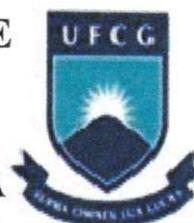




UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



Avaliação da Performance de um Sistema de Bombeamento de Água Acionado Por Propulsão Humana

Autor: Francisco de Assis Brasileiro Filho

Orientadores: Prof. Dr. Antonio Gilson Barbosa de Lima

Prof. Dr. Yoge Jeronimo Ramos da Costa

Campina Grande, dezembro de 2012

PB – Brasil

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Avaliação da Performance de um Sistema de Bombeamento de Água Acionado por Propulsão Humana

Autor: Francisco de Assis Brasileiro Filho
Orientadores: Prof. Dr. Antonio Gilson Barbosa
Prof. Dr. Yoge Jeronimo Ramos da Costa

Curso: Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Fenômenos de Transporte e Energia

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Campina Grande, dezembro de 2012
PB – Brasil



C957m Cruz, Walter Santa.
Métodos estatísticos multivariados aplicados à análise de transportes / Walter Santa Cruz. - Campina Grande, 1983. 92 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1983. "Orientação : Prof. Dr. José Eugênio Leal".
Referências.

1. Transportes - Planejamento e Organização. 2. Transportes - Métodos Estatísticos. 3. Técnicas Estatísticas Multivariadas. 4. Dissertação - Ciências. I. Leal, José Eugênio. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 656.07:519.2(043)

AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DE UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE
ÁGUA ACIONADO POR PROPULSÃO HUMANA.

FRANCISCO DE ASSIS BRASILEIRO FILHO

Dissertação Aprovada em 19/12/2012 pela banca examinadora constituída dos
seguintes membros:



Dr. Antonio Gilson Barbosa de Lima

Orientador

PPGEM/UAEM/CCT/UFCG



Dr. Yoge Jerônimo Ramos da Costa

Orientador

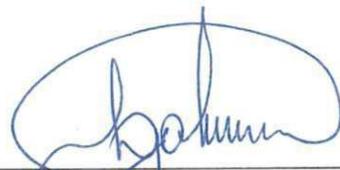
PPGEM/UAEM/CCT/UFCG



Dr. Enivaldo Santos Barbosa

Examinador Externo

UFCG/UAEM



Dr. Laércio Gomes de Oliveira

Examinador Externo

UFCG/UAEQ

DEDICATÓRIA

À minha esposa Maria de Lourdes Lopes Brasileiro e aos meus filhos, Candice Lopes Brasileiro, Thyago Lopes Brasileiro, Kayane Lopes Brasileiro, Ramon Lopes Brasileiro, Rodrigo Lopes Brasileiro e Rachel Chrystianne Lopes Brasileiro.

AGRADECIMENTOS

A Deus que me deu força sabedoria e graça para vencer um dos obstáculos mais difíceis enfrentado até hoje.

Ao Prof. Francisco Barbosa de Lucena pela bondade que lhe é peculiar, por ter acreditado no meu trabalho.

Ao Prof. Dr. Celso Rosendo Bezerra Filho, pela paciência, ajuda, o que muito me motivou para conclusão e realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Marcelo Bezerra Grilo pelo apoio e ajuda em momentos de dúvidas.

Ao Prof. Dr. Yoge Jerônimo Ramos da Costa por sua ajuda no momento em que mais necessitei sem o qual não teria conseguido concluir meu sonho maior.

Ao Prof. Dr. Antonio Gilson Barbosa de Lima por ter acreditado que eu seria capaz de realizar este trabalho, além da grande ajuda prestado para finalização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Juscelino de Farias Maribondo pelo incentivo e ajuda.

A toda equipe do LabEM, Daniel, Renan, Marcelo, pela grande ajuda na realização dos experimento.

A toda equipe de mestrado e doutorado, João Paulo, João, Daniel, Josedite, Iran, Paulo, Vieira, Verônica Pinto, Helder Giuseppe, Luis Roberto e demais companheiros, obrigado pelo incentivo e ajuda.

*A vida é como uma bicicleta.
Para manter sua vida equilibrada você a deve manter em movimento.*

Albert Einstein

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Sistemas usados na elevação d' água	3
2.2 Classificações das máquinas elevadoras.....	3
2.2.1. Máquinas elevadoras por transporte.....	5
2.2.1.1 Balde.....	5
2.2.1.2 Corrente	5
2.2.1.3 Noras.....	6
2.2.1.4 Roda d' água.....	7
2.2.2 Máquinas elevadoras por aspiração e recalque (bombas)	9
2.2.2.1 Bomba de pistão (movimento alternativo)	9
2.2.2.2 Bomba por diafragma (movimento oscilante).....	11
2.2.2.3 Bomba peristáltica	12
2.2.3 Máquinas elevadoras	13
2.2.3.1 Carneiro hidráulico.....	13
2.2.3.2 Bomba d'água pneumática de ar comprimido.....	15
2.2.4 Máquinas elevadoras rotativas	16
2.2.4.1 Bomba de engrenagem	16
2.2.4.2 Bomba d'água rotativa de palheta	17
2.2.4.3 Bomba rotativa de pistão	18
2.2.5 Bomba alternativa.....	18
2.2.5.1 Princípios gerais	18
2.2.5.2 Fontes de energia para acionamento de máquinas elevadoras d' água.....	20
2.2.6 O estado da arte sobre sistemas de bombeamentos de água alternativos	24
METODOLOGIA.....	40
3.1 Experimental.....	40
3.1.1 Sistema de bombeamento à pedal	40
3.1.2 Testes experimentais	49

3.1.2.1 Equipamentos auxiliares.....	49
3.1.3 Procedimento experimental	54
3.1.4 Procedimento Teórico.....	59
RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.1 Avaliação experimental do desempenho do sistema de bombeamento	67
4.2 Avaliação teórica do desempenho do sistema de bombeamento à pedal.....	71
4.2.1 Avaliação da força no pedal	71
4.2.3 Comparação entre forças no pedal e êmbolo da bomba.....	73
4.2.4 Avaliação do torque nos eixos da manivela e do pedal	74
4.2.5 Avaliação das potências da bomba e do pedal (potência humana).....	77
4.2.6 Avaliação da performance da bomba e sistema de bombeamento.	77
4.3 Considerações finais sobre o sistema de bombeamento	82
CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	86
5.1 - Conclusões.....	86
5.2 - Sugestões para trabalhos futuros	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

RESUMO

BRASILEIRO, Francisco de Assis, **Avaliação da Performance de um Sistema de Bombeamento de Água Acionado Por Propulsão Humana**. Campina Grande: Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande, 2012, 116 p. Dissertação (mestrado).

Bombas tem sido usadas para transportar água de um local para outro. Estes equipamentos podem ser acionados por cataventos, energia solar, motores elétricos e combustíveis fósseis. Contudo, em regiões onde a energia elétrica não está disponível, pode-se usar fontes não convencionais, como a força humana. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar a performance de um sistema de bombeamento à pedal acionado por propulsão humana. O procedimento utilizado foi baseado na otimização de um sistema experimental envolvendo o protótipo e seres humanos, em diversas condições operacionais de altura de recalque. Apresenta-se uma modelagem teórica para determinar a eficiência da bomba de pistão e do sistema de bombeamento. Resultados de vazão, força, torque, potências e rendimento mecânico são apresentados e analisados. Verificam-se que diante dos resultados alcançados é possível afirmar que o protótipo é viável, para as condições, recalque de água até 7 m de altura e vazão volumétrica de 0,700 m³/s.

Palavras Chave: Sistema de bombeamento; bomba de pistão; água; forças; potência; eficiência; teórico; experimental.

ABSTRACT

BRASILEIRO, Francisco de Assis, **Performance Evaluation of a Water Pumping System Operated by Human Propulsion**. Campina Grande: Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande, 2012, 116 p. Dissertação (mestrado).

Pumps have been used to transport water from one location to another. These equipments can be powered by weathervanes, solar energy, electric motors and combustion engines. However, in regions where electricity is not available, you can use unconventional sources, such as human strength. Thus, this study ai am to evaluate the performance of a system of pumping operated by human propulsion. The procedure used was based on the optimization of an experimental system involving humans and the prototype under various operating conditions. Theoretical modeling to determine the efficiency of a piston pump and pumping system. Results of volumetric flowrate, force, torque, power and mechanical performance are presented and analyzed. The results show that the prototype is viable to conditions of pumping up 7m an volumetric flowrate of 0,700 m³/s.

Keywords: Pumping system; piston pump; water; force; power; efficiency, theoretical; experimental.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Bomba de pistão e Picota fabricada no século 1 em ferro fundido.....	4
Figura 2.2 Balde ou sarrilho	5
Figura 2.3 Corrente.....	6
Figura 2.4 Vista em corte lateral de nora de balde.....	7
Figura 2.5 Roda d' água	7
Figura 2.6 Roda mista sobre flutuador	8
Figura 2.7 Parafuso de Arquimedes	9
Figura 2.8 Bomba de pistão simples.....	11
Figura 2.9 Bomba de diafragma para água.....	12
Figura 2.10 Bomba peristáltica.....	13
Figura 2.11 Carneiro hidráulico.....	14
Figura 2.12 Carneiro hidráulico com garrafa PET	15
Figura 2.13 Bomba d' água de ar comprimido pneumática	16
Figura 2.14 Bomba d' água rotativa de engrenagens.....	17
Figura 2.15 Bomba rotativa de palheta.....	18
Figura 2.16 Bomba rotativa de pistão.....	19
Figura 2.17 Esquema de bomba de pistão	20
Figura 2.18 Bomba de pistão acionada por catavento	22
Figura 2.19 Bomba centrífuga	25
Figura 2.20 Diferentes tipos de bomba em operação	26
Figura 2.21 Bomba de mecate	27
Figura 2.22 Carneiro hidráulico com garrafa PET	28
Figura 2.23 Sistema de bombeamento sendo operado por bicicleta.....	29
Figura 2.24 Sistema de bombeamento sendo preparado para uso.....	29
Figura 2.25 Bicicleta com bomba.....	30
Figura 2.26 Bomba acionada por pedais de bambu.....	31
Figura 2.27 Bomba de água acionada por savonius	32
Figura 2.28 Diversos sistemas de bombeamento à pedal em operação.....	33
Figura 2.29 Sistema de bombeamento à pedal recalçando água de um poço.....	33

Figura 2.30 Bomba de água Jabsco	34
Figura 2.31 Bomba de rio rife	35
Figura 2.32 Bomba de diafragma	36
Figura 2.33 Esquema da bomba de diafragma	36
Figura 2.34 Unidade de bombeamento à pedal aperfeiçoada.....	37
Figura 2.35 Bomba d'água manual puxa-empurra	38
Figura 2.36 Copos da bomba.....	39
Figura 2.37 Roda com manivela.....	40
Figura 3.1 Unidade de bombeamento a pedal acionada por propulsão humana	41
Figura 3.2 Unidade de bombeamento à pedal acionada por propulsão humana aperfeiçoada.....	42
Figura 3.3 Bomba de pistão.....	42
Figura 3.4 Válvulas em bronze.....	43
Figura 3.5 Registros e conexões	43
Figura 3.6 Êmbolo da bomba de pistão com vedante	43
Figura 3.7 Unidade de bombeamento a pedal	44
Figura 3.8 Coroa 48, 38 e 28 dentes	45
Figura 3.9 Coroas 3,4,5 e corrente	45
Figura 3.10 Coroa 3 e corrente	45
Figura 3.11 Vista traseira do sistema de bombeamento	46
Figura 3.12 Unidade de bombeamento a pedal pronto para uso	47
Figura 3.13 Vista do sistema de transmissão.....	47
Figura 3.14 Eixo O3	48
Figura 3.15 Eixo O2 e coroa 1.....	48
Figura 3.16 Parte trazeira da bomba.....	49
Figura 3.17 Bomba d' água manual Riachuelo de dupla seção.....	49
Figura 3.18 Sistema biela-manivela	49
Figura 3.19 Vacuômetro	50
Figura 3.20 Manômetros	50
Figura 3.21 Termôhigrômetro	51
Figura 3.22 Balança Elétrica welmy	51
Figura 3.23 Ciclo computador cateie velo 8.....	52

Figura 3.24 Tambor de coleta d' água.....	52
Figura 3.25 Mangueira Flexiteno	53
Figura 3.26 Garrafa PET com tubulação de recalque.....	53
Figura 3.27 Andaime com tambor e balança.....	54
Figura 3.28 Proveta sendo usada para medir o volume de água bombeada.....	54
Figura 3.29 Unidade de bombeamento a pedal em uso.....	55
Figura 3.30 Unidade de bombeamento à pedal	56
Figura 3.31 Tambor armazenando água para medição de volume.....	57
Figura 3.32 Averiguando volume da água.....	57
Figura 3.33 Medição da pressão no manômetro de mercúrio.....	58
Figura 3.34 Medição do volume da água	58
Figura 3.35 Andaime com tambor.....	58
Figura 3.36 Tambor sobre balança para medição da massa d'água	59
Figura 3.37 Diagrama e esquema do sistema de bombeamento.....	61
Figura 3.38 Esquema da bomba	62
Figura 3.39 Esquemas de forças atuando no êmbolo da bomba.....	63
Figura 3.40 Esquema de forças atuando nos eixos O2 e O3	64
Figura 3.41 Esquema de forças atuando nas coroas (2,3 e 4) e força no pedal.....	64
Figura 3.42 Vista frontal do sistema de transmissão.....	65
Figura 3.43 Esquema de medição da bomba	66
Figura 4.1 Vazão mássica da água em função da velocidade angular das coroas de 28 e 38 dentes.	68
Figura 4.2 Pressão na saída da bomba para as coroas 28 e 38 dentes, em função da altura manométrica	71
Figura 4.3 Vazão volumétrica da água em função da altura manométrica de recalque	71
Figura 4.4 Força no pedal em função da altura manométrica de recalque, para as 2 coroas de 28 e 38 dentes.....	72
Figura 4.5 Força e torque no eixo do pedal em função da altura manométrica de recalque.....	73
Figura 4.6 Força e torque no eixo do pedal em função da altura manométrica de recalque, coroa com 38 dentes.....	74

Figura 4.7 Força no pedal e êmbolo da bomba em função da altura manométrica de recalque (coroa 28 dentes).....	75
Figura 4.8 Força no pedal e êmbolo da bomba em função da altura manométrica de recalque, Coroa de 38 dentes.....	75
Figura 4.9 Torque nos eixos O ₂ (eixo da manivela) e O ₄ (eixo do pedal) em função da altura manométrica para as coroas de 28 e 38 dentes.....	76
Figura 4.10 Torque nos eixos O ₂ (eixo da manivela) e O ₄ (eixo do Pedal) em função da altura manométrica para as coroas de 28 e 38 dentes.....	77
Figura 4.11 Torque no eixo O ₄ (pedal), para coroas de 28 e 38 dentes em função da altura manométrica de recalque.....	77
Figura 4.12 Potência da bomba e do pedal (humana) em função da altura manométrica de recalque para as coroas de 28 dentes.	78
Figura 4.13 Potência da bomba e do pedal (humana) em função da altura manométrica de recalque para as coroas de 38 dentes.	79
Figura 4.14 Performance do sistema de bombeamento a pedal em função da altura manométrica para as coroas de 28 e 38 dentes.....	79
Figura 4.15 Performance do sistema de bombeamento em função da potência da bomba para as coroas de 28 e 38 dentes.....	81
Figura 4.16 Rendimento volumétrico em função da altura, para as coroas 28 e 38 dentes.....	82
Figura 4.17 Potência máxima disponibilizada para um homem, mulher e criança e aquela usada para acionar o sistema de bombeamento deste trabalho	83
Figura 4.18 Assento considerado como ideal.....	84
Figura 4.19 Banco, posição das mãos, região lombar e falta de proteção para os pés.....	85
Figura 4.20 Sistema de transmissão sendo acionado.....	86
Figura 4.21 Posicionamento original da bomba manual	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Fontes de energia para o acionamento de máquinas elevadoras d'água.....	21
Tabela 2.2 Potência para uma pessoa sem condicionamento físico	23
Tabela 2.3 Potência disponível para uma pessoa que pratica atividade física	23
Tabela 2.4 Potência disponível para homem, mulher e criança	23
Tabela 3.1 Condições experimentais usadas nesta pesquisa	59
Tabela 4.1 Dados obtidos a partir dos experimentos realizados.....	70
Tabela 4.2 Dados teóricos obtidos a partir de experimentos realizados com a unidade de bombeamento à pedal	80
Tabela 4.3 Vazões das bombas fornecidas por diversos autores.....	82
Tabela 4.4 Comparação entre as potências disponibilizada para um homem, uma mulher e uma criança, e aquela disponibilizada para acionar o sistema de bombeamento à pedal.....	83

NOMENCLATURA

Letras Latinas

Ab	Área da bomba	(m ²)
A _{éb}	Área do êmbolo da bomba	(m ²)
db	Diâmetro da bomba	(m)
F _{C1}	Força na coroa 1	(N)
F _{C2}	Força na coroa 2	(N)
F _{C3}	Força na coroa 3	(N)
F _{C4}	Força na coroa 4	(N)
F _{C5}	Força na coroa 5	(N)
F _{éb}	Força no êmbolo da bomba	(N)
F _m	Força na manivela	(N)
F _p	Força no pedal	(N)
g	Aceleração da gravidade	(m/s ²)
H _e	Altura manométrica de entrada (sucção)	(m)
H _s	Altura manométrica de saída	(m)
l _{éb}	Comprimento do êmbolo da bomba	(m)
m	Massa	(kg)
\dot{m}	Vazão mássica	(kg/h)
P	Pressão	(Pa)
Pa	Pascal	(Pa)
P _e	Pressão de entrada (sucção)	(Pa)
P _s	Pressão de saída ou recalque	(Pa)
Q	Vazão	(m ³ /h)
r _{C1}	Raio da coroa 1	(m)
r _{C2}	Raio da coroa 2	(m)
r _{C3}	Raio da coroa 3	(m)
r _{C4}	Raio da coroa 4	(m)
r _{C5}	Raio da coroa 5	(m)

r_m	Raio da manivela	(m)
rpm	Rotação por minuto	(rpm)
r_p	Raio do pedal	(m)
r_v	Raio do volante	(m)
t	Tempo	(s)
T_{em}	Torque no eixo da manivela	(N.m)
T_{O1}	torque no eixo 1	(N.m)
T_{O2}	Torque no eixo 2	(N.m)
T_{O3}	Torque no eixo 3	(N.m)
v	Velocidade	(km/h)
V	Volume	(m ³)
V_b	Volume da bomba	(m ³)
$V_{\acute{e}b}$	Volume do êmbolo da bomba	(m ³)
\dot{W}_b	Potência da bomba	(W)
\dot{W}_p	Potência do pedal	(W)

Letras Gregas

ω_{O3}	Velocidade angular no eixo 3	(rad/s)
ω_{O2}	Velocidade angular no eixo 2	(rad/s)
ω_{O1}	Velocidade angular no eixo 1	(rad/s)
ω_v	Velocidade angular do volante	(rad/s)
ρ	Massa específica da água	(kg/m ³)
u_t	Peso específico tabelado	(m ³ /kg)
u_r	Peso específico real	(m ³ /kg)
η_v	Rendimento volumétrico da bomba	(%)
η_m	Rendimento da potência da bomba e do homem	(%)

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Semiárido é o espaço geográfico onde ocorrem secas prolongadas que levam ao fracasso agrícola e migrações do homem do campo para grandes e pequenos centros habitacionais. O maior problema do semiárido não é bem a falta de chuva e sim sua irregularidade no tempo e espaço, ou seja, quanto tempo transcorre entre uma chuva e a próxima, e a que distância a próxima chuva poderá cair da chuva anterior. Contudo, chuvas irregulares fazem parte do clima, e, o ser humano tem uma parcela de culpa, no que diz respeito ao desmatamento, queima das matas e caça sem controle (Água de Chuva, 2012).

Será que só no Brasil existem regiões semiáridas, e o que dizer do mundo? Em regiões da África chove alguns dias por ano ou passa até vários anos sem chover, por essa razão existem tão poucas plantas e animais. Existem 49 países do globo terrestre com clima semelhante ao nordeste brasileiro que é um dos maiores, mais populoso e também mais úmido do mundo.

Para suprir suas necessidades, a população rural depende da chuva, de poços perfurados e cisternas. Porém, esses poços ou açudes ficam bastante distante de suas residências. Devido a isto, a água é transportada através de carroças e caminhões pipa até seu destino final que são as residências ou pequenas lavouras (Mendonça et al., 2009).

Se por um lado a água é extremamente importante, por outro, a energia também desempenha seu grande papel. A energia é essencial para o desenvolvimento social e econômico e para uma melhor qualidade de vida. Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN, 2012), o sol continua sendo a principal fonte de energia para a terra, além disso, todas as formas de energia devem ser usadas de maneira a preservar a atmosfera, a saúde humana e o meio ambiente, diminuindo o efeito estufa provocado pela queima de combustíveis derivados do petróleo e demais substâncias tóxicas. Neste sentido, diversas pesquisas em

novas fontes de energia renováveis como heliotérmica, solar, fotovoltaicas, eólica, hídrica, biomassa, marinha, animal e humana têm sido desenvolvidas (BEN, 2012).

No caso particular do fornecimento de água para populações rurais, a energia renovável de geração autônoma, desempenha um papel importante, e tem contribuído para o desenvolvimento social de muitas regiões isoladas em várias partes do mundo. A garantia do suprimento de água e melhora das condições de higiene, reduz a incidência de doenças associadas ao acesso inadequado da mesma, bem como, a diminuição da migração humana para outras regiões. Desta forma, a água tem um papel fundamental, considerando a situação do semiárido nordestino.

Nos dias atuais, o homem tem procurado formas de bombear a água para seu armazenamento e uso. A bomba centrífuga de altas vazões pode ser acionada por um motor a diesel ou gasolina ou como naturalmente é mais utilizado, acionado por energia elétrica. A bomba de diafragma pode ser acionada por roda d'água, como também, pode ser acionada por eletricidade (maior uso) e em veículos, pode ser acionada por baterias. A bomba de pistão utiliza como força motriz, energia eólica e solar convertida para elétrica ou força humana.

Sendo assim, a inexistência de rede elétricas em muitos locais do semiárido, à irregularidade e os custos do fornecimento de combustível em muitas regiões, motivam a introdução de sistemas de bombeamento baseados em recursos energéticos disponíveis localmente. Neste contexto, o desenvolvimento de uma unidade de bombeamento à pedal acionada mecanicamente por força humana, surge como uma possível forma de reduzir os problemas com transporte de água, consumo de energia e impacto ambiental.

Considerando o cenário apresentado, esta pesquisa tem como objetivos:

a) Modificar e aperfeiçoar um sistema de bombeamento de água existente, acionada à pedal por propulsão humana;

b) Avaliar a performance do sistema de bombeamento acionado à pedal por propulsão humana, para diferentes alturas de recalque.

CAPITULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemas usados na elevação d' água

Quando se necessita elevar água a um local acima da sua fonte, usam-se as já bem conhecidas bombas d'água ou sistemas elevadores. Atualmente existe uma gama diversificada de bombas, das mais simples as mais sofisticadas.

A origem da bomba d'água surgiu nos primórdios da humanidade. Na antiga Grécia, desde o século VI a.C. já havia tecnologia para captação e distribuição de água à longas distâncias. Em Atenas nessa época, já existiam caixas d'água localizadas nas partes mais altas da cidade. Um dos primeiros utensílios teria sido um balde ligado a uma corda (Figura 2.1b), mais tarde suspenso por um gancho e, depois, por uma roldana, por ser mais fácil transportar o material.

A bomba de pistão, era usada em Roma no governo de César Augusto (século I a.C), e em Alexandria (séculos V e VI a.C.). Nessa época já existiam bombas em ferro fundido (Figura 2.1). No decorrer dos tempos, novos tipos de bombas foram criadas, outras desenvolvidas, no entanto as antigas bombas de pistão ou êmbolo possuem ainda hoje um uso em larga escala, devido às condições exigidas (pequenas vazões). A picota (cegonha) ainda se encontra disseminada nos nossos campos (Dalley e Oleson, 2012).

2.2 Classificações das máquinas elevadoras

As máquinas elevadoras podem ser classificadas de diversas formas, tais como: por transporte, aspiração e recalque, por colunas, rotativos e alternativos.

- Por transporte: balde, corrente, nora de balde e de rosário, rodas, parafusos de Arquimedes e rodas mistas.
- Por aspiração e recalque: pistão (movimento alternativo), diafragma (movimento oscilante), de rotor (movimento circular).

- Por Coluna: carneiro hidráulico e bomba de ar comprimido.
- Rotativas: um só rotor (palhetas, pistão rotativo e parafuso simples) e com vários rotores (engrenagens, múltiplos rotores e parafusos).
- Alternativas: pistão e diafragma (acionadas mecanicamente).



Figura 2.1) a) Bomba de pistão, fabricada em ferro fundido (2011).
Fonte: <http://www.bombascentrifugas.com.br/bombas-uma-breve-história-2> (2011)

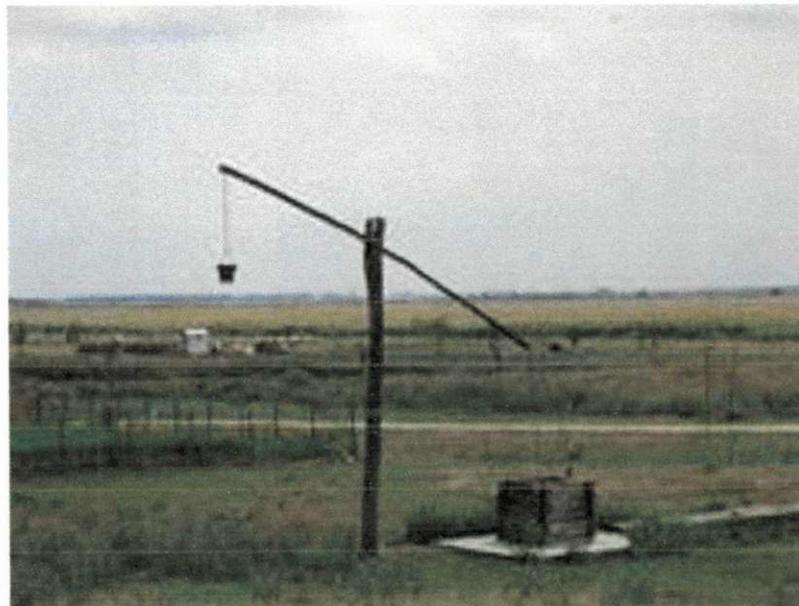


Figura 2.1) b) Picota.
Fonte: <http://www.bombascentrifugas.com.br/bombas-uma-breve-história-2> (2011)

2.2.1. Máquinas elevadoras por transporte

Neste grupo estão incluídas as máquinas mais simples e mais antigas, muitas das quais, já tecnologicamente superadas e raramente utilizadas, a exemplo de: baldes, correntes, noras de balde e rosário, rodas d' água com (baldes, pás, mista), parafusos de Arquimedes (MIRTI et al 2012).

2.2.1.1 Balde

Consiste basicamente de um balde preso a uma corda acionada manualmente, a mão livre, através de sarrilho (Figura 2.2).

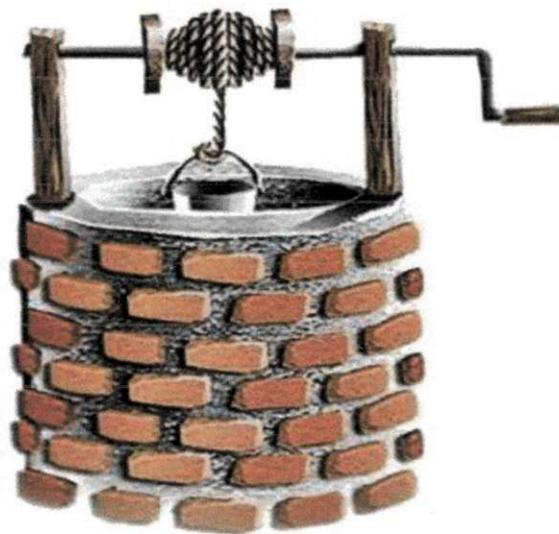


Figura 2.2 - Balde ou Sarrilho.

Fonte: <http://www.bombascentrifugas.com.br/bombas-uma-breve-história-2> (2011).

2.2.1.2 Corrente

Consiste em elevar a água pela simples aderência do líquido à corrente conforme mostra a Figura 2.3. É uma corrente metálica de material leve montada em roldanas. A velocidade da corrente deve ser superior à velocidade de descida do líquido. Com isso, forma-se uma corrente líquida que tende a acompanhar a corrente metálica. Na parte superior da corrente há uma escova ou anel de borracha que retira a água. Vale salientar que a corrente deve ter os elos curtos e achatados. A velocidade da corrente tem um valor médio abaixo do qual não há elevação, e acima deste valor a água retorna pelo lado oposto da corrente. É possível com o uso dessa corrente elevar água de poços com profundidade até 30 m.

2.2.1.3 Noras

As noras ou esteiras foram muito usadas antigamente, antes do advento das bombas, tendo seu uso diminuído nas ultimas décadas. Divide-se em dois tipos: de balde e de rosário.

a) Nora com balde

É constituído por um grande número de baldes montados numa cadeia sem fim atrelada a uma roldana na parte superior, na qual é aplicada a força motriz para retirada do fluído. A força motriz pode ser proveniente de motor, manual ou tração animal. Com o girar da roldana, os baldes deslocam-se no sentido das setas, passando por dentro da água do poço, subindo cheios e despejando em um coletor apropriado. A vazão desse tipo de máquina depende da capacidade dos baldes, da velocidade periférica da cadeia e do número de baldes que passa por segundo. A Figura 2.4 ilustra a configuração dessa máquina.

b) Nora de rosário

É semelhante a de balde, com a diferença de que a cadeia é provida de discos de couro ou de borracha que, passando por um tubo vertical, faz com que a água seja elevada no interior deste.

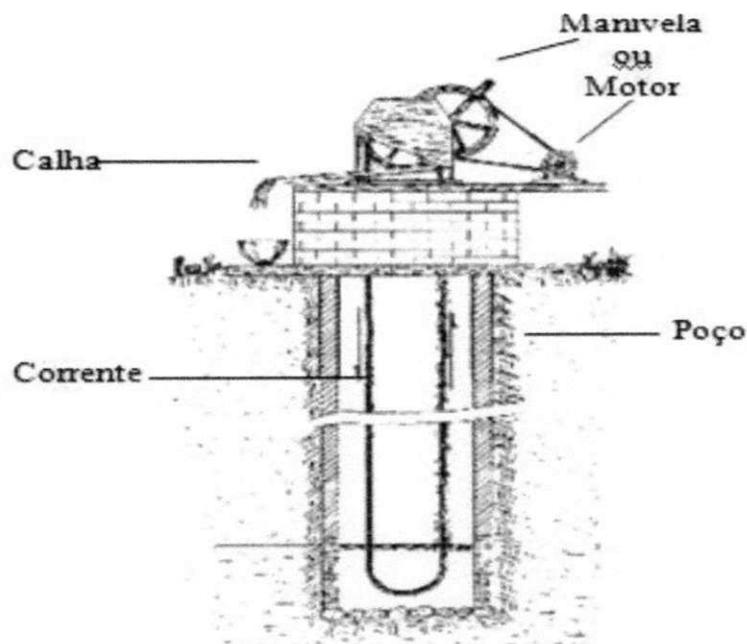


Figura 2.3 – Corrente.
Fonte: Daker (1983)

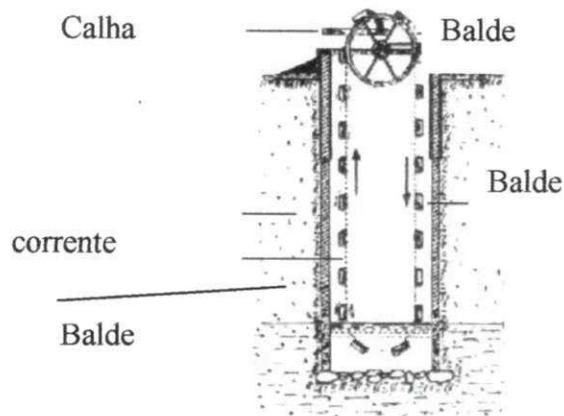


Figura 2.4 – Vista em corte lateral de nora de balde.
Fonte: Daker (1983).

2.2.1.4 Roda d' água

A roda d' água é um dispositivo circular montado sobre um eixo, contendo na sua periferia baldes ou aletas dispostas de modo a poder aproveitar a energia hidráulica atuante sobre o sistema.

a) Roda com baldes

Os baldes são montadas diagonalmente na roda. A água é conduzida por um canal e derramada na parte alta da roda, de modo a encher os baldes a medida que estes passam pela parte alta da roda, isso faz com que um dos lados da roda fique mais pesada, fazendo-a girar. Este tipo de roda extrai, principalmente, a energia potencial da água, uma vez que faz o aproveitamento do deslocamento da água de um ponto mais alto para um ponto mais baixo (Figura 2.5).



Figura 2.5 - Roda d'água com balde.
Fonte:<http://PT.wikipedia.org/wiki/ficheiro> (2011).

b) Roda mista (baldes e aletas)

Esta roda é empregada em rios, aproveitando a velocidade da água para seu funcionamento. A roda tem em sua periferia grandes pás e um número determinado de baldes. A medida que a água do rio se desloca, movimenta e impulsiona as pás, dando movimento de rotação. Entre as pás, os baldes são adaptados de modo a encherem-se com o movimento da roda, elevando e despejando em coletor próprio a água captada. Nos rios onde o regime de cheias fornece pequena variação do nível da água, essa roda é instalada nas margens. Quando a variação do nível é mais acentuada, elas são instaladas em flutuadores que acompanham o movimento de sobe e desce do rio (Figura 2.6).

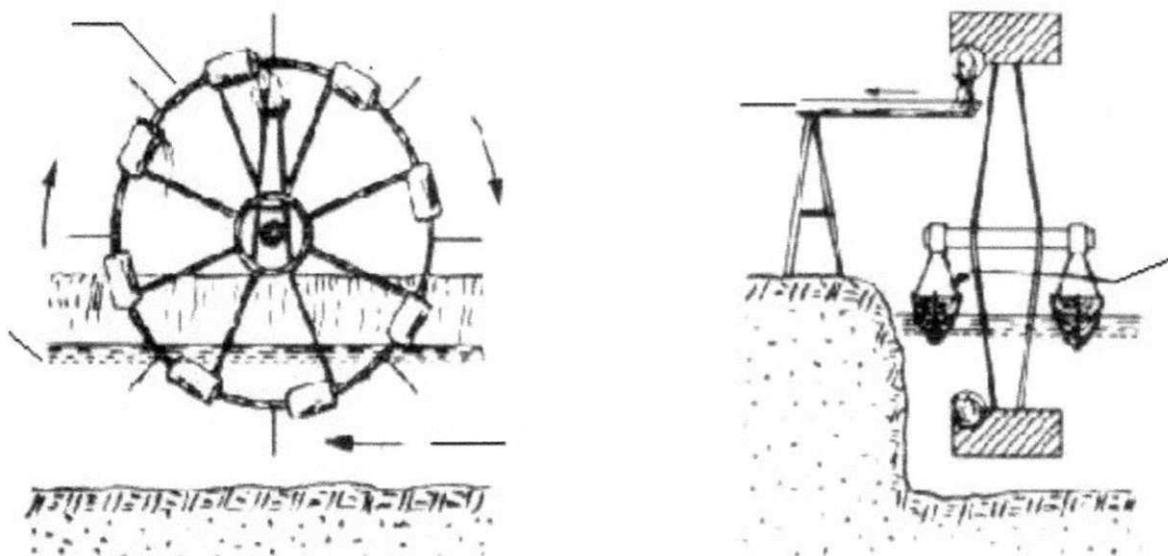


Figura 2.6 – Roda mista sobre flutuador.

Fonte: Daker (1983)

2.2.1.5 Parafuso de Arquimedes

Arquimedes (287 - 212 a.C.), idealizou e construiu um parafuso de rosca larga e colocou-o no interior de um cilindro e no topo, uma manivela, para poder girar o parafuso. Esse dispositivo tinha a vantagem de ser portátil, podendo ser transportado de um local para outro, por essa razão, foi largamente utilizado para elevar água pelos egípcios (Lima, 2003).

Os gregos no Século III a.C. usaram bastante este dispositivo para pequenas elevações de no máximo 3,50 m. O rendimento apresentado está entre 40 e 60%. Sua vazão está em aproximadamente 0,004 m³/h, para uma altura manométrica de 1m, quando acionado por um homem com boas condições físicas, durante um intervalo de tempo de 6 horas seguidas, até 0,7 m³/h para uma altura de 4,5 m quando acionado por moinhos de vento (Figura 2.7).

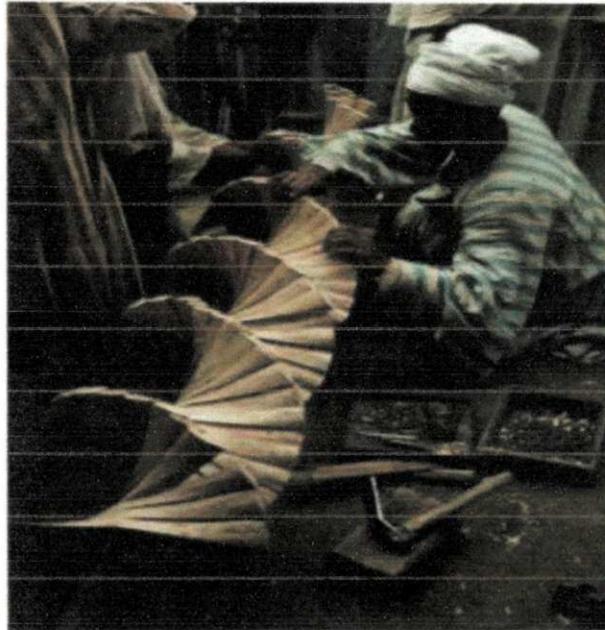


Figura 2.7 - Parafuso de Arquimedes.
Fonte: <http://www.bombascentrifugas.com.br> (2011)

2.2.2 Máquinas elevadoras por aspiração e recalque (bombas)

Este tipo de bomba faz com que o fluido se mova isolando um volume determinado e, aplicando uma força (provoca um deslocamento), que conduz este para uma saída ou local de descarga. Esta espécie é conhecida por bomba volumétrica, sendo que as mais usadas são as de pistão, de diafragma e centrífuga.

2.2.2.1 Bomba de pistão (movimento alternativo)

A bomba de pistão foi tido como o maior invento da época e foi idealizada pelo o matemático grego Ctesibius, provavelmente há cerca de 250 anos a.C. Essa bomba só veio ser construída mais tarde por seu discípulo Hero, de Alexandria. Uma bomba pistão pode ser caracterizada como aquela que possui movimento de vai e vem, diferindo do funcionamento das bombas centrífugas e rotativas que possuem movimento circular.

O movimento circular de um pedal, por exemplo é transformado em movimento retilíneo, por meio de um sistema biela manivela, durante o movimento alternado de vai e vem do pistão da bomba. Pelo sentido do seu deslocamento, cria uma depressão (vácuo) abrindo a válvula de sucção (a escova ocorre automaticamente - bomba autoescovante). Quando o fluido é comprimido, a válvula de escape se abre, permitindo que o fluido escape para fora do cilindro contra a pressão resultante da carga dinâmica. Um dos inconvenientes da bomba de pistão se prende ao movimento intermitente da água recalçada.

A bomba de pistão, êmbolo (Figura 2.8), é basicamente construída dentro de um cilindro, onde se movimenta um pistão acoplado a uma haste que se prolonga para fora acionado através de uma manivela. Em geral, para todo tipo de bomba d'água existem limites de sucção dos líquidos a serem bombeados verticalmente. Esse valor para a água é teoricamente de 7 m de coluna de água, nas chamadas condições normais de pressão e temperatura, ou CNTP. A razão é simples: no ato de puxar água do fundo do poço para cima, existe certa altura, com relação ao nível dessa água, a partir da qual não é mais possível elevar a água. Na altura mencionada dentro do cano, existe uma pressão negativa (um vácuo) equivalente ao peso da coluna de água, que é tão intensa que se inicia naturalmente a evaporação da água, fenômeno também conhecido como "quebra da coluna". Quando acontece a quebra, a água não cai, retornando ao poço, simplesmente a coluna fica parada nesta altura e não sobe mais.

Quando o pistão se desloca no sentido de admissão, cria-se um vácuo no interior da câmara. No sentido inverso, ou seja, na descarga, o pistão exerce pressão sobre o líquido fazendo com que os gases condensados durante a admissão se convertam novamente em água, voltando assim a situação inicial.

Na prática, no poço onde deseja-se retirar a água, devido à sua altura sobre o mar, da temperatura ambiente, das vibrações da bomba e outros, fica difícil elevar água por sucção, a mais de 6, 7 ou 8 m. Para elevar água a mais de 6 m, existem muitas outras técnicas de boa eficiência, como usar diversas bombas em série ou bombas centrífugas multi-estágio, que permitem, dependendo do modelo da bomba e das tubulações, elevar a água a centenas de metros. Para "puxar água" de poço com mais de 6m pode-se usar a bomba de roda ou bomba de corda (Sociedade do Sol, 2003).



Figura 2.8 - Bomba de pistão simples.
Fonte: <http://www.bombacentrifugas.com.br> (2011).

2.2.2.2 Bomba por diafragma (movimento oscilante)

A bomba de diafragma é um tipo de bomba no qual o aumento de pressão se realiza pelo empurrar de uma parede elástica, membrana ou diafragma que varia o volume da câmara, aumentando ou diminuindo de forma alternada; tem como principal função o controle de movimento dos fluídos de uma zona de menor pressão para a de maior pressão.

São usadas em pequenas vazões e em pequenas alturas e continuamente no meio rural, em esgotamento de valas, sendo conhecidas como bomba relógio ou bomba japi. Dividem-se em duas categorias: diafragma rígido e diafragma flexível. A bomba de diafragma é produzida em bronze e as duas válvulas oscilam em um corpo de ferro fundido atuando em conjunto com uma outra válvula situada dentro do corpo da bomba. Uma alavanca externa aciona a bomba que, quando acionada no sentido anti - horário, faz com que a válvula esquerda do corpo feche e a do diafragma do mesmo lado abra. Desta forma, a água passa do compartimento inferior do corpo para o superior.

O maior uso de uma bomba de diafragma está nos automóveis, bombeando combustíveis, podendo ser de acionamento mecânico ou elétrico. Existe um tipo de bomba de diafragma flexível ou elástico denominada popularmente “bomba sapo”, ou ainda “bomba submersa elétrica” ou “bomba vibratória elétrica”, por ser uma bomba que pode fornecer grandes vazões à pequenas alturas. Pode ser usada para o bombeamento de águas sujas ou mesmo lamas. É bastante usada no meio rural.

Este tipo de bomba é bastante simples, composta por um eletroímã, uma válvula e um martelete que vibra a 120 pulsos por segundo, conseguindo elevar água à altura de 85 m com vazão de cerca de 0,078 m³/h (Figura 2.9).



Figura 2.9 – Bomba de diafragma para água.
Fonte: www.bomba+diafragma+pneumatica (2010).

2.2.2.3 Bomba peristáltica

É conhecida como a bomba perfeita, sem válvulas, selos ou gaxetas e o fluido apenas entra em contato com a parte interior da mangueira. Por serem simples de instalar, fácil de operar e de manutenção rápida, as bombas peristálticas possuem um alto índice de venda, ou seja, é uma das mais vendidas no mundo. Possuem uma capacidade de bombeamento de até 0,78 metros cúbicos por hora com uma pressão de até 7 bar.

A concepção de uma bomba peristáltica é bastante simples. Uma compressão obtida por um rotor em movimento é gerado quando duas sapatas acopladas a ele exercem uma compressão numa mangueira de borracha reforçada, que isola por completo o fluido a ser bombeado. A aspiração é criada quando o movimento das sapatas que comprimem a borracha contra o corpo da bomba cria uma aspiração constante na entrada da bomba, impelindo assim o fluido para a saída da mesma. O corpo da bomba contém um lubrificante que reduz o atrito das sapatas na mangueira de borracha. O fluido bombeado só entra em contacto com a parede interna da mangueira, o que permite o bombeamento de uma grande variedade de fluidos reagentes.

Suas principais vantagens são: baixo custo, fácil manutenção, elevada pressão de recalque, pode funcionar a seco sem dano algum. Este tipo de bomba está sendo bastante desenvolvido no Estado de Montana - USA, para o bombeamento de água. Mas sua principal utilização é para o bombeamento de sangue humano, por este não ter nenhum risco de contaminação com o meio ambiente ou até mesmo de componentes existente no sistema (Figura 2.10).

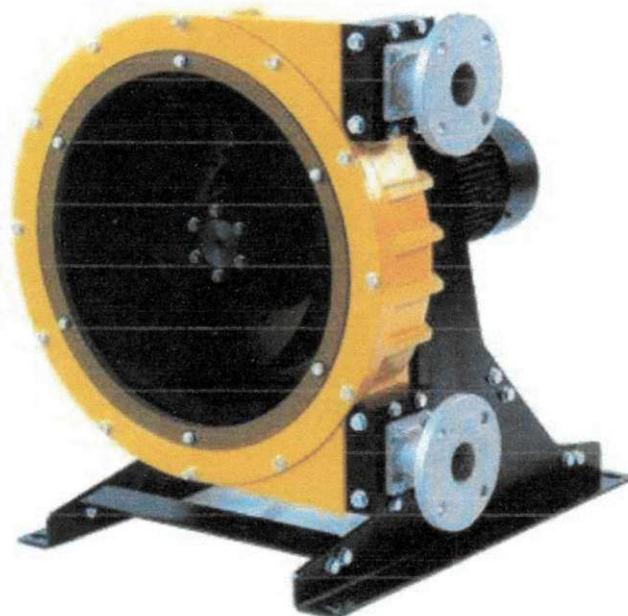


Figura 2.10 - Bomba Peristáltica.
Fonte: <http://www.hbtd.alibaba.com>. (2011)

2.2.3 Máquinas elevadoras

2.2.3.1 Carneiro hidráulico

O carneiro hidráulico é uma bomba d'água bastante usada no meio rural devido a falta ou escassez de energia elétrica. Foi criado pelo inglês John Whitohust, em 1772, porém necessitava de um operador para fazê-la funcionar. Assim, os irmãos Montgolfier, em 1786, tornaram o aparelho automático (posto em funcionamento não necessitava mais de operador). Trata-se, portanto de um aparelho bastante simples e de grande utilidade, por isso sua energia é originada da própria água em movimento.

É muito usado no meio rural para bombear água de rios e de outros mananciais hídricos para reservatórios elevados. Existem dois tipos: o carneiro hidráulico tradicional, com estrutura de ferro (Figura 2.11), e o carneiro hidráulico feito com garrafa PET (Figura 2.12). Em ambos, o fluxo d'água é feito por tubulações, entre o carneiro e o ponto d'água. Um carneiro hidráulico deve ser instalado no mínimo a um metro e meio abaixo da fonte d'água e a dez metros de distância deste ponto. Além disso, o carneiro hidráulico com garrafa PET pode ser construído pelo produtor rural, por ser um equipamento simples e que usa uma energia limpa que não degrada o meio ambiente (Abate e Botel, 2002).

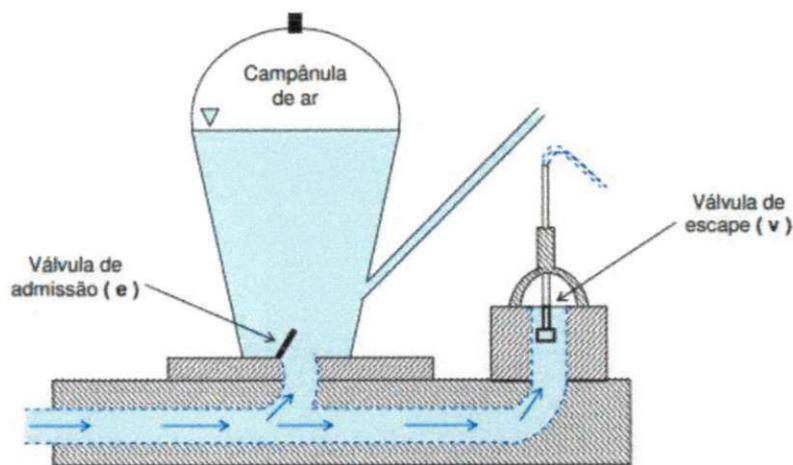


Figura 2.11– Carneiro Hidráulico.
Fonte: Pereira (2012)

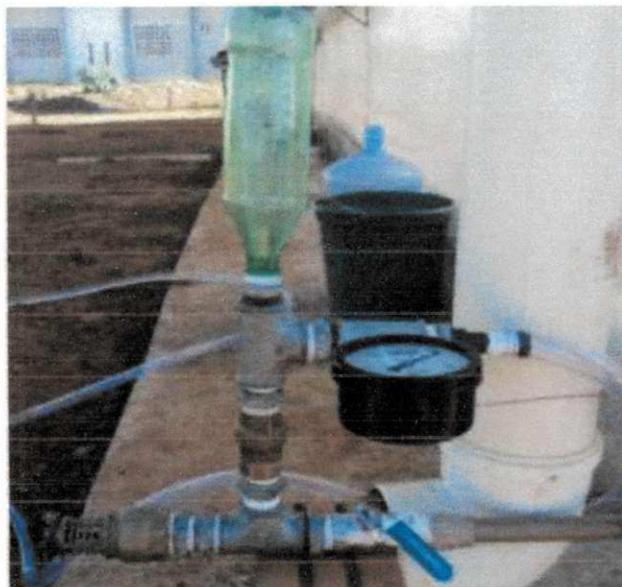


Figura 2.12 – Carneiro hidráulico com garrafa PET.
Fonte: Oliveira (2011).

2.2.3.2 Bomba d'água pneumática de ar comprimido

O ar comprimido, como fonte de energia, aciona a bomba d'água de duplo diafragma, (Figura 2.13a-b) sendo apropriado seu uso, para locais de difícil bombeamento, proporcionando uma vazão de 59 m³/h para água. Esse tipo de bomba oferece diversas vantagens técnicas e operacionais, dificilmente atingidas por outros tipos de bombas. As bombas pneumáticas são tão versáteis que sua gama de aplicação é fundamentalmente ilimitada. Elas se dividem em dois módulos, a parte molhada é um deles (manifolds e câmara de bombeamento) e a outra, que é o bloco central, é a parte seca, onde está a atuação do ar comprimido. Dois diafragmas separam os dois conjuntos e tem como função isolar o ar comprimido da parte líquida.

No sistema existe uma válvula de ar que direciona o ar comprimido para o bloco central, enquanto isso um dos diafragmas é pressurizado (câmara B), que por sua vez impulsiona o fluido existente na câmara de líquido. O líquido é direcionado para cima causado pela ação conjunta esfera/assento, sendo direcionado através dos coletores (manifolds) para a saída. No mesmo instante, o outro diafragma é arrastado para trás através do eixo que interliga os dois diafragmas, succionando líquido para dentro da outra câmara de bombeamento (câmara A). Quando os cursos dos diafragmas são completados, a válvula pressuriza a câmara do diafragma oposto, e assim completa o ciclo descrito acima. A bomba pneumática de duplo diafragma possui uma vazão de até 59,0 m³/h (metro cúbico por hora) e seu uso é destinado para: produtos químicos tóxicos, adesivos, tintas e vernizes, bombeamento de extrato de tomates, iogurtes, cremes, cosméticos, entre outros (Figura 2.13).



a)



b)

Figura 2.13 – a) Bomba d'água de ar comprimido. b) Bomba d'água de dupla seção.

Fonte: www.bomax.com.br (2012).

2.2.4 Máquinas elevadoras rotativas

Sua maior utilização é nos sistemas hidráulicos, no fornecimento de energia ao fluido. Possui também vasta aplicação em aviões, automóveis, máquinas operatrizes e prensas.

Seu princípio de funcionamento é da seguinte forma: a água é colhida na câmara por uma bomba rotativa e em seguida impulsionado por um motor elétrico, a bomba centrífuga proporciona velocidade ao fluido expulsando-o da câmara. A principal diferença da bomba rotativa para uma centrífuga, é que, a bomba rotativa é de deslocamento positivo com movimento circular, enquanto que a centrífuga é uma bomba de deslocamento não-positivo

2.2.4.1 Bomba de engrenagem

A bomba de engrenagem pode possuir duas ou mais engrenagens que se acoplam, ou membros que se acoplam em forma de lóbulos dentro de uma carcaça adequada. Ambas as engrenagens são montadas próximo à parede interna do corpo da bomba. O líquido é arrastado para a parte periférica das duas engrenagens e forçado então, através da abertura de saída. No contato de cada par de dentes é criado um vácuo, que faz com que a pressão atmosférica pressione o fluido para dentro dos espaços vazios, existente no contato dos dentes da engrenagem.

As pequenas folgas entre a parede da câmara da bomba e os dentes das engrenagens criam um selo apertado, impelindo assim o líquido, direcionando para o recalque. As bombas de engrenagens são capazes de produzir elevada pressão interna, sendo muito vezes utilizadas para bombear líquido expesso, tais como petróleo bruto e breu. Seu uso em veículos é bastante vasta, para bombeamento de gasolina e óleo (Figura 2.14).

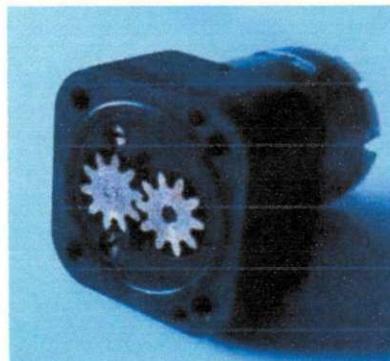


Figura 2.14 – Bomba d'água de engrenagens.

Fonte: www.bomba+de+agua+engrenagem (2012).

2.2.4.2 Bomba d'água rotativa de palheta

O princípio de funcionamento da bomba de palheta consiste em fazer, com que as palhetas acompanhem o contorno de uma carcaça. O mecanismo de bombeamento processa-se da seguinte forma: o volume do fluido deslocado pela bomba de palheta é determinado pela diferença entre as distâncias máxima e mínima em que as palhetas são estendidas, em função da sua largura. Nada pode ser feito para modificar a largura da parede, enquanto a bomba estiver em operação. No entanto, uma bomba de palheta pode ser projetada, de modo que a distância de deslocamento das palhetas possa ser modificadas. Através da ação de uma força centrífuga, as palhetas tendem sair, do rotor, assim, em contato permanente é realizado com a face interna do corpo.

Este sistema possui a vantagem de proporcionar vida longa a bomba, devido ao fato das palhetas terem sempre contato com o corpo, mesmo que estas apresentem desgastes nas extremidades. Assim o fluido penetra na bomba através do vácuo gerado por um orifício de entrada localizado em um ponto onde ocorre a expansão do tamanho das câmaras em função do sentido de rotação do rotor. Em seguida, o fluido é transportado para a saída da bomba, onde as câmaras reduzem seu tamanho, forçando-o a sair para fora da bomba (Figura 2.15).

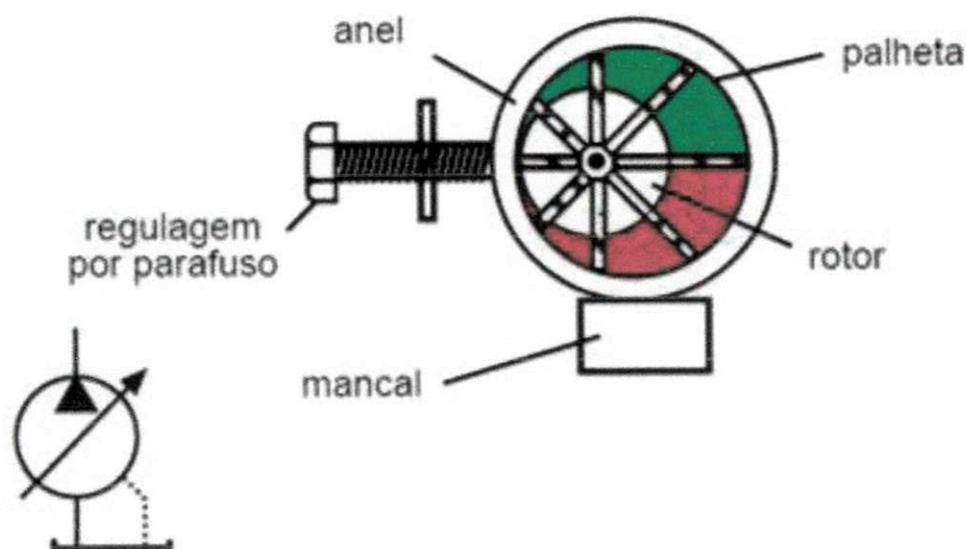


Figura 2.15 – Bomba rotativa de palheta.
Fonte: [www.bomba+de+água+rotativa+palheta\(2012\)](http://www.bomba+de+água+rotativa+palheta(2012)).

2.2.4.3 Bomba rotativa de pistão

Especialmente indicadas para as mais difíceis condições de trabalho, podendo bombear todo tipo de fluídos. Este tipo de bomba gera uma ação de bombeamento, fazendo com que os pistões se alterem dentro de uma carcaça cilíndrica. O mecanismo de bombeamento de uma bomba de pistão, consiste basicamente de uma carcaça cilíndrica, pistões com sapatas, placa de deslizamento, sapata com molas e placa com orifício.

Estes tipos de bombas operam baseados no princípio de que, se um pistão produz um movimento de vaivém dentro de um tubo, puxará o fluído num sentido e o expelirá no sentido contrário. Para garantir uma longa vida útil, