



**GIOVANNA CABRAL COSTA E SILVA
JOÃO PEDRO MENDONÇA BARBOSA
TÚLIO DE PAULO CORRÊA
VICTOR AUGUSTO RODRIGUES ESTEVES
WESLEY JOSÉ DE OLIVEIRA**

BOMBA D'ÁGUA ACIONADA POR UMA RODA D'ÁGUA

**ARCOS
2018**

**GIOVANNA CABRAL COSTA E SILVA
JOÃO PEDRO MENDONÇA BARBOSA
TÚLIO DE PAULO CORRÊA
VICTOR AUGUSTO RODRIGUES ESTEVES
WESLEY JOSÉ DE OLIVEIRA**

BOMBA D'ÁGUA ACIONADA POR UMA RODA D'ÁGUA

Relatório apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG, referente ao Trabalho Acadêmico Integrador, como requisito parcial para aprovação em todas as disciplinas ministradas no 3º período do curso de Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Márcio Rezende Santos

RESUMO

No início da agricultura o homem precisou desenvolver diversas tecnologias para suprir a necessidade de bombeamento de água, sendo que essas tecnologias sempre buscaram métodos de irrigação que apresentassem grande eficiência aliada à redução nos custos de produção e consumo de água e energia. Assim, esse projeto tem o intuito de construir e analisar um equipamento capaz de transportar água para irrigação de plantações ou abastecimento de reservatórios, desenvolvendo uma bomba d'água acionada por uma roda d'água. O equipamento é constituído por uma bomba a pistão acoplada a uma roda d'água sobre axial apoiada em um cavalete que o fixa ao solo. Com a pressão da água a roda inicia seu movimento circular em seu eixo que está conectado a um mecanismo, que transforma o movimento rotativo gerado pela roda em movimento linear, que por estar conectado ao pistão da bomba o mesmo é acionado iniciando seu funcionamento. A fonte de água utilizada para os experimentos e os cálculos foi a água canalizada de uma torneira prolongada por uma mangueira. Os resultados obtidos permitiram verificar a viabilidade da utilização do equipamento em propriedades de pequeno porte que disponham de uma fonte de água e que não possuam acesso à energia elétrica ou procurem meios alternativos de redução do consumo de energia, utilizando para sua construção materiais de fácil acesso e baixo custo, mantendo um desempenho satisfatório em comparação com os equipamentos semelhantes encontrados no mercado.

Palavras-chave: Roda d'água. Bomba d'água. Água.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bomba d'água da marca ZM	11
Figura 2 – Bomba d'água da marca Rochfer	12
Figura 3 – Custo dos materiais	13
Figura 4 – Representação da perspectiva da roda	17
Figura 5 – Volume de controle	20
Figura 6 – Diagrama de corpo livre do cavalete	24
Figura 7 – Modelagem no SolidWorks	25
Figura 8 – Construção do cavalete	26
Figura 9 – Protótipo finalizado	26

LISTA DE SÍMBOLOS

λ	Comprimento de onda
g	Gravidade
v	Volume
V_i	Velocidade inicial
V_f	Velocidade final
V_l	Velocidade linear
F	Força
F_a	Força da água
P	Peso da estrutura completa
f	Frequência
ρ	Massa específica/Densidade
τ	Torque
α	Aceleração Angular
ω_f	Velocidade Angular Final
ω_i	Velocidade Angular Inicial
t	Tempo
h	Altura
r	Raio
Q	Vazão
Q_i	Vazão inicial
Q_f	Vazão final
S	Área da seção transversal
d	Diâmetro
D	Distância
$\sum F$	Somatório de forças

$\sum M$ Somatório de momento

T Período

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Justificativa	8
1.2	Restrições	8
1.3	Objetivo Geral	8
1.4	Objetivo Específico	9
1.5	Fatores de Sucesso	9
1.6	Gestão do Projeto	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Roda D'água	10
2.1.1	Roda sobre axial	10
2.1.2	Roda sob axial	10
2.1.3	Funcionamento da roda	10
2.2	Produtos Semelhantes Encontrados no Mercado	11
3	METODOLOGIA	13
3.1	Materiais Utilizados	13
3.1.1	Corpo rombudo	14
3.1.2	Roda	14
3.1.3	Eixo	14
3.1.4	Cavalete	16
3.2	Geometria do Corpo Rombudo	17
3.3	Cálculo do Volume do Corpo Rombudo	17
3.4	Cálculo da Vazão Disponível	19
3.5	Força da Água no Volume de Controle	20
3.6	Frequência e Período	21
3.7	Velocidade Linear da Roda D'água	22
3.8	Velocidade Angular da Roda D'água	22
3.9	Força Feita na Roda	22
3.10	Peso do Protótipo	23
3.11	Determinação da Menor Distância Entre os Pés da Estrutura	23
3.12	Finalização da Construção do Protótipo	25
4	RESULTADOS	27
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	28

REFERÊNCIAS	29
APÊNDICE A – CRONOGRAMA	30

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos vêm sendo utilizados com uma extrema importância, sendo aprimorados conforme o avanço tecnológico no mundo. Dos diversos equipamentos que utilizavam os recursos hídricos, a roda d'água foi fundamental para substituir o trabalho feito por humanos e animais na realização de algumas tarefas. Por sua grande utilidade, a roda d'água se tornou um dispositivo mecânico muito utilizado podendo gerar energia através de seu movimento circular realizado pela força da água em suas pás (BRITANNICA, 2018).

A bomba hidráulica surgiu devido a necessidade de irrigação na produção de alimentos na agricultura em um ambiente familiar, e em seguida em maior escala. Os primeiros registros de irrigação são de 1500 a.C., quando os egípcios transportavam água em potes para suprir as necessidades agrícolas. Ao longo do tempo tais práticas foram aprimoradas, surgindo equipamentos como a máquina de elevação de água, a picota e o sarilho, usado para elevar um balde, onde era acionado por uma manivela que elevava o balde através de cordas (AQUINO, 2013).

