

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Fábio Caeiro, nº 52399

Maria Gonçalves, nº 52668

Pedro Fonseca, nº 50383

Conceção e Fabrico de uma Pequena Bomba de Água

Grupo 10



Produção Assistida por Computador

Docente: Miguel Araújo Machado

Monte da Caparica

Dezembro 2021

Índice

Introdução.....	3
Memória Descritiva	5
1. Dimensionamentos	5
1.1. Potência necessária.....	5
1.2. Escolha do Tipo de Bomba	5
1.3. Rotor.....	7
1.4. Voluta	8
1.5. Veio.....	8
1.6. Corpo da bomba	10
1.7. Tampa.....	11
1.8. Estanquicidade	11
1.9. Otimização do Funcionamento	12
1.10. Análise de Custos	13
2. Montagem dos Componentes.....	14
3. Iterações.....	16
3.1. Primeiro teste, 5 L/min.....	16
3.2. Segundo teste: 15 L/min	16
3.3. Terceiro teste: 21 L/min	16
3.4. Permeabilidade do corpo da bomba.....	16
Conclusão	17
Bibliografia	18
Anexos.....	19
Anexo A. Dados gerais do rolamento.....	19
Anexo B. Maquinação do veio.....	20
Anexo C. Tolerâncias dos rolamentos	22

Índice de figuras

Figura 1. Tipos de Bombas Dinâmicas	6
Figura 2. Funcionamento de uma bomba centrífuga [1]	6
Figura 3. Simulação realizada no programa SolidWorks	7
Figura 4. Rotor fechado.....	7
Figura 5. Rotor semi-aberto	7
Figura 6. Rotor aberto	7

Figura 7. Esquema do veio	8
Figura 8. Representação do veio no corpo da bomba	9
Figura 9. Procedimento de montagem de colagem	12
Figura 10. Casquilho montado no rotor	12
Figura 11. Veio, freio, rolamento 2, tubo e rolamento 1	14
Figura 12. Montagem final da bomba de água	15

Índice de tabelas

Tabela 1. Custos associados aos materiais da bomba.....	13
Tabela 2. Custos associados ao fabrico da bomba.....	13

Introdução

O presente relatório expõe o desenvolvimento do projeto de uma bomba de água, realizado ao longo do semestre, no âmbito da Unidade Curricular de Produção Assistida por Computador. Este projeto visa dar a conhecer aos seus alunos quais as etapas necessárias ao desenvolvimento de um dispositivo mecânico, desde o seu projeto ao seu fabrico e testagem.

A meta deste projeto consiste na conceção de uma pequena bomba hidráulica capaz de responder a requisitos específicos, nomeadamente fornecer um caudal de 20 L/min de água a uma altura de $0,6\text{ m}$, respeitar a limitação da rotação do rotor da bomba a um valor de 3000 rpm (o qual corresponde à capacidade do berbequim presente nos laboratórios do Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial a utilizar para os ensaios experimentais da bomba) e garantir que o encaixe para a mangueira a utilizar tenha um diâmetro de 12 mm .

Memória Descritiva

1. Dimensionamentos

1.1. Potência necessária

Um dos primeiros passos no dimensionamento de uma bomba hidráulica que cumpra os requisitos apresentados na Introdução deste relatório, passa pela obtenção da potência necessária para a transferência da água. Tendo em conta que a água será transferida para um recipiente a uma altura de $0,6\text{ m}$ e que o caudal pretendido tem um valor de 20 L/min , esta potência é dada pela seguinte expressão:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \cdot Q = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,6 \cdot \frac{20 \cdot 10^{-3}}{60} \approx 2\text{ W}$$

O valor desta potência corresponde a uma parcela ínfima da que será fornecida pelo berbequim (utilizado como elemento motor), uma vez que o seu valor de potência disponível é dois graus de grandeza superior ao da potência necessária. Isto significa que a potência disponível será suficiente para qualquer solução escolhida. Apesar disto, pretende-se minimizar as perdas energéticas de forma que quando o berbequim esteja a funcionar à sua velocidade máxima, a energia que é transferida para o fluido seja a mais elevada possível.

1.2. Escolha do Tipo de Bomba

Uma bomba hidráulica é uma máquina que transfere a energia mecânica fornecida para energia transportada pelo escoamento. Esta energia pode existir sob a forma de pressão, energia cinética ou energia potencial.

Existem dois tipos principais de bombas: bombas dinâmicas e bombas volumétricas. Nas bombas volumétricas, a energia é transmitida para o fluido variando o volume ocupado pelo fluido no interior da bomba. Por outro lado, as bombas dinâmicas transferem a energia para o fluido alterando o seu campo de velocidade.

O tipo de bomba escolhido foi uma bomba dinâmica rotativa radial. Neste tipo de bombas, o rotor faz com que a componente radial da velocidade aumente bastante enquanto a componente axial é praticamente nula.

As bombas radiais são o tipo de bomba mais utilizado, principalmente para água, e é indicada para uma grande altura e para caudais baixos e médios.

Uma das principais vantagens destas bombas passa pela simplicidade da sua geometria, o que facilita o seu fabrico e a sua baixa necessidade de manutenção.

