. C. L. J. A. S. S. Maura Celi Martins, "Proposal for the Generation of Alternative Sustainable Energy Using Methane Gas," *Business Management Dynamics*, vol. 5, pp. 01-19, Fevereiro 2016.
- [3] Koonin, "Getting serious about biofuels," *Science*, vol. 311, p. 435, 2006.
- [4] W. P. F. R. W. B. Diego López Barreiro, "Hydrothermal liquefaction (HTL) of microalgae for biofuel production: State of the art review and," *Biomass and energy*, vol. 53, Fevereiro 2013.
- [5] K.-Q. T. H. R. G. Vishwanath Patil, "Towards Sustainable Production of Biofuels from Microalgae," *International Journal of Molecular Sciences*, 2008.
- [6] S. S. P. K. K. K. Keerati Prapaiwatcharapan, "Single- and two-step hydrothermal liquefaction of microalgae," *Bioresource Technology*, vol. 191, p. 426–432, 2015.
- [7] R. B. L. a. P. E. S. Yingda Lu, "Hydroprocessing of bio-crude from continuous hydrothermal," *Fuel*, vol. 159, pp. 197-205, Junho 2015.
- [8] Y. Z. W.-T. C. P. Z. Y. D. Chao Gai, "An investigation of reaction pathways of hydrothermal liquefaction using *Chlorella pyrenoidosa* and *Spirulina platensis*," *ScienceDirect (Energy Conversion and Management)*, 2015.
- [9] R. B. L. P. E. S. Yingda Lu, "Fatty Acids for Nutraceuticals and Biofuels from Hydrothermal Carbonization of Microalgae,", 2015.
- [10] L. N. Z. Y. K. C. C. (. X. Q. (. H. Linxi Yang, "Hydrothermal liquefaction of spent coffee grounds in water medium for bio-oil production," *Biomass and Bioenergy* 86, pp. 191-198, 2016.
- [11] M. L. L. G. H. S. Z. W. Zhiping Lei, "Liquefaction of Shengli lignite with methanol and CaO under low pressure," *Energy*, vol. 36, pp. 3058-3062, 2011.
- [12] B. Z. P. D. Lei Zhang, "Hydrothermal conversion of scrap tire to liquid fuel," *Chemical Engineering Journal*, vol. 285, pp. 157-163, Outubro 2016.
- [13] P. R. C. D. F. A. L. D. A. M. M. G. B. B. I. nders Juul Mørup, "Construction and Commissioning of a Continuous Reactor for," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 54 (22), pp. 5935-597, Maio 2015.
- [14] C. S. P. B. A. S. E. B. M. L. a. A. B. C. Loustau-Cazalet, "Innovative Deconstruction of Biomass Induced by Dry Chemo-Mechanical Activation: Impact on Enzymatic Hydrolysis and Energy," *ACS publications*, 2016.
- [15] A. R. Products, Seal Design Guide.
- [16] T. Corporation, *Agitators*, Osaka.
- [17] Checalc, "Agitator power," Checalc, 2015. [Online]. Available: <http://checalc.com/solved/agitator.html>.

ANEXOS

6.1 Cálculos

6.2 Desenhos

6.3 Fichas técnicas

6 ANEXOS

Neste capítulo são apresentados todos os cálculos que comprovam os resultados apresentados ao longo da tese, bem como os desenhos das peças não normalizadas.

6.1 Cálculos

Os cálculos encontram-se na ordem que foram utilizados ao longo da construção da dissertação.

6.1.1 Volume útil do Reator

Para que o volume útil do reator seja 20 dm^3 foi preciso definir uma das dimensões primeiro. O raio do reator foi primeiro definida a $1,5 \text{ dm}$ e a equação utilizada para descobrir o diâmetro do reator foi a seguinte:

$$V_{\text{útil}} = (\pi r^2 - \pi r_{\text{agitador}}^2) \times \text{altura} - L_{\text{serpentina}} \times \pi r_{\text{serpentina}}^2$$

Resolvendo a equação com um $V_{\text{útil}}$ de $20 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, o r_{agitador} de $0,04 \text{ m}$, a altura de $0,45 \text{ m}$, um $L_{\text{serpentina}}$ de $3,45 \text{ m}$ e um $r_{\text{serpentina}}$ de $0,01 \text{ m}$. O raio da serpentina considerado foi o exterior.