O aprimoramento de bombas hidráulicas surgiu devido a necessidade de transportar água para locais onde seu fornecimento era escasso ou inexistente, assim sendo mais eficazes em fornecer água nos locais com a demanda (AQUINO, 2013).

1.1 JUSTIFICATIVA

Devido ao avanço tecnológico, as máquinas elétricas realizam trabalhos, do mais leve ao mais intenso, criando uma dependência de energia elétrica (PATERNIANI et al., 2005). Assim, o grupo buscou por máquinas que utilizassem métodos alternativos para a realização de trabalho, e que dispensam o uso da energia elétrica.

1.2 RESTRIÇÕES

O protótipo será desenvolvido para uso externo como irrigação de pequenas plantações e pequenas criações de animais, sendo necessário um alto volume de água e um bombeamento constante.

1.3 OBJETIVO GERAL

O intuito do projeto é desenvolver uma bomba d'água acionada por uma roda d'água, utilizando materiais alternativos de baixo custo, tendo um bom custo-benefício em comparação

aos produtos similares encontrados no mercado. Como o TAI III e IV são complementares o grupo optou por dividir o projeto em duas partes, sendo a primeira parte a construção de uma roda d'água e o cavalete no qual está apoiada, e na segunda será desenvolvida a bomba d'água e os acoplamentos necessários para interligá-la à roda.

1.4 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Compreender a composição química definindo os materiais necessários.
- Construir o protótipo de uma roda d'água sobre axial.
- Dividir as tarefas necessárias para o projeto a longo prazo e gerir os processos.

1.5 FATORES DE SUCESSO

O sucesso desejado pelo grupo é conseguir elaborar um protótipo com um custo-benefício equivalente ou maior ao encontrado no mercado, onde mesmo que tenha um desempenho inferior aos produtos encontrados no mercado, mas que quando comparado com o custo, seu desempenho se torna satisfatório.

1.6 GESTÃO DO PROJETO

O grupo teve como representante o integrante Wesley Oliveira. Apesar disso não havia um líder no grupo, pois a responsabilidade de gerenciar o projeto foi dividida igualmente entre os integrantes, responsabilizando todos pelo desenvolvimento do trabalho. Assim as tarefas foram divididas igualmente entre os integrantes do grupo à medida que elas se tornaram necessária.

Para auxiliar o gerenciamento do trabalho e maximizar o tempo, os integrantes do grupo desenvolveram um cronograma que se encontra no apêndice A, distribuindo as tarefas que devem ser realizadas ao longo dos próximos dois períodos (3º e 4º período). Assim os integrantes podem acompanhar o progresso enquanto controlam o tempo restante para o resto das tarefas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RODA D'ÁGUA

A roda d'água é um equipamento circular com pás acopladas nas suas bordas, nas quais ao entrar em contato com a pressão da água produz força motriz no eixo central, o qual é fixo em seu centro, onde a roda d'água fornece energia mecânica. Existem dois modelos diferentes de roda d'água, a sobre axial e a sub axial, mas neste trabalho será utilizada apenas a sobre axial.

2.1.1 Roda sobre axial

As rodas sobre axiais são aquelas caracterizadas por possuírem reservatórios de pequeno porte fixados diagonalmente na mesma. A água é prioritariamente conduzida por um canal ou tubulação até a parte superior da roda, assim enchendo os reservatórios situados na parte alta da roda, isso gera um gradiente de peso entre as partes superiores e inferiores, iniciando o movimento da roda. O princípio dessa roda é extrair principalmente a potencial da água, usando do seu deslocamento do ponto superior para o inferior (SANTOS, 2011).

2.1.2 Roda sob axial

As rodas sob axial tem como maior diferença a água passando sob seu eixo, sendo que este possui aletas em contato com a água que passa, extraindo principalmente a energia cinética, aproveitando a velocidade da água (SANTOS, 2011).

2.1.3 Funcionamento da roda

O movimento circular da roda é transformado em movimento retilíneo, onde por meio de um acoplamento na extremidade do eixo de transmissão da roda d'água nos comandos de uma biela e um pistão correspondente da bomba (MELLO; PEREIRA, 2017).

Durante seu funcionamento ele gera um movimento alternado do pistão, em sentido de deslocamento, onde cria-se uma depressão (vácuo) abrindo a válvula de sucção do fluido, permitindo a entrada de água no cilindro devido à pressão atmosférica do reservatório, no segundo ciclo do pistão pelo seu movimento, força a abertura da válvula de descarga do fluido para fora do cilindro contra a pressão resultante da carga (MELLO; PEREIRA, 2017).

O acionamento da roda d'água pode ser feita pelas formas:

- Água impulsionando a roda, caindo sobre a mesma, onde essa situação é mais comum e eficiente, onde a bica ou calha devem ter dimensão e inclinação adequadas para que a água

caia suavemente, sobre a roda.

- A água impulsionando a roda, passando por baixo, onde é utilizado esse meio, quando a queda de água por cima não pode ser utilizada para acionar a roda.

2.2 PRODUTOS SEMELHANTES ENCONTRADOS NO MERCADO

A bomba d'água acionada por roda d'água não é uma novidade no mercado. Há duas marcas bem consolidadas neste comércio, com uma grande variedade de modelos para atender diferentes necessidades do consumidor. Devido à abundância de fonte de água no território brasileiro, e a alta quantidade de propriedades rurais de pequeno porte, a demanda por este produto é constante, assim como a manutenção do mesmo.

Figura 1 – Bomba d'água da marca ZM



Fonte: (BOMBAS..., 2018)

Da ZM, a bomba cujas dimensões mais se assemelham ao do protótipo é o modelo Bomba Zm-44 Maxxi, que pode ser visto na Figura 1. O modelo é vendido atualmente por 3.500,00 reais, e tem a capacidade bombear 8.600 litros por dia, a uma altura de 150 m (BOMBAS..., 2018).

Figura 2 – Bomba d'água da marca Rochfer



Fonte: (MS..., 2018)

O modelo da Rochfer cujas dimensões mais se assemelham ao do protótipo é o modelo Bomba MS Ultra 42, que pode ser visto na Figura 2. O modelo é vendido atualmente por 4.000,00 reais, e tem a capacidade bombear 8.800 litros por dia, a uma altura de 135 m (MS..., 2018).

Futuramente, quando a segunda parte deste projeto estiver concluída, será feita uma comparação de custo-benefício entre os produtos das duas marcas e o protótipo desenvolvido.

3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Foi pré-estabelecido um orçamento de 70 reais para a compra de materiais a serem utilizados na construção do protótipo, com base na tabela de gastos do projeto realizado por SANTOS, 2011. Sendo que, para a realização da construção do protótipo foram utilizados os materiais presentes na tabela de custos do protótipo da figura 3.

Figura 3 – Custo dos materiais

TABELA DE CUSTOS DO PROTÓTIPO		
Material	Quantidade (UN)	Preço
Roda de plástico Aro 12	1	R\$ 36,00
Rolamento	2	R\$ 10,00
Madeira	5,5m	R\$ 35,00
Parafuso sextavado rosca 5\16*70	20	R\$ 6,00
Parafuso fenda s/porca 1/8*11/2"	12	R\$ 0,96
Tinta	1	R\$ 13,50
Broca chata	1	R\$ 6,00
Barra rosqueada	1m	R\$ 7,50
Abraçadeira "U"	2	R\$ 1,10
Verniz	1	R\$ 13,50
Lata de alumínio	8	R\$ 5,00
Porca	8	R\$ 1,20
TOTAL		R\$ 135,76

Fonte: Próprios autores

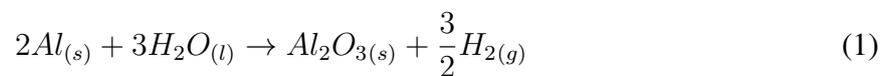
Assim, chegamos a um total de gastos de 135,76 reais, extrapolando o orçamento pre-estabelecido, por isso procuramos meios de diminuir os gastos, dando preferência por reciclar materiais quando possível.

Então, ao invés de pagar pelo alumínio para fazer o corpo rombudo, foram utilizadas latas de alumínio. E foi resgatado uma roda de bicicleta que já havia sido descartada. Assim retirados os dois gastos presentes na tabela, resultou em um gasto final de 94,76 reais.

Os materiais selecionados para a construção do protótipo podem ser classificados sendo metais, como o alumínio e o ferro, ou polímeros, como a madeira e o plástico. Mas para saber a viabilidade da utilização desses materiais é necessária uma análise mais profunda para cada um deles.

3.1.1 Corpo rombudo

Por estar em contato direto e constante com grande volume de água o grupo decidiu utilizar um material que não sofresse grande degradação devido a este contato, por isso optou-se por utilizar o alumínio para fazer o corpo rombudo. A escolha do alumínio deve-se ao fato de que não há nenhuma reação de desprendimento de hidrogênio ao colocar a substância em contato com a água, pois ao reagir com a água o alumínio é recoberto por uma fina camada de óxido que impede que essa reação prossiga para o resto do material (SILVA; MOREIRA, 2014). Essa reação pode ser observada na equação 1.



Então foi resgatado latas de alumínio que seriam descartadas, visando suas propriedades, para utilizar como corpo rombudo.

3.1.2 Roda

A roda de plástico PA 6.6 é um termoplástico (semicristalino) composto por monômeros de amida (CONH) conectados por ligações peptídicas, que foi sintetizada em 1935 (RODA, 2010).

As peças fabricadas com PA 6.6, são as mais utilizadas na engenharia devido a suas propriedades mecânicas. Sendo resistente a deformação por calor, força, rígida, e tendo boa tenacidade, resistência e processabilidade. Caso necessário há a possibilidade de acrescentar fibras e esferas de vidro para reforçá-la, aumentando sua resistência mecânica (RODA, 2010).

Devido a suas propriedades mecânicas, por não sofrer oxidação e sua resistência a corrosão, sua manutenção ou substituição dessa peça não será necessária, o que a torna excelente para utilizar no protótipo (RODA, 2010).

3.1.3 Eixo

Para fazer o eixo foi escolhido uma barra rosqueada feita de aço, que é uma liga ferro-carbono que tem como maior constituinte o ferro, sendo assim uma liga ferrosa, mas contendo também outros elementos em menor quantidade. Como características físicas as ligas ferrosas têm massa específica relativamente alta e apresentam alta susceptibilidade à corrosão em ambientes comuns (CALLISTER, 2016). Apesar de não ser uma parte da roda d'água que necessita entrar em contato com água, é inevitável que isso aconteça.

É muito comum visualizar a deterioração de uma peça de ferro, sendo visível a reação de corrosão do objeto, e isso ocorre devido ao contato do ferro com o oxigênio presentes no ar e na água, sendo um fenômeno muito conhecido como oxidação.

A reação ocorre devido a oxirredução, que é quando há a transferência de elétrons entre os átomos presentes. O agente oxidante é a substância que reduz, aquela recebendo eletros, e o agente redutor é a substância que oxida, aquela que perde elétrons, sendo processos dependentes. No trabalho o agente redutor é o eixo de ferro (PEDROLO, 2014).

A oxidação do ferro metálico a cátion ferro:



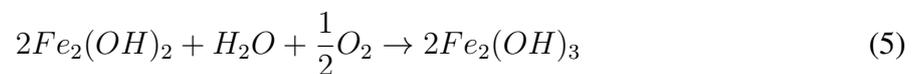
Simultaneamente, há a seguinte redução da água:



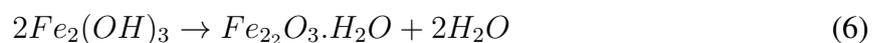
Logo, a soma das reações 2 e 3 leva à equação geral, em que há a formação do hidróxido ferroso ($Fe(OH)_2$), que pode ser vista na reação 4.



Sendo que, o hidróxido ferroso é oxidado a hidróxido de ferro III ($Fe(OH)_3$) quando em contato com o oxigênio. Reação que pode ser vista na reação 5.



Então, ele perde água e se transforma no óxido de ferro (III) mono-hidratado ($Fe_2O_3.H_2O$), como é visto na equação 6.



Para evitar tal deterioração, devemos impossibilitar o contato da água e do ar com o composto, impermeabilizando com tinta ou óleo, ou fazendo o processo de galvanização, que

consiste no acréscimo de camadas de outros metais, sendo alguma das possibilidades a cromagem (adição de camada de cromo), a douração (adição de camada de ouro) e a zincagem (adição de camada de zinco)(PEDROLO, 2014). No caso do protótipo foi utilizado o processo de zincagem, assim, o eixo tem uma camada de zinco para protegê-lo.

3.1.4 Cavalete

Como suporte da estrutura foi construído um cavalete onde optou-se pelo uso da madeira, devido ao baixo custo da mesma. Mas o mesmo já citado para o eixo ocorre no cavalete, apesar de não ser uma parte da roda d'água que necessita entrar em contato com água, é inevitável que ocorra.

Apesar de não podermos dizer que a madeira está em contato constante com a água, é correto dizer que ela permanece úmida por longos períodos, se não sempre. Esse estado de umidade altera de maneira significativa a madeira, pois por estar úmida ela tem menor resistência à aplicação de forças (MORESCHI, 2013).

As bactérias são os primeiros organismos a se instalarem na madeira úmida, ocupando todo o espaço físico da superfície do material com rapidez. Assim as bactérias atacam e como resultado as células da madeira são consumidas criando uma perfuração nela. Após as bactérias, os fungos, por se desenvolverem com rapidez, são os agentes biológicos que atacam a madeira em maiores proporções. Normalmente condições climáticas mais quentes favorecem o desenvolvimento dos fungos, acelerando-o, e por estarmos em uma região de clima tropical o material é facilmente infectado (MORESCHI, 2013).

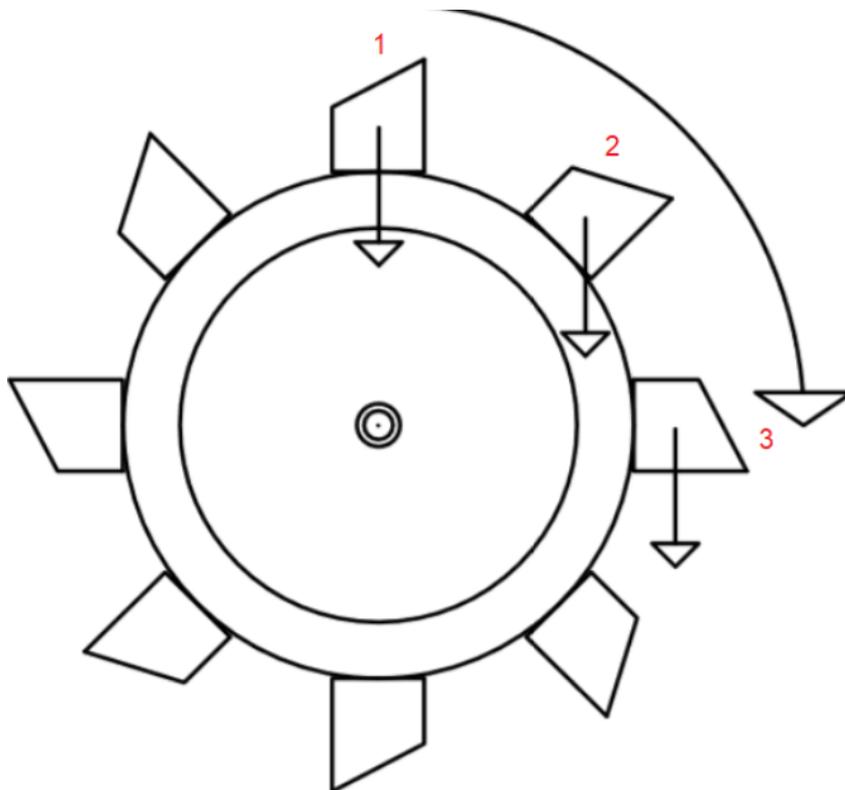
Assim é necessário aplicar algo que proteja a madeira. O mais comumente usados sendo o verniz, que é uma película de acabamento quase transparente, sendo composto tradicionalmente por óleo secante, resinas e um solvente como aguarrás, mas modernamente são utilizados também derivados de petróleo como poliuretano ou epóxi, e alguns vernizes podem conter também pigmento para alterar a textura ou cor natural da madeira (MORESCHI, 2013).

No protótipo foi utilizado um tipo de verniz que é pulverizado por cima da estrutura criando uma camada protetora que impede a umidade de penetrar na madeira. Mas, apesar disso, a sua durabilidade não será tão longa quanto a de outros materiais expostos as mesmas condições, por isso futuramente é aconselhável a substituição da madeira por outro tipo de material.

3.2 GEOMETRIA DO CORPO ROMBUDO

Como mostra a figura abaixo, a geometria do corpo rombudo foi definida de maneira que tivesse um melhor aproveitamento da água, mantendo ela o máximo de tempo possível com o máximo de água em seu interior, visando assim uma melhor eficiência da roda. Para isso foi feito um corte na diagonal em sua parte superior. Foi então observado nos testes realizados que, considerando que o corpo rombudo esteja cheio de água até o seu limite, o deslocamento da sua posição do número 1 até o número 2 acontece sem que ele perca água por causa da maneira na qual foi cortado. Já passando para a posição 3, ele fica com pouca água em seu interior. Nos outros corpos rombudos que não estejam na posição 1, 2 ou 3, não haverá água em seu interior.