Bombas Dinâmicas

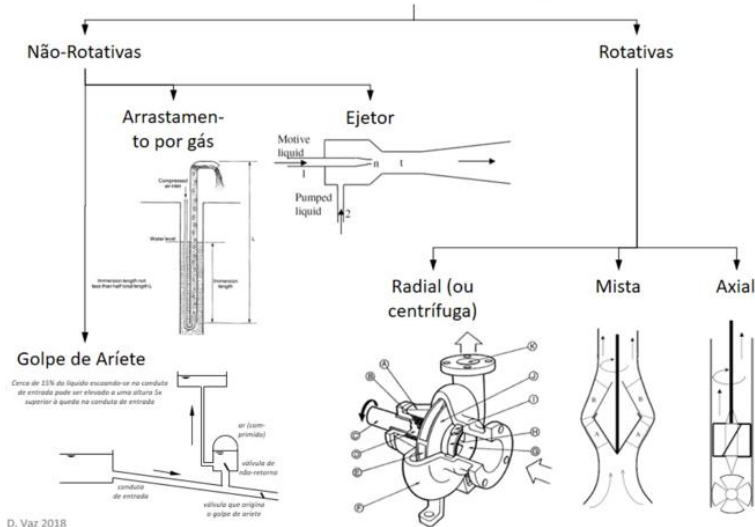


Figura 1. Tipos de Bombas Dinâmicas

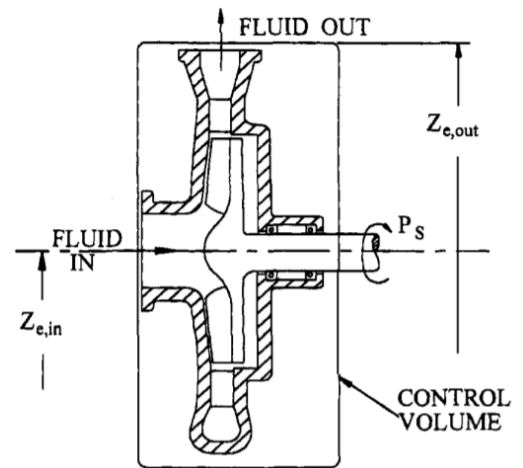


Figura 2. Funcionamento de uma bomba centrífuga [1]

Para dimensionar a bomba e o rotor começou-se por definir as dimensões do rotor com o objetivo de, com recurso à ferramenta *Simulation Flow* do programa *SolidWorks*, verificar se os valores iam de encontro ao pretendido. Numa primeira iteração, utilizou-se um rotor com 80 mm de diâmetro e 12 mm de altura. A geometria do rotor foi baseada num rotor que um elemento do grupo tinha na sua posse.

Nesta fase inicial, algumas dimensões da bomba e do rotor foram sendo alteradas de modo a verificar, com recurso a simulações, que valores corresponderiam a um maior caudal de saída. Após algumas iterações, verificou-se que um rotor com uma altura de 10 mm apresenta valores satisfatórios, com um caudal de saída próximo dos 40 L/min.

Este valor fornece a segurança necessária, visto que para além de ser necessário alcançar um caudal de 20 L/min, é também exigido que se eleve a água a uma altura de 0,6 m. Para além disso, o acabamento da bomba e do rotor não é ideal devido ao modo como estes foram fabricados, o que resulta em perdas de carga no decorrer do processo. O programa *SolidWorks* também não considera as perdas de carga distribuídas ao longo das mangueiras, nem as perdas localizadas na entrada e saída das mesmas.

Com o objetivo de compreender o valor do caudal teórico dentro da bomba, considerou-se que, em cada rotação, o volume de água deslocado coincide com a quantidade de água que sai da bomba. Esta assunção resulta num caudal volúmico de 136 L/min:

$$(V_{dummy} - V_{rotor}) \cdot 3000 = (\pi \cdot 4^2 \cdot 1 - 5) \cdot 3000 = (50 - 5) \cdot 3000 = 135796 \text{ cm}^3/\text{min} \\ = 136 \text{ L/min}$$

Assim, com o caudal teórico obtido através das simulações do programa *SolidWorks*, verifica-se que o volume escoado equivale a aproximadamente 30% do volume deslocado. O valor desta percentagem é bastante considerável, pelo que é espectável que seja menor quando se calcular com o caudal real.

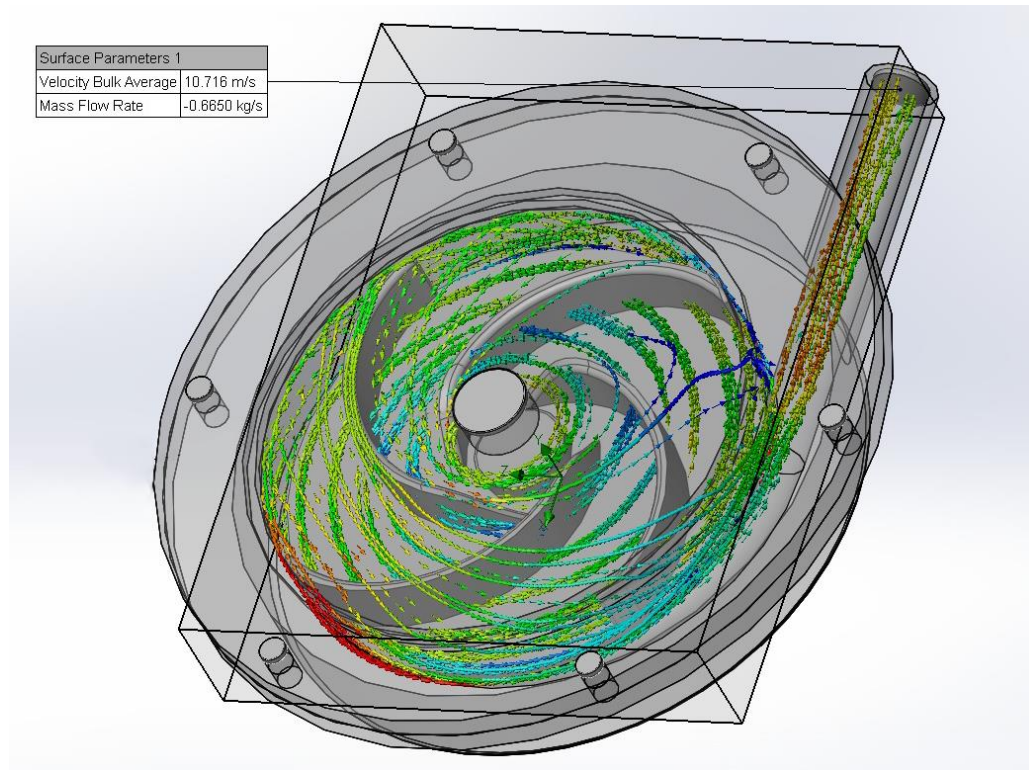


Figura 3. Simulação realizada no programa *SolidWorks*

1.3. Rotor

Relativamente ao rotor, existem 3 tipos disponíveis: rotor fechado, rotor semi-aberto e rotor aberto.



Figura 4. Rotor fechado

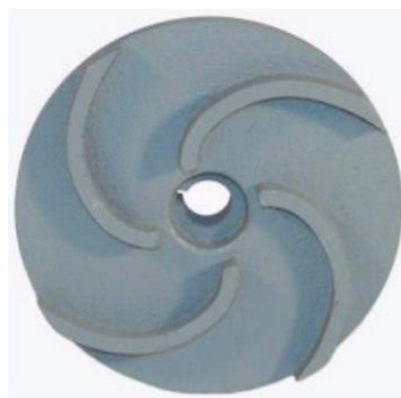


Figura 5. Rotor semi-aberto



Figura 6. Rotor aberto

O rotor fechado possui a vantagem de apresentar um baixo retorno do fluido à entrada. É também o único dos três que apenas deve ser utilizado para fluidos limpos, para garantir que o

mesmo não fica entupido. Apesar do fluido a bombear ser água limpa, o grupo optou por não utilizar este rotor.

Esta decisão deve-se à natureza da impressão 3D, onde seria necessário criar suportes para sustentar o disco superior durante a sua impressão, que não seriam possíveis de remover completamente. Por outro lado, se estes suportes fossem dispensados durante a impressão, o acabamento não seria o ideal e a qualidade da impressão seria inferior. Isto significa que ambas as opções resultariam em maiores perdas de carga no processo.

Por este motivo, decidiu-se fabricar um rotor semi-aberto, pois este garante um melhor acabamento superficial enquanto tem uma maior resistência estrutural do que um rotor aberto.

1.4. Voluta

Uma característica do corpo da bomba é a existência de uma voluta. Este componente serve para encaminhar a água, que se desloca numa trajetória circular, para a saída da bomba, tendo a finalidade de melhorar o desempenho da mesma. A voluta também serve para transformar a energia cinética do fluido em pressão.

1.5. Veio

O veio foi projetado para ser montado em dois rolamentos 608 (anexo A), visto serem fáceis de obter e pouco dispendiosos. Este veio e os rolamentos seriam montados num tubo de apoio existente na traseira do corpo da bomba, pelo que seria vantajoso que esse tubo fosse o mais curto possível de modo a minimizar o uso de material para o seu fabrico. No entanto, um maior afastamento entre os rolamentos traria mais estabilidade ao sistema, pelo que se optou por uma distância de 10 mm entre eles. O processo de maquinação do veio encontra-se no anexo B.

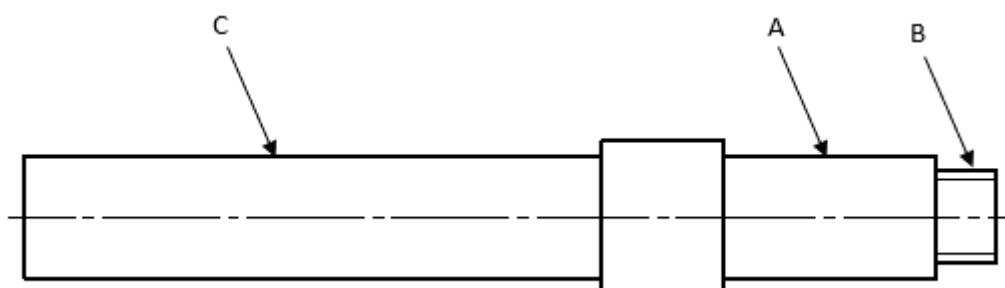


Figura 7. Esquema do veio

Para garantir esse afastamento, foi torneado um veio a partir de um varão com 10 mm de diâmetro, e foram rebaixadas as duas extremidades até 8 mm, para permitir a montagem dos rolamentos e ter uma face de encosto que os localiza axialmente. A extremidade traseira do veio (C) necessita apenas de ter o comprimento suficiente para poder ser apertado na bucha do berbequim usado como motor, pelo que lhe foi atribuído um comprimento de 38 mm.

Na extremidade que entra no corpo da bomba (A) foi usado o programa *SolidWorks* para determinar o seu comprimento ideal, tendo em conta a geometria da mesma, que acabou por ser 14 mm.

Na ponta desta extremidade do eixo, foi torneado um diâmetro de 6 mm (B) que foi posteriormente roscado com uma rosca M6, que permite fixar o rotor, bem como ter uma face de

encosto que localiza axialmente o mesmo. O comprimento da rosca usado foi determinado pelo uso de uma porca M6 colada no rotor como modo de fixação, visto a porca ter uma espessura de 5 mm, e seja desejado que a face do veio encoste na superfície da porca, foi atribuído um comprimento de rosca de 4 mm, para que essa condição seja garantida. De notar também que para facilitar a montagem dos rolamentos os diâmetros de 8 mm do veio, foram rebaixados em 0,05 mm até à zona de montagem do rolamento, e as arestas formadas entre os diâmetros de montagem e as faces de encosto foram eliminadas com um pequeno corte de sangramento.

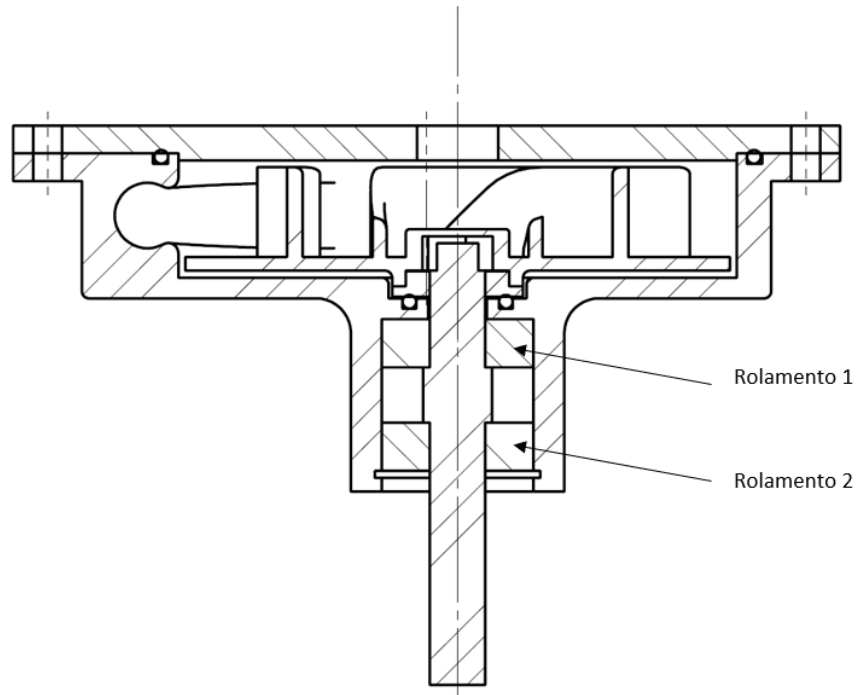


Figura 8. Representação do veio no corpo da bomba

Este veio foi maquinado num OPTItorn TU 2406V, em casa de um dos elementos do grupo. De notar que os cálculos necessários ao torneamento do veio foram dispensados, uma vez que este se trata de uma peça com uma geometria relativamente simples e que não terá dificuldade a resistir aos esforços solicitados.

1.5.1. Cálculo de tolerâncias do veio

O rolamento 1 necessita de entrar com aperto, logo, foi-lhe atribuída uma folga mínima negativa arbitrária de $0,015\text{ mm}$ e sabe-se que o rolamento tem a dimensão: $8_{-0,008}^0\text{ mm}$

Assim:

$$\begin{aligned}F_{min} &= F_{uro_{min}} - Veio_{max} \\-0,015\text{ mm} &= 7,992\text{ mm} - Veio_{max} \\Veio_{max} &= 8,007\text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{max} &= F_{uro_{max}} - Veio_{min} \\0 &= 8,000\text{ mm} - Veio_{min} \\Veio_{min} &= 8,000\text{ mm}\end{aligned}$$

Logo, tem-se uma dimensão do veio de $8_0^{+0,007}$, o que corresponde a um grau de tolerância IT6, o que será difícil e dispendioso de obter por torneamento. Posto isto, optou-se por aumentar a tolerância para IT7 e normalizar a mesma à posição mais próxima, pelo que esta dimensão será: $8k7 = 8_{+0,001}^{+0,016}\text{ mm}$

Para o rolamento 2 que necessita de folga, tem-se uma folga mínima atribuída de 0, assim:

$$\begin{aligned}F_{min} &= F_{uro_{min}} - Veio_{max} \\0 &= 7,992\text{ mm} - Veio_{max} \\Veio_{max} &= 7.992\text{ mm}\end{aligned}$$

Usando o grau de tolerância de IT7 novamente, tem-se que a dimensão desta parte do veio será de $8_{-0,022}^{0,008}\text{ mm}$, o que corresponde exatamente a 8fg7.