$$22 \times 10^{-3} = (\pi 1,5^2 - \pi \times 0,04^2) \times L - 3,45 \times \pi \times 0,01^2$$

$$\Leftrightarrow L = 0,134 \text{ m}$$

6.1.2 Consumo do agitador

A energia do motor em joules a partir de 1 kW (1 kJ/s) precisa de ser contabilizada durante os 30 minutos de funcionamento tendo cada minuto 60 segundos:

$$E = 1000 \times 60 \times 30$$

$$E = 1\,800\,000 \text{ J}$$

6.1.3 Massa das peças

O cálculo do volume da Tampa do reator foi aproximado com cuidado, não foram considerados os furos das válvulas nem para os instrumentos de medida devido ao exagero de precisão desnecessário que este cálculo representaria:

$$V = (0,25^2\pi - 0,021^2\pi) \times 0,02 - (0,12^2\pi - 0,021^2) \times 0,0078 - 8 \times (0,008^2\pi \times 0,02)$$

$$V = 3,56 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Para chegar ao peso em kg do tampa é preciso multiplicar o volume em m^3 pela massa específica do aço inoxidável (8000 kg/m^3).

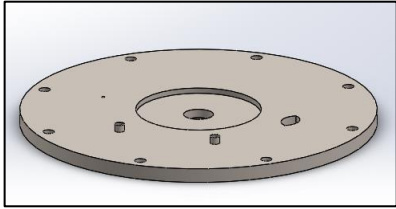
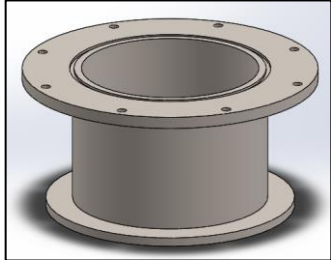
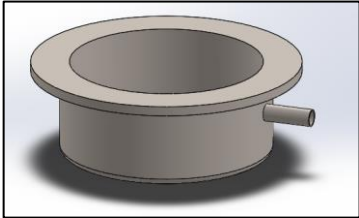
$$m = 3,56 \times 10^{-3} \times 8000 = 28,46 \text{ kg}$$

O cálculo da peça central é em tudo semelhante, só as dimensões alteram.

$$V = (0,25^2 - 0,15^2) \times 0,020\pi + (0,165^2 - 0,15^2) \times 0,210\pi + (0,21^2 - 0,15^2) \times 0,015\pi$$

$$V = 6,6 \times 10^{-3}$$

$$m = 6,65 \times 10^{-3} \times 8000 = 53,19 \text{ kg}$$

Peça	Imagem	Massa Volúmica [kg/m ³]	Massa [kg]
Tampa		8000	28,46
Peça central		8000	53,19
Peça Base		8000	32,08

6.1.4 Cargas no sistema de suporte e proteção

O peso de 300 kg é distribuído pelas 8 saliências da peça do topo do suporte:

$$\frac{300}{8} = 37,5$$

Para que este peso seja considerado uma força é necessário considerar a aceleração gravítica:

$$F = 300 \times 9,81 = 2943 \text{ N}$$

A tensão de corte aplicada na secção da saliência é dada pela equação:

$$T = \frac{F}{A}$$

Onde A representa a área da secção da saliência:

$$A = \pi \times \varnothing \times \frac{25}{360} \times 0,01 = 1,09 \times 10^{-4} m^2$$

Na equação anterior o diâmetro considerado foi o de 0,5 m. Sendo assim a tensão de corte aplicada é:

$$T = \frac{2943}{1,09 \times 10^{-4}}$$

$$T = 27 \times 10^6 Pa$$

6.1.5 Carga instalada nas barras de apoio

A tensão nas barras possui o mesmo método de cálculo, utilizando a mesma equação com a força aplicada em N e a área de resistência em m². Estas barras também têm de suportar a peça de suporte que pesa aproximadamente 35 kg. Sendo assim:

$$F = 335 \times 9,81 = 3286 N$$

$$A = 6 \times 0,03 \times 0,06 = 1,08 \times 10^{-2} m^2$$

A área total foi calculada considerando as 6 barras com secção de 30×60mm. Isto resulta numa tensão de:

$$T = \frac{3286}{1,08 \times 10^{-2}} = 304259 Pa$$

6.2 Desenhos técnicos

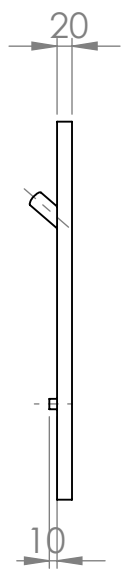
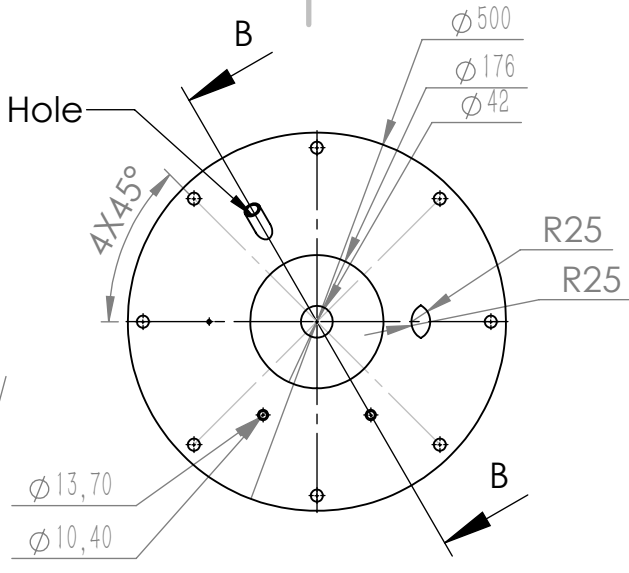
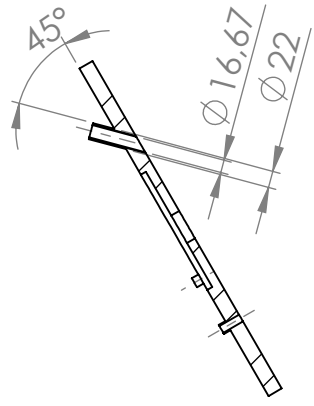
Os desenhos que são mostrados nesta secção são os necessários para fabricar o reator, não estão incluídos os desenhos de peças normalizadas como os parafusos e roscas, nem das peças que serão compradas aos respetivos fabricantes (válvulas, selo, o-rings, motor).

4 3 2 1

F

F

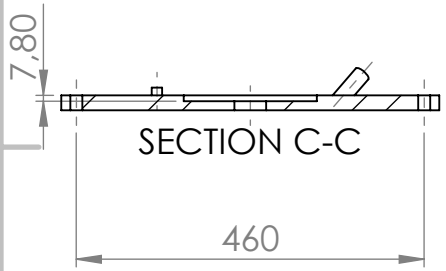
3/4" Tapped Hole



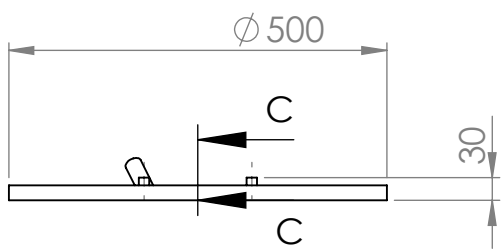
E

E

SECTION B-B



SECTION C-C

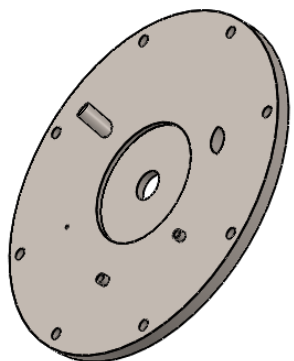


D

D

C

C



Normas de toleranciamento
ISO 2768 - mK
ISO 8062

B

B

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN Hugo Baires		15/10/2016
CHK'D		
APP'VD		
MFG		

TITLE:
Tampa

SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only. AISI 316 SS

DWG NO. **1** A4

WEIGHT: 28,5 kg

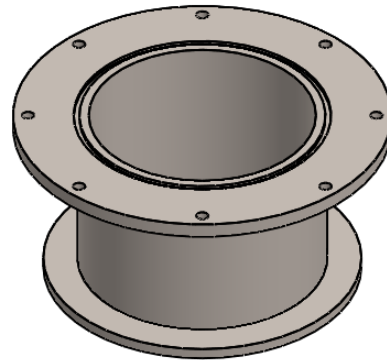
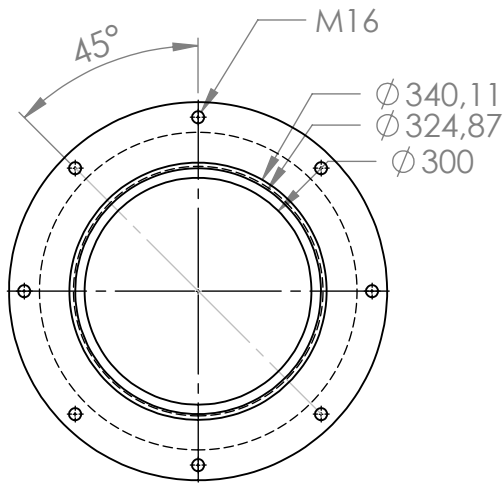
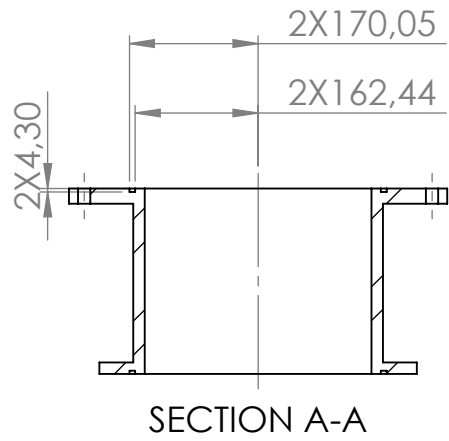
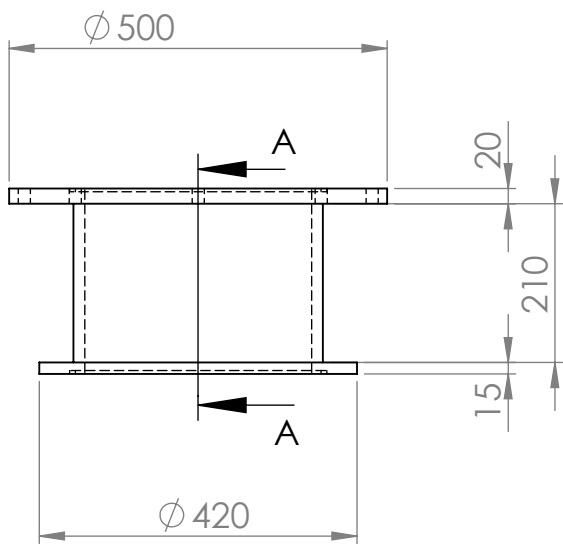
SCALE: 1:10

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A



Normas de toleranciamento
 ISO 2768 - mK
 ISO 8062

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Hugo Bairres		15/10/2016
CHK'D			
APPV'D			
MFG			

TITLE:

Peça central

SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.

AISI 316 SS

DWG NO.

Desenho 2

A4

WEIGHT: 53,11 kg

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1

4

3

2

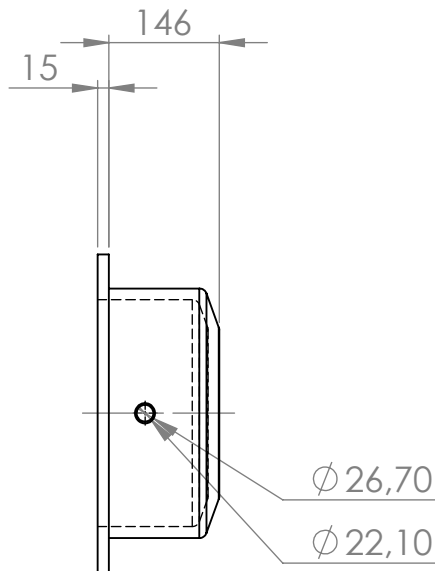
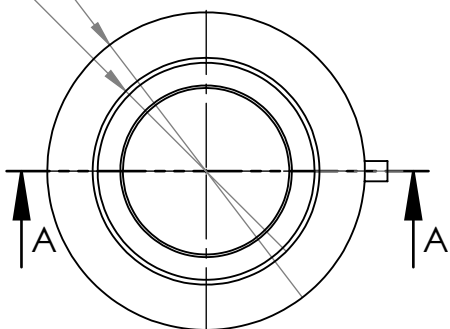
1

F

F

Ø 420

Ø 300



E

E

D

D

R10

SECTION A-A

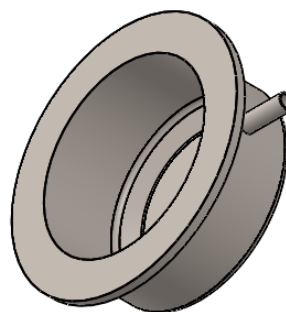
20°

R10

75

220

Ø 330



C

C

B

B

Normas de toleranciamento
 ISO 2768 - mK
 ISO 8062

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Hugo Bairres		15/10/2016
CHKD			
APPVD			
MFG			

TITLE: **Base do reator**

SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only. AISI 316 SS

DWG NO. **Desenho 3** A4

WEIGHT: 32,08 kg

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1

4

3

2

1

A

A

4

3

2

1

F

F

Ø 800

Ø 520

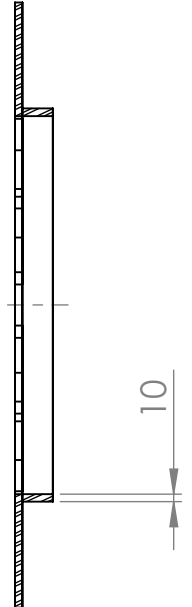
Ø 500

A

8X20°
8X25°

R156

A



SECTION A-A

E

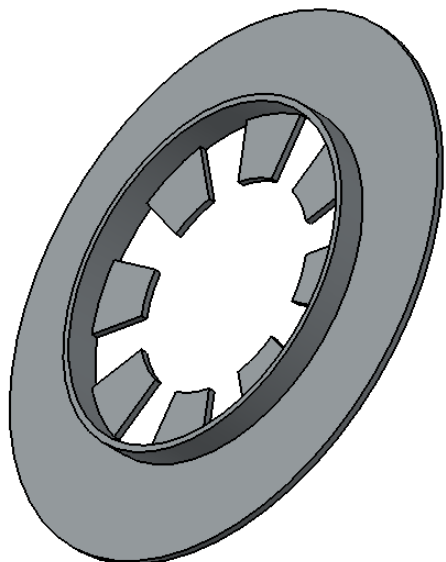
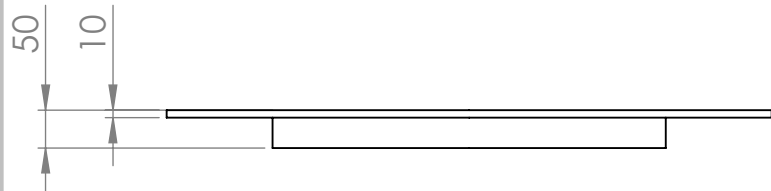
E

D

D

C

C



B

B

Normas de toleranciamento
 ISO 2768 - mK
 ISO 8062

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Hugo Bairres		15/10/2016
CHKD			
APPVD			
MFG			

TITLE: **Topo do Suporte**

SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.

DWG NO. **Desenho 4** A4

WEIGHT:

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1

4

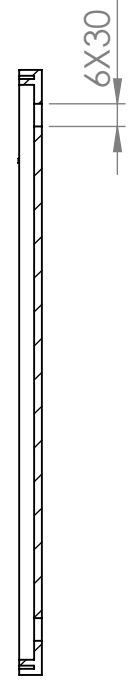
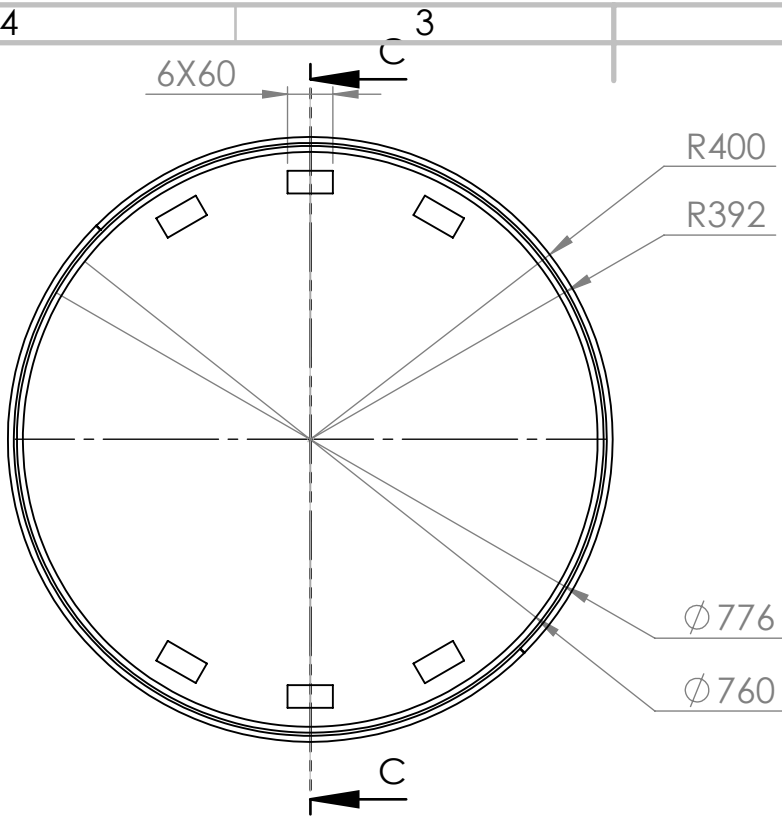
3

2

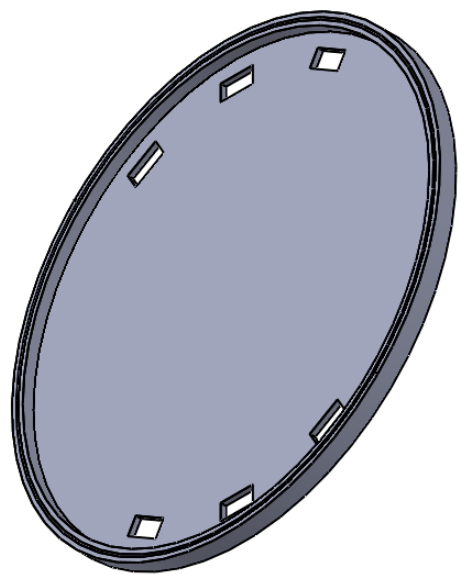
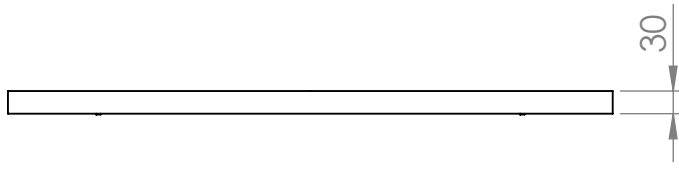
1

A

A



SECTION C-C



Normas de toleranciamento
 ISO 2768 - mK
 ISO 8062

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Hugo Bairres		15/10/2016
CHKD			
APPVD			
MFG			

TITLE:
Base do suporte

SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.

DWG NO.
Desenho 5

A4

WEIGHT:

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

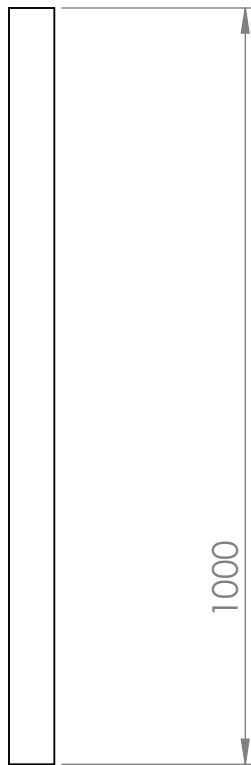
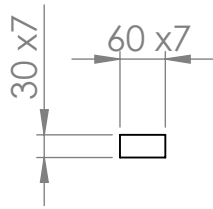
D

C

C

B

B



Normas de toleranciamento
 ISO 2768 - mK
 ISO 8062

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

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN Hugo Bairres		15/10/2016
CHKD		
APPVD		
MFG		

TITLE:
Barra rectangular

SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.

DWG NO.

Desenho 6

A4

WEIGHT:

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1

4

3

2

1

A

A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

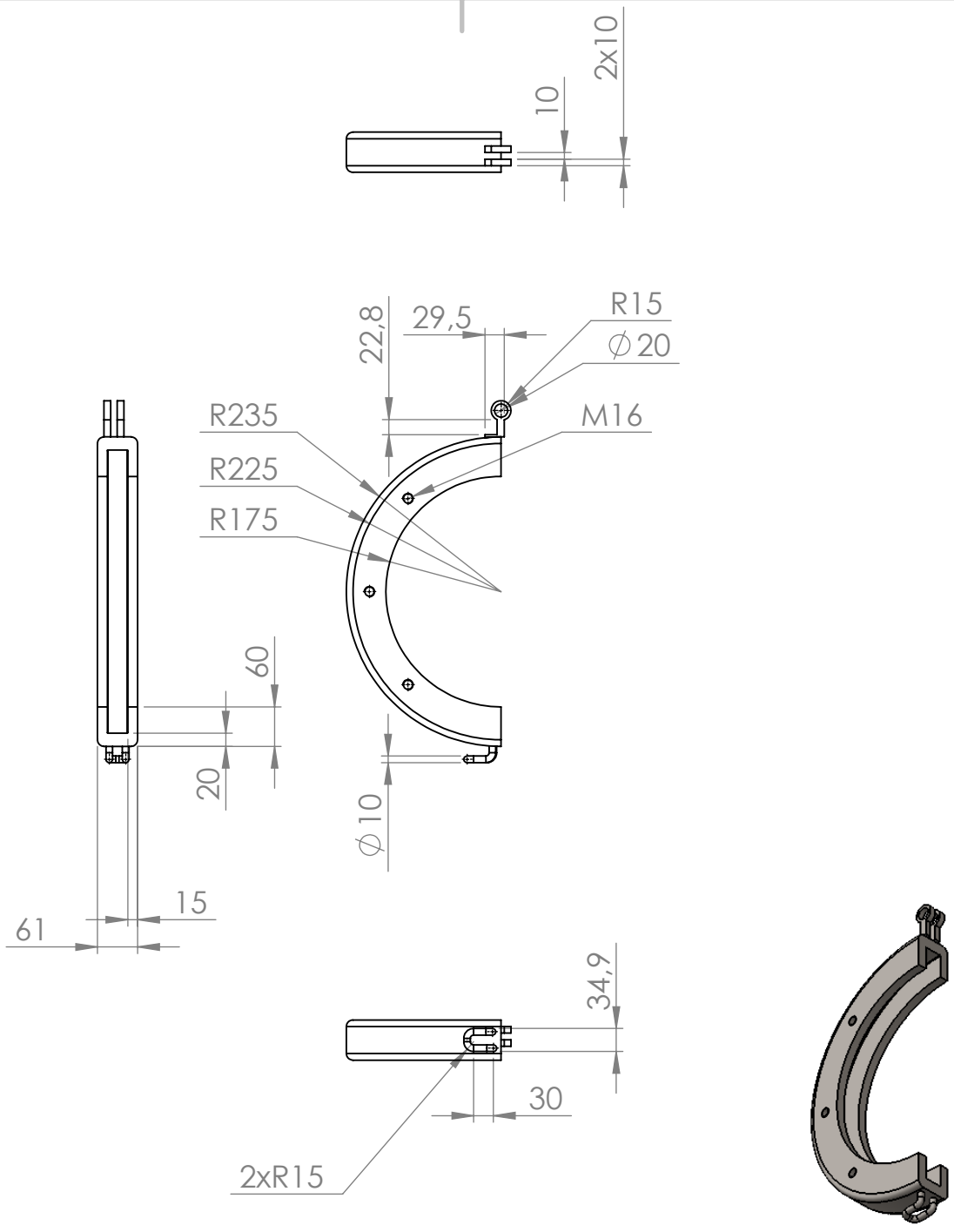
C

B

B

A

A



Normas de toleranciamento
 ISO 2768 - mK
 ISO 8062

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Hugo Bairres		15/10/2016
CHK'D			
APPV'D			
MFG			

TITLE:
Peça da Garra Esq.

SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.

DWG NO.
Desenho 7

A4

WEIGHT:

SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

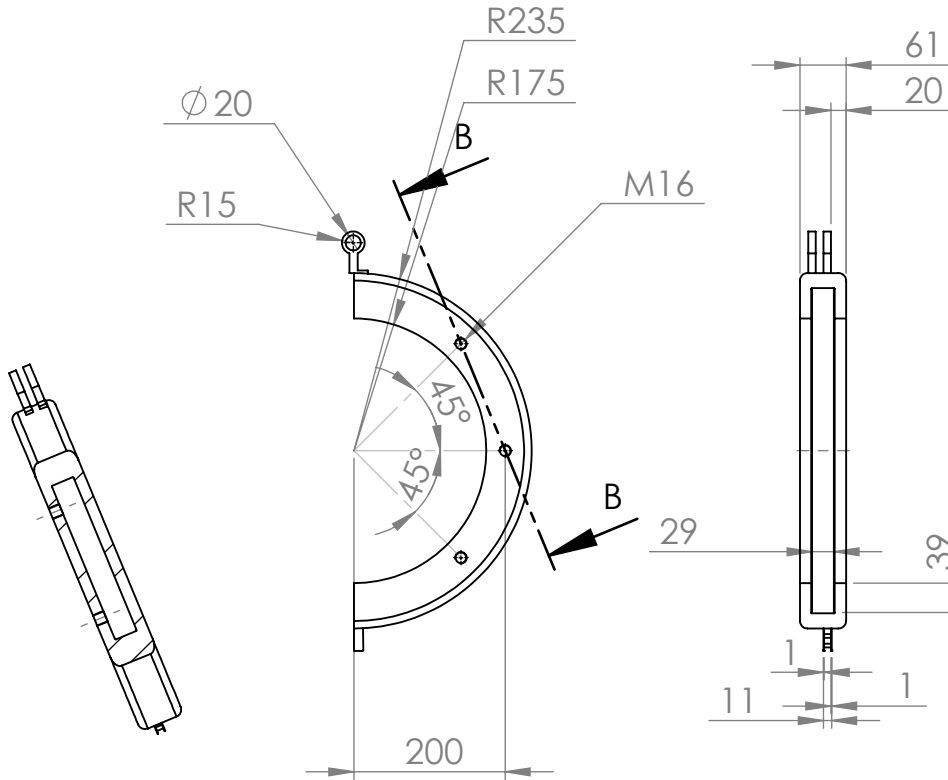
C

B

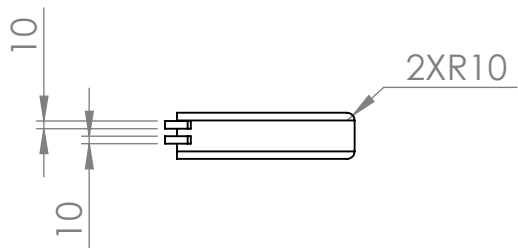
B

A

A



SECTION B-B



Normas de toleranciamento
 ISO 2768 - mK
 ISO 8062

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Hugo Bairres		15/10/2016
CHKD			
APPVD			
MFG			
Q.A.	SOLIDWORKS Student Edition. For Academic Use Only.		
			WEIGHT:

TITLE:	Peça da Garra Dt	
DWG NO.	Desenho 8	A4
SCALE:1:10	SHEET 1 OF 1	

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

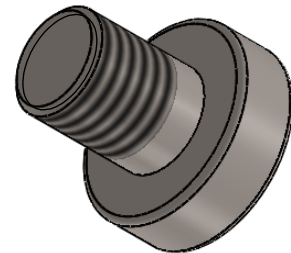
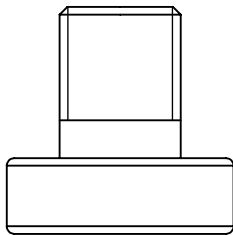
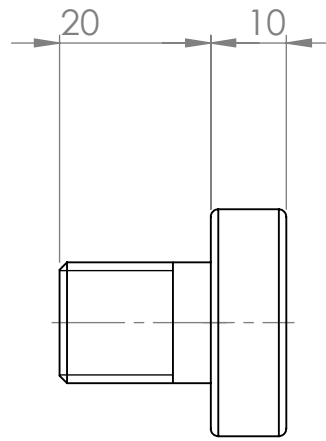
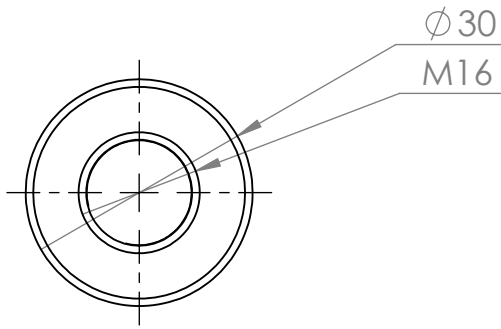
D

C

C

B

B



Normas de toleranciamento
ISO 2768 - mK
ISO 8062

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Hugo Bairres		15/10/2016
CHKD			
APPVD			
MFG			

TITLE:

Pino da Garra

SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.

DWG NO.

Desenho 9

A4

WEIGHT:

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

4

3

2

1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

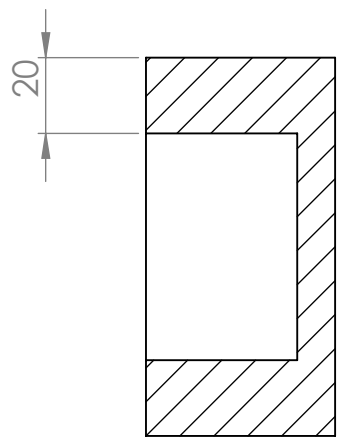
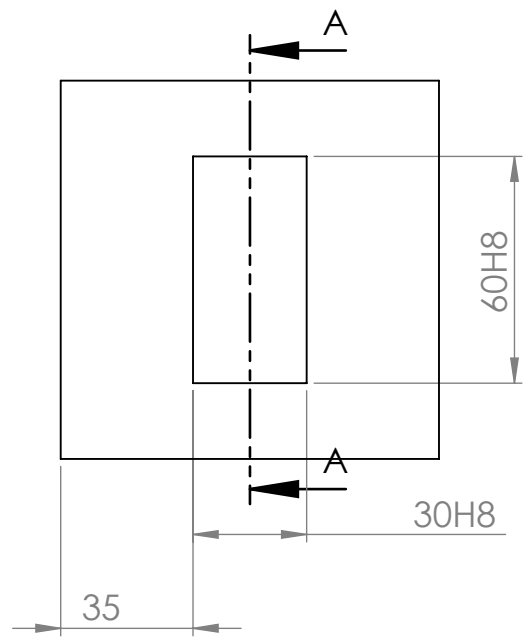
C

B

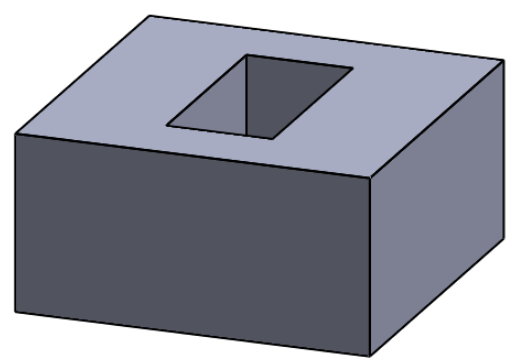
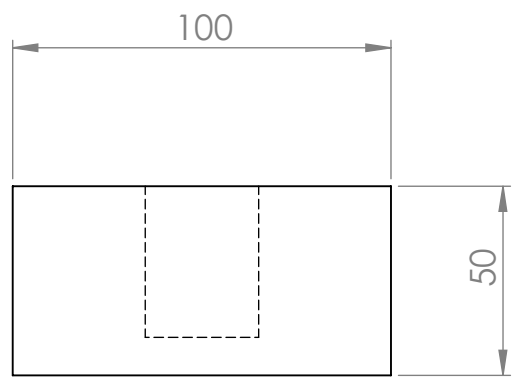
B

A

A



SECTION A-A



Normas de toleranciamento
ISO 2768 - mK
ISO 8062

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Hugo Bairres		15/10/2016
CHK'D			
APPV'D			
MFG			

TITLE: Pé

SOLIDWORKS Student Edition.
For Academic Use Only.

DWG NO. Desenho 10

A4

WEIGHT:

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1