Figura 4 – Representação da perspectiva da roda



Fonte: Próprios autores

3.3 CÁLCULO DO VOLUME DO CORPO ROMBUDO

Utilizando integrais triplas com coordenadas cilíndricas foi possível encontrar o volume do corpo rombudo feito com as latas de alumínio, sabendo que o raio é igual a 3,25 cm e a altura mínima de 4,6 cm, sendo até onde a lata pode ser preenchida com água.

$$P(x, y, z) \rightarrow P(r, \Theta, z)$$

Por tanto, temos os seguintes dados: $x = r = 3,25$, $y = r = 3,25$ e $z = 4,60$

Assim, foi determinado o seguinte domínio de integração:

$$0 \leq \Theta \leq 2\pi$$

$$0 \leq r \leq 3,25$$

$$0 \leq z \leq 4,60$$

Sabendo que:

$$\int \int \int z \sqrt{x^2 + y^2} dV \quad (7)$$

$$dV = r dz dr d\Theta \quad (8)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (9)$$

Assim é aplicado as informações obtidas anteriormente na integral, como é mostrado na equação 10.

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{3,25} \int_0^{4,60} r dz dr d\Theta \quad (10)$$

$$\int_0^{2\pi} d\Theta \int_0^{3,25} r dr [z]_0^{4,60} \quad (11)$$

$$\int_0^{2\pi} d\Theta \int_0^{3,25} r dr [4,60 - 0] \quad (12)$$

$$4,60 \int_0^{2\pi} d\Theta \left[\frac{r^2}{2} \right]_0^{3,25} \quad (13)$$

$$4,60 \int_0^{2\pi} d\Theta \left[\frac{3,25^2}{2} - \frac{0^2}{2} \right] \quad (14)$$

$$4,60 * 5,28 \int_0^{2\pi} d\Theta \quad (15)$$

$$24,29 \int_0^{2\pi} d\Theta \quad (16)$$

$$24,29 [\Theta]_0^{2\pi} \quad (17)$$

$$24,29[2\pi - 0] \quad (18)$$

$$v = 48,59\pi u.v. \quad (19)$$

Resolvendo a integral trila é encontrado o resultado de $48,59\pi$ u. v.. Podemos assim dizer que o volume interno do corpo rombudo é 152,62 ml.

3.4 CÁLCULO DA VAZÃO DISPONÍVEL

A vazão é dada por um volume de um fluido que passa dentro da seção de um conduto livre ou forçado em um determinado tempo, sendo essa seção a representada no projeto a mangueira. Nesta situação a vazão de entrada será a mesma que a de saída, ou seja, $Q_f = Q_i$. A formulação da vazão é dada por:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (20)$$

Para os efeitos de cálculos, a fonte utilizada para a obtenção da vazão foi realizada na própria faculdade, utilizado um recipiente de volume conhecido e adicionado água por um determinado tempo, obtendo a vazão em litros por segundo. Ao realizar o experimento foi utilizado 60 segundos, obtendo um volume de 7,740 l.

$$Q = \frac{7,740}{60} = 0,129l/s \quad (21)$$

Com o cálculo da vazão da mangueira, tem-se que ela é de 0,129 l/s, em milímetro cúbico por segundo, 129.000 mm³/s.

Após o cálculo de vazão, foi necessário calcular as áreas das sessões transversais para assim encontrar as velocidades de entrada e saída da água no volume de controle. A área da seção transversal é dada pela equação 22.

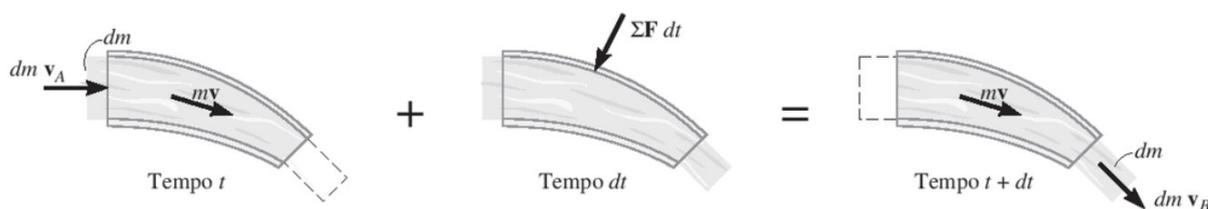
$$S = \pi * \frac{d^2}{4} \quad (22)$$

Onde o diâmetro do volume de controle possui 13 milímetros e de acordo com a fórmula 12, tem-se que a área da seção transversal de entrada é $132,73 \text{ mm}^2$. A área final tem a metade da área da seção transversal do volume de controle, sendo assim $66,37 \text{ mm}^2$. O porquê da área da seção transversal final ter metade da inicial, foi definido pelo grupo, visando obter uma velocidade final maior que a inicial. Sendo assim foi observado que quanto menor fosse a área da seção transversal final, maior seria a velocidade de saída da água, na qual também influenciará na força da água no volume de controle.

3.5 FORÇA DA ÁGUA NO VOLUME DE CONTROLE

Através dos fluidos em escoamento estacionário foi possível encontrar a força da água no volume de controle que está em contato com as pás da roda d'água. Considerando o volume de controle como o fluido dentro da mangueira, sua saída é diferente da sua velocidade de entrada, porém o que entra no volume de controle é igual ao que sai, mudando assim apenas suas velocidades (HIBBELER, 2005).

Figura 5 – Volume de controle



Fonte: (HIBBELER, 2005)

De acordo com HIBBELER, 2005 em Dinâmica: Mecânica para engenharia, e utilizando a fórmula abaixo para calcular qual a força da água que sai de dentro do volume de controle, e que através da análise dimensional tem-se a força em Newton:

$$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} - \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = \frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{s}^2} = \text{N} \quad (23)$$

$$\sum F = \rho * Q * (Vb - Va) \quad (24)$$

Para calcular a força exercida pela água sobre a roda foi utilizado os cálculos de vazão de entrada e saída da água, dependendo assim então de suas velocidades. Sendo a velocidade inicial

da água definida pela seguinte fórmula:

$$V = \frac{Q}{S} \quad (25)$$

Pela fórmula, a velocidade inicial é de 971,88 mm/s e a velocidade de saída foi calculada com a metade do valor encontrado na área da seção transversal, tendo então um valor de área de 66,37 mm² e obtendo uma velocidade final de 1.943,79 mm/s. Convertendo esses valores para metro por segundo têm $V_i = 0,972$ m/s e $V_f = 1,944$ m/s. Comprovando assim então que quanto menor for a área final da seção transversal, maior será sua velocidade.

Após todos os dados já calculados e convertidos para as unidades de medidas adequadas, utilizando o conceito de fluidos estacionários, foi encontrada a força da água que sai do volume de controle. De acordo com pesquisas realizadas, tem que a massa específica da água é de $\rho = 1.000 \text{ Kg/m}^3$.

Em seguida, foi calculado a força no volume de controle, como é visto na equação 26.

$$\sum F = 1000 * 0,000129 * (1,944 - 0,972) = 0,125 \text{ N} \quad (26)$$

3.6 FREQUÊNCIA E PERÍODO

Frequência é uma grandeza física escalar na qual é interligada ao movimento rotacional de objetos que realizam o movimento circular. Sua definição é dada pelo número de repetições em um certo intervalo de tempo.

Sua formulação pode ser vista na equação 27.

$$f = \frac{1}{T} \quad (27)$$

Para encontrar a frequência da roda d'água foi utilizado um método no qual consistia em gravar um vídeo de dez segundos com a opção da câmera lenta, o qual facilitou a observação de quantas voltas a roda d'água produz nesse intervalo de tempo. Durante esse instante foi obtido 17 voltas, resultando em um período de 1,7 segundos, e 102 rotações por minuto. O período para se obter uma volta completa é visto na equação 28.

$$T = \frac{10}{17} \quad (28)$$

Obtendo que o período é de 0,588 segundos, pode-se obter a frequência que a roda opera através da equação 29.

$$f = \frac{1}{0,588} \quad (29)$$

Obtendo o resultado de $f = 1,7 \text{ Hz}$

3.7 VELOCIDADE LINEAR DA RODA D'ÁGUA

A velocidade linear é descrita com base nos conceitos da frequência ou período. Podendo ser definida como a razão entre o espaço no qual a roda percorre, dentro de um certo tempo, determinando assim então a relação entre a velocidade angular e linear para um corpo que realiza um movimento circular. (TIPLER; MOSCA, 2006) Uma das maneiras de expressar sua formulação pode ser vista na equação 30.

$$vl = \frac{2 * \pi}{T} * r \quad (30)$$

Com o cálculo do período já realizado anteriormente, foi possível obter a velocidade linear, a qual foi encontrada com um valor de 170,90 cm/s.

3.8 VELOCIDADE ANGULAR DA RODA D'ÁGUA

Da velocidade linear e com o raio da roda já foi visto anteriormente, no qual é de 16 cm, é possível obter a velocidade angular através da equação 31.

$$va = \frac{vl}{r} \quad (31)$$

A velocidade angular da roda d'água é de 10,68 rad/s.

3.9 FORÇA FEITA NA RODA

Como já possuímos alguns dados, sendo eles a velocidade linear da roda que é igual a 0,1709 m/s e a velocidade de saída da água que é igual a 1,944 m/s, aplicamos na formula,

obtendo a força aplicada na roda, como pode ser visto na equação 33.

$$\sum F = \rho * Q * (Vb - Va) \quad (32)$$

$$\sum F = 1000 * 0,000129 * (0,1709 - 1,944) = -0,2287N \quad (33)$$

Portanto a força encontrada é de -0,2287 N, sendo que a força está negativa pois está é a reação da lata à força da água. Assim, obtemos a força aplicada a roda de 0,229N.