As tolerâncias do tipo dos rolamentos utilizados no veio encontra-se no anexo C.

1.6. Corpo da bomba

O dimensionamento mais cuidado neste componente foi realizado no furo traseiro, onde ficam alojados os rolamentos. Para fixar axialmente a montagem de rolamentos e veio, um dos rolamentos tem de ser montado com aperto. Deste modo, escolheu-se o rolamento 1, visto que este é aquele que facilita a montagem e desmontagem da bomba, caso seja necessário substituir componentes. O rolamento 2 entra com folga para permitir a sua fácil montagem e desmontagem, tendo, assim, o furo de ter dois diâmetros, com a mesma cota nominal, mas tolerâncias diferentes.

Essas tolerâncias foram calculadas da seguinte maneira:

Sabe-se que o diâmetro exterior do rolamento tem a dimensão de $22_{-0,009}^0\text{ mm}$

Assim, usando o grau de tolerância IT7:

Para o rolamento 1 e usando uma folga mínima negativa de $0,021\text{ mm}$, tem-se que

$$F_{min} = F_{uro_{min}} - Veio_{max}$$

$$-0,021 = Furo_{min} - 22,000 \text{ mm}$$

$$Furo_{min} = 21,979 \text{ mm}$$

$$F_{max} = Furo_{max} - Veio_{min}$$

$$0 = Furo_{max} - 21,991 \text{ mm}$$

$$Furo_{max} = 21,991 \text{ mm}$$

Assim, o furo para o rolamento 1 teria uma cota de $22_{-0,021}^{-0,009} \text{ mm}$, o que corresponde a um grau de tolerância ligeiramente abaixo de IT6. Ajustando para IT7 e normalizando a tolerância, escolheu-se usar a cota $22N7 = 22_{-0,028}^{-0,007} \text{ mm}$.

Para o rolamento 2,

$$F_{min} = Furo_{min} - Veio_{max}$$

$$0 = Furo_{min} - 22,000 \text{ mm}$$

$$Furo_{min} = 22,000 \text{ mm}$$

Usando IT7, tem-se a cota $22H7 = 22_0^{0,021} \text{ mm}$.

Esta cota será usada até à profundidade do rolamento 1 para facilitar a sua montagem.

As tolerâncias do tipo dos rolamentos utilizados na bomba encontra-se no anexo C.

1.7. Tampa

A tampa é feita de acrílico e é maquinada com recurso a uma máquina CNC *Haas Super Mini Mill 2*.

É unida ao corpo da bomba com recurso a 6 ligações aparafusadas. Optou-se por 6 furos de forma que o aperto estivesse bem distribuído por toda a superfície. Desta forma, garante-se que todo o o-ring está em contacto com a tampa e que a bomba fica bem vedada.

É possível encontrar o código G utilizado para a maquinação da tampa na pasta do trabalho, que foi entregue com os restantes ficheiros.

A tampa tem um furo central que serve para se colocar uma espiga de ligação para a mangueira por onde será admitido a água.

1.8. Estanquicidade

De forma a garantir a estanquicidade da bomba, foram identificadas as zonas por onde a passagem indesejada de água poderia ocorrer com o objetivo de as vedar.

A solução encontrada foi a colocação de o-rings (anéis de vedação) nas juntas. De forma que o o-ring sele bem o corpo da bomba, a caixa onde este se situa tem uma altura inferior ao diâmetro da secção do anel de maneira que este esteja em contacto com ambas as peças.

Para aumentar o tempo de vida dos o-rings, a largura da caixa é superior ao diâmetro da secção do anel. Desta forma, a deformação ocorre de forma relativamente mais consistente.

1.9. Otimização do Funcionamento

De forma a evitar oscilação e consequentes vibrações, é necessário que a base do rotor esteja paralela à face do corpo da bomba. De forma a garantir que o veio fique perpendicular ao rotor, é necessário que a porca não seja montada com inclinação. Assim, fabricou-se um acessório para auxiliar a colagem da porca dentro do rotor, como se pode verificar na seguinte figura.



Figura 9. Procedimento de montagem de colagem

A superfície inferior do rotor não está diretamente em contacto com a superfície da bomba. Esta decisão de projeto prende-se a dois objetivos. Por um lado, diminui o atrito entre o rotor e o corpo da bomba e por outro obriga a que o rotor esteja em contacto com o o-ring pequeno, possibilitando que a bomba esteja corretamente vedada. Para além disso, decidiu-se adicionar um casquilho de PTFE ao rotor para que haja menos atrito com o o-ring. O PTFE é um material com um fator de atrito menor que o plástico PLA utilizado na impressão 3D, e muito mais resistente.



Figura 10. Casquilho montado no rotor

1.10. Análise de Custos

Os custos estimados na produção da bomba hidráulica apresentam-se nas tabelas que se seguem, onde também se podem verificar descrições, quantidades e preços unitários de cada elemento necessário à sua montagem e fabrico.

Tabela 1. Custos associados aos materiais da bomba

Custo Materiais				
Nome	Descrição	Quantidade	Preço unitário	Total
Veio	\varnothing 10 mm	1 uni.	0,10€	0,10€
Parafusos	M4	6 uni.	0,28€	1,68€
Anilhas	M4	12 uni.	0,12€	1,44€
Porcas da tampa	M4	6 uni.	0,12€	0,72€
Porca veio	M6	1 uni.	0,10€	0,10€
O-ring do veio	\varnothing_{int} 12 mm $\varnothing_{seção}$ 2 mm	1 uni.	0,56€	0,56€
O-ring da tampa	\varnothing_{int} 84 mm $\varnothing_{seção}$ 2 mm	1 uni.	2,56€	2,56€
Espiga ligação	\varnothing_{ext} 12 mm	1 uni.	0,25€	0,25€
Casquilho de selo	\varnothing_{ext} 19 mm	1 uni.	0,10€	0,10€
Rolamentos 608	\varnothing_{int} 8 mm	2 uni.	2,31€	4,62€
Tubo de apoio	\varnothing_{int} 22 mm	1 uni.	0,15€	0,15€
Filamento 3D	PLA		1,77€	1,77€
Tampa	Acrílico 140x140x10 mm	1 uni.	2€	2€

O custo do filamento 3D diz respeito a todo o material impresso através deste processo, tendo em conta as características do filamento utilizado em cada peça. Este processo foi necessário para a produção do corpo da bomba e do rotor.

De notar que a peça utilizada na montagem dos rolamentos (tubo de apoio) foi apenas utilizada para facilitar a montagem dos mesmos. Na realidade, o grupo não recomenda que esta peça seja contabilizada no projeto da bomba.

Tabela 2. Custos associados ao fabrico da bomba

Processo	Máquina	Potência	Tempo de fabrico	Total
Maquinação do veio	OPTItorn TU2406V	1,1 kW	0,15 h	0.03€
Maquinação da tampa	Haas Super Mini Mill 2	11,2 kW	0,67h	1.13€
Maquinação da espiga de ligação	OPTItorn TU2406V	1,1 kW	0,1 h	0.02€
Impressão do corpo da bomba	Creality Ender3	125 W	12 h	0.23€
Impressão do rotor	Creality Ender3	125 W	2 h	0.04€

O custo total do projeto fica, assim, em 15,50 €.

2. Montagem dos Componentes

Durante a montagem de rolamentos é necessário que não sejam aplicadas forças que sejam transferidas para as suas esferas, daí, em montagens com aperto, ser necessário aplicar a força para montagem apenas no anel a ser instalado (isto é, no anel interior no caso da montagem no veio, e no anel exterior no caso da montagem no corpo da bomba). Surge, assim, a necessidade de projetar os componentes de modo a permitir a sua montagem seguindo esta regra, visto ter sido considerado necessário usar aperto na sua montagem, porque permite localizar os rolamentos e o veio axialmente.

Assim, monta-se inicialmente o rolamento 1 no veio, visto este ser montado com aperto. Em seguida, instala-se o conjunto do veio com o rolamento no corpo da bomba, este ajustamento também com aperto, o que permite localizar axialmente o veio. De notar que o furo de passagem para o veio no corpo da bomba deve ter um diâmetro suficiente para permitir a desmontagem do rolamento para a sua substituição caso seja necessário. Se o furo de passagem do veio tiver um diâmetro muito próximo do diâmetro do veio, será muito difícil ter acesso à superfície do rolamento, onde seria necessário aplicar força para o desmontar, visto não existir espaço para o retirar usando uma ferramenta que entre pelo furo por onde o rolamento entrou.

Em seguida, instala-se o rolamento 2 no veio e no corpo da bomba. Este rolamento tem apenas como função o suporte radial do veio, para prevenir desalinhamentos e movimentos indesejados que poderiam surgir do uso de apenas um rolamento. Para possibilitar a sua eventual desmontagem, este rolamento tem um ajustamento deslizante justo com o veio e o corpo da bomba, daí ser necessário o uso de um freio para a sua localização axial.



Figura 11. Veio, freio, rolamento 2, tubo e rolamento 1

Posteriormente, já dentro do corpo da bomba, é instalado um o-ring como vedante, para prevenção da saída de água pelo furo de passagem do veio e o rotor é enroscado no mesmo. No projeto do rotor, foi tido em atenção que o sentido de rotação do veio deve ser no mesmo sentido em que a rosca do rotor aperta no veio. Deste modo, foi usada uma rosca direita para fixação do rotor. Alguns problemas que poderiam surgir seriam uma desconcentricidade entre o veio e o rotor (visto que uma ligação roscada não é a opção ideal para garantir a concentricidade de

componentes), ou a falta de perpendicularidade da superfície inferior do rotor com o veio, resultante do enviesamento inerente a uma ligação roscada, ou a uma montagem incorreta do inserto roscado no rotor. Ambos estes problemas resultariam em vibrações indesejadas e possíveis interferências de componentes, que reduziriam bastante a durabilidade e eficiência da bomba.

Como solução a estes possíveis problemas, foi projetado um casquilho de plástico que seria colado no rotor, teria um furo com um ajustamento deslizante justo com o veio, e desempenharia a mesma função de uma cavilha de localização que garante a concentricidade entre o veio e o rotor. Também pela sua espessura, evitaria os efeitos causados pelo enviesamento da ligação roscada. Este casquilho teria também a função de superfície de contacto com o o-ring de vedação instalado anteriormente, visto ser possível utilizar para o seu fabrico um plástico de baixo coeficiente de atrito e com um acabamento superficial muito melhor do que o obtido por impressão 3D, que aumentaria a eficácia e duração da vedação.

A espiga de ligação para a mangueira é posteriormente colada na tampa.

Por fim, é instalado o o-ring de vedação da tampa e esta é aparafusada ao corpo da bomba usando 6 parafusos M4x16 de INOX 304, para resistência à corrosão, visto que a bomba trabalha sempre em proximidade com um meio corrosivo como a água.



Figura 12. Montagem final da bomba de água

3. Iterações

3.1. Primeiro teste, 5 L/min

Após cumprir todos os parâmetros exigidos pelo enunciado, verificou-se que o caudal apresentava apenas um valor de 5 L/min, muito aquém do pretendido.

Visto não existirem perdas de água pelos locais esperados, colocou-se a hipótese do problema se encontrar na geometria do rotor.

Decidiu-se, então, produzir uma nova versão do rotor, desta vez com 5 pás, sendo estas retas e com um ângulo maior com a velocidade tangencial do rotor.

3.2. Segundo teste: 15 L/min

Com um novo rotor, alcançou-se um resultado máximo de 15 L/min. Para além disto, reparou-se que, tal como no caso anterior, depois da bomba se encontrar completamente ferrada, o caudal apresentava valores bastante satisfatórios nos primeiros segundos de funcionamento da bomba, acabando este por diminuir bastante de um instante para o outro.

Uma vez que este fenómeno se verificou com ambos os rotores, concluiu-se que a causa para este efeito estaria relacionada com outro fator.

3.3. Terceiro teste: 21 L/min

O terceiro ensaio foi idêntico ao segundo em todos os aspetos, com a exceção da bomba ter ficado inteiramente submersa. Desta forma, o caudal permaneceu constante durante todo o teste com um valor igual a 21 L/min, cumprindo o objetivo do projeto.

3.4. Permeabilidade do corpo da bomba

Depois dos testes, reparou-se num acontecimento curioso. Enquanto o corpo da bomba aparentava estar seco, quando este estava pousado numa superfície durante algum tempo, esta ficava molhada. Mesmo após se secar a bomba várias vezes, apareciam sempre vestígios de água onde a bomba estava pousada. Experimentou-se soprar ar comprimido sobre o corpo da bomba que estava seco e imediatamente viu-se água a sair do mesmo. Chegou-se assim à conclusão de que o corpo da bomba é permeável.

Durante os ensaios, caso a bomba não estivesse completamente submersa, quando começava a trabalhar acabava por entrar ar para o interior da bomba. A partir de um certo instante, a bomba tinha ar suficiente para deixar de estar completamente ferrada, diminuindo bastante o seu caudal.

Assim, de forma a corrigir este problema, considera-se que a solução poderá passar por imprimir outro corpo da bomba, mas com parâmetros diferentes àqueles utilizados anteriormente na sua impressão 3D, como, por exemplo, ter uma resolução e temperatura superiores.

Visto que na melhor das hipóteses a bomba tem um caudal de 21 L/min e que é necessário imprimir uma nova bomba, optou-se por aumentar a altura do rotor para 13 mm, de forma a aumentar o fator de segurança do projeto.

Conclusão

Findo o projeto por parte do grupo, conclui-se que os objetivos inicialmente propostos foram cumpridos. Os elementos do grupo saíram a ganhar com os conhecimentos que adquiriram no desenvolvimento de um dispositivo mecânico, desde o seu projeto inicial ao seu fabrico e testagem. As especificações do enunciado também foram alcançadas, tendo-se elevado um caudal de água de 21 L/min a uma altura de $0,6 \text{ m}$ com sucesso.

Durante o trabalho foi possível dar utilização aos conhecimentos lecionados nesta UC sobre *Flow Simulation* através do programa *SolidWorks*, que foi uma ferramenta útil no desenvolvimento do trabalho, apesar dos valores apresentados não corresponderem totalmente à realidade. A parte experimental torna-se, portanto, algo valioso para o desenvolvimento do projeto. Como se pôde comprovar, esta fase possibilita a apresentação de bastantes pormenores que não foram sequer imaginados durante a fase de projeto, nomeadamente, o facto de se ter produzido um corpo de uma bomba permeável, apesar de a mesma ter ficado bem selada.

O desenvolvimento deste projeto foi prazeroso por parte dos elementos do grupo, devido à natureza prática do objetivo do trabalho. O conhecimento e as competências adquiridas no decorrer deste trabalho foram também preciosos para o desenvolvimento dos elementos do grupo enquanto futuros Engenheiros.

Bibliografia

[1] Igor J Karassik,Knovel (Firm) - Pump handbook-McGraw-Hill (2008)

[2] L. Gil, "Bombas Hidráulicas.", 2021.

Anexos

Anexo A. Dados gerais do rolamento



**ROLAMENTO DE ESFERAS DIN626, DE UMA FILEIRA
COM GAIOLA, D=8, D1=22, B=7, AÇO INOXIDÁVEL
1.4125, COMP:AÇO INOXIDÁVEL**


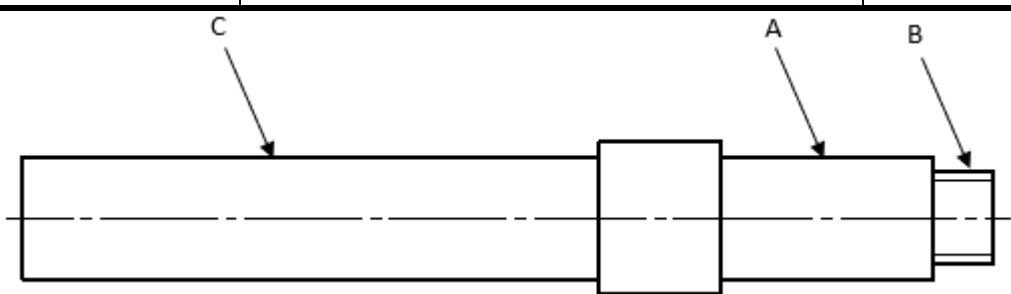
Código do artigo 23800-01-100802207

D=Diâmetro interno	8
D1=Diâmetro externo	22
B=Largura	7
T1=Capacidades de carga dinâmi	3320
T2=Capacidades de carga estáti	1380
U=Limite de rotação Rpm	26000

2,31 €

[mais detalhes](#)

Anexo B. Maquinação do veio

			Plano de Processo		Designação:		
Desenho:							
Material: Aço. Veio calibrado 10mm com 90 mm de comprimento			Equipamento: Torno OPTItorn TU2406V			Quantidade: 1	
							
Duração:			Observações:				
Setup	Nº Op	Máq.	Instruções	Parâmetros/ Ferramenta	Fixação	Observações	
1	N010	Serrote mecânico	Cortar comprimento de 91mm	Fita de serra	Prensa mecânica		
2	N020	Torno	Facejar	Avanço manual Ferramenta: Buril HSS	Bucha 3 grampos		
	N030	Torno	Fixar a peça. Tornear A (3 passagens p=0.25mm). Deixar sobreespessura diametral de 0.5mm para acabamento	v= 50 m/min a=0.1 mm/rot p=0.25 mm Ferramenta: Buril HSS	Bucha 3 grampos		
	N040	Torno	Operação de acabamento relativa a A	v= 60 m/min a=0.1 mm/rot p=0.125 mm Ferramenta: Buril HSS	Bucha 3 grampos	Quebrar arestas vivas com uma lima	
	N050	Torno	Tornear B (3 passagens p=0.25mm). Deixar sobreespessura diametral de	v= 50 m/min a=0.1 mm/rot p=0.25 mm Ferramenta: Buril HSS	Bucha 3 grampos		

			0.5mm para acabamento			
	N060	Torno	Operação de acabamento relativa a B	v= 60 m/min a=0.1 mm/rot p=0.125 mm Ferramenta: Buril HSS	Bucha 3 grampos	Quebrar arestas vivas com uma lima
	N070	Torno	Roscar B M6	Caçonete M6	Bucha 3 grampos e desandador montado no contraponto	
	N080	-	Virar a peça. Fixar a peça.	-		
3	N090	Torno	Facejar até ao comprimento total desejado	Avanço manual Ferramenta: Buril HSS	Bucha 3 grampos	
	N100	Torno	Fixar a peça. Tornear C (7 passagens p=0.25 mm). Deixar sobreespessura radial de 0.5mm para acabamento	v= 50 m/min a=0.1 mm/rot p=0.25 mm Ferramenta: Buril HSS	Bucha 3 grampos	
	N110	Torno	Operação de acabamento relativa a C	v= 60 m/min a=0.1 mm/rot p=0.125 mm Ferramenta: Buril HSS	Bucha 3 grampos	Quebrar arestas vivas com uma lima

Anexo C. Tolerâncias dos rolamentos

Nominal Outside Diameter D (mm)		Normal	
over	incl.	high	low
2.5 ⁽¹⁾	6	0	- 8
6	18	0	- 8
18	30	0	- 9
30	50	0	- 11
50	80	0	- 13
80	120	0	- 15
120	150	0	- 18
150	180	0	- 25
180	250	0	- 30
250	315	0	- 35
315	400	0	- 40
400	500	0	- 45
500	630	0	- 50
630	800	0	- 75
800	1 000	0	-100
1 000	1 250	0	-125
1 250	1 600	0	-160
1 600	2 000	0	-200
2 000	2 500	0	-250

Nominal Bore Diameter d (mm)		Normal	
over	incl.	high	low
0.6 ⁽¹⁾	2.5	0	- 8
2.5	10	0	- 8
10	18	0	- 8
18	30	0	- 10
30	50	0	- 12
50	80	0	- 15
80	120	0	- 20
120	150	0	- 25
150	180	0	- 25
180	250	0	- 30
250	315	0	- 35
315	400	0	- 40
400	500	0	- 45
500	630	0	- 50
630	800	0	- 75
800	1 000	0	-100
1 000	1 250	0	-125
1 250	1 600	0	-160
1 600	2 000	0	-200