3.10 PESO DO PROTÓTIPO

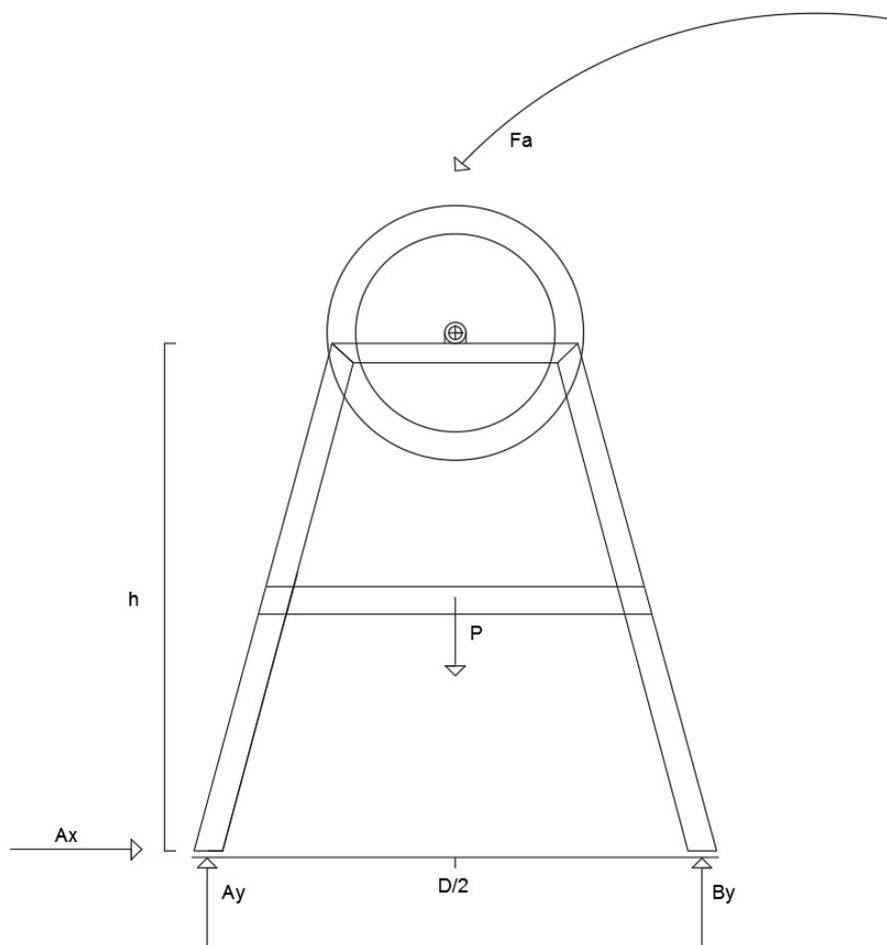
Para encontrar o peso do protótipo, foi calculado o volume da estrutura que resultou em 12.095 cm³, com esse resultado multiplicamos o volume encontrado pela densidade da madeira utilizada que é 0,66 g/cm³, assim foi encontrado a massa de 7.982,7 g. Por precisarmos do peso total da estrutura foram somados 900 g dos outros componentes, como roda, eixo e outros presentes no protótipo. Obtendo-se assim 8,883 Kg, que multiplicado pela aceleração da gravidade de 9,81 m/s² é encontrado o peso total da estrutura de 87,139 N.

3.11 DETERMINAÇÃO DA MENOR DISTANCIA ENTRE OS PÉS DA ESTRUTURA

Na análise do cavalete foi observado quais reações eram presentes para dimensionar uma estrutura ideal para acoplamento da roda d'água, sendo calculado as reações. Assim podendo encontrar a menor distância entre os pés que a estrutura poderá possuir para não tombar. Para facilitar os cálculos da menor distância que a estrutura poderá ter, foi estabelecida que o cavalete terá uma altura constate de 0,73 m, independente do ângulo dos pés da estrutura. Com as dimensões aplicadas na estrutura projetada no AutoCAD encontramos a sua massa.

Para encontrar a menor distância utilizamos o cálculo de momento. Assim foi feito o diagrama de corpo livre, que pode ser visto na Figura 6, para análise das forças presentes.

Figura 6 – Diagrama de corpo livre do cavalete



Fonte: Próprios autores

Após análise do diagrama foi aplicado os resultados encontrados no cálculo de momento para encontrar a menor distância, como pode ser visto na equação 36.

$$\sum M = 0 \quad (34)$$

$$F_a * h - P * \frac{D}{2} = 0 \quad (35)$$

$$0,2287 * 0,73 - 87,139 * \frac{D}{2} = 0 \quad (36)$$

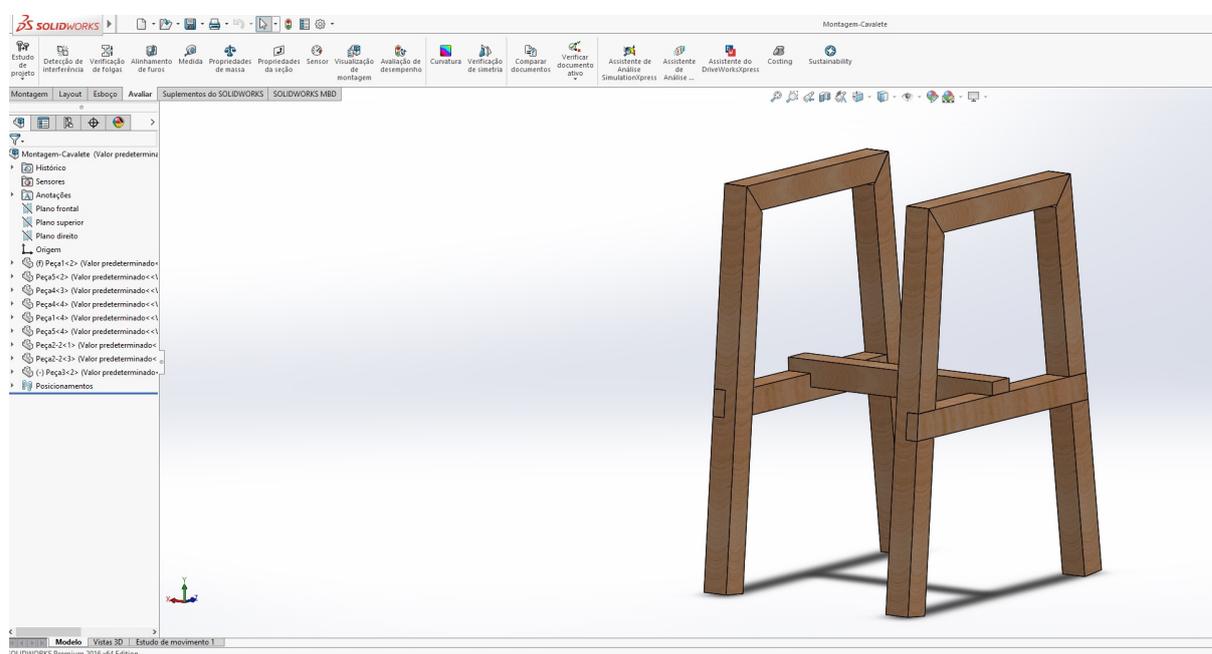
$$D = 0,004m \quad (37)$$

Devido ao peso da estrutura a distância mínima encontra é de 0,004 m, pois a força exercida pela água não é grande o suficiente para tomba-la. Mas para caso tenha a necessidade de trocar a roda a estrutura foi construída para admitir uma roda maior.

3.12 FINALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Após o término dos cálculos, o dimensionamento da estrutura foi feito seu modelamento no SolidWorks para auxiliar na sua construção e melhorar sua visualização, como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 – Modelagem no SolidWorks



Fonte: Próprios autores

Em seguida, com os materiais necessários já adquiridos, foi executada a construção do caveleto, como pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 – Construção do cavalete



Fonte: Próprios autores

Após a construção do cavalete foi acoplada a roda com as latas, que anteriormente havia sido fixada a uma barra rosqueada sendo travada por duas porcas e duas contraporcas. O acoplamento foi realizado após ser fixado os rolamentos no cavalete por duas abraçadeiras tipo U, assim sendo possível o ajuste da barra nos rolamentos travando-os em seguida com quatro porcas, finalizando a primeira parte do protótipo como pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 – Protótipo finalizado



Fonte: Próprios autores

4 RESULTADOS

Com a vazão da água encontrada de $129 \text{ m}^3/\text{s}$ e com os valores das áreas das seções transversais, que foram de $132,73 \text{ mm}^2$ para a área da seção inicial e $66,37 \text{ mm}^2$ para a área da seção final, e modificando a fórmula da vazão afim de encontrar a velocidade, foi possível obter duas velocidades da água, sendo uma de entrada no valor de $0,972 \text{ m/s}$ e a velocidade final de $1,944 \text{ m/s}$. Assim, com a fórmula da força da água no volume de controle, foi obtido a força que sai do volume de controle de $0,125 \text{ N}$.

Aplicando a força da água na roda foi obtido através de testes um período de $0,588$ e frequência de $1,7 \text{ Hz}$. Tendo os resultados anteriores, foi realizado cálculos para encontrar a velocidade linear e a velocidade angular da roda, que são, respectivamente, $0,1709 \text{ m/s}$ e $10,68 \text{ rad/s}$.

Com os valores encontrados, sendo o peso da estrutura de $87,139 \text{ N}$, a força que é feita na roda de $0,2287 \text{ N}$, a velocidade linear da roda de $0,1709 \text{ m/s}$ e a velocidade final da água de $1,944 \text{ m/s}$, encontramos através do somatório de momentos a distância mínima que os pés da estrutura poderiam possuir, que é de $0,004 \text{ m}$. Através desse resultado modelamos a estrutura no software SolidWorks e em seguida a construímos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como principal objetivo, a construção de uma roda d'água na qual, posteriormente será acoplada uma bomba d'água, porém ficou definido que esse acoplamento será realizado no projeto do TAI IV. Com base nas pesquisas realizadas, foi compreendido de forma ampla a teoria de seu funcionamento, e obtido dados importantes para elaboração do trabalho. Com esses dados adquiridos, foi possível aprofundar no conhecimento do funcionamento das rodas d'água, vendo o quão importantes são para a sociedade, principalmente os pequenos produtores rurais. A aplicação das disciplinas foi de extrema importância para o desenvolvimento do trabalho e a análise dos resultados encontrados. Assim foi possível realizar com sucesso a primeira parte proposta, na qual foram construídos a roda d'água e o cavalete de forma satisfatória.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, V. de. **Bomba hidráulica dos egípcios até os equipamentos de última geração**. 2013. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/edicoes.asp?fase=C&id=173&retorno=c>>. Acesso em: 17 abr. 2018.
- BOMBAS ZM acionadas por roda d'água. 2018. Disponível em: <<http://www.zmbombas.com/bombas/>>. Acesso em: 21 maio 2018.
- BRITANNICA, E. of E. **Waterwheel Engineering**. 2018. Disponível em: <<https://www.britannica.com/technology/waterwheel-engineering>>. Acesso em: 16 abr. 2018.
- CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 9. ed. [S.l.]: Grupo Gen-LTC, 2016.
- HIBBELER, R. C. **Dinâmica: Mecânica para engenharia**. São Paulo: Prentice Hall, 2005.
- MELLO, C. R. de; PEREIRA, G. M. **Bomba de pistão acionada por roda d'água**. 2017. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAeiegAF/bomba-pistao-acionada-por-roda-d-agua#>>. Acesso em: 08 abr. 2018.
- MORESCHI, J. C. Biodegradação e preservação da madeira. **Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal**, Curitiba, PR, 2013.
- MS Ultra 42 – roda d'água: 1,10x0,17m. 2018. Disponível em: <<http://www.rochfer.com.br/index.php/produtos/bombas-a-roda-d-agua/bombas-com-rodas/22-produtos/bomba-e-roda/89-ms-ultra-42-roda-d-agua-1-10-x-0-17m>>. Acesso em: 02 jun. 2018.
- PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. da; AIROLDI, R. P. S.; RIBEIRO, T. A. P. Variação temporal da qualidade da água no desempenho de filtros utilizados na irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 3, n. 9, p. 450–456, 2005.
- PEDROLO, C. **Ferrugem**. 2014. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/quimica/ferrugem/>>. Acesso em: 15 abr. 2018.
- RODA, D. T. **Tudo sobre plástico**. 2010. Disponível em: <<http://www.tudosobreplasticos.com/materiais/poliamidas.asp>>. Acesso em: 10 maio 2018.
- SANTOS, R. M. dos. Construção de uma bomba d'água, acionada por roda d'água, construídas com materiais alternativos. **Universidade Federal de Lavras**, Lavras, MG, p. 10–33, 2011.
- SILVA, L. S. da; MOREIRA, W. P. Elementos do grupo iii a. **Universidade Federal do Amazonas**, Manaus, AM, p. 8, 2014.
- TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros**. [S.l.]: LTC, 2006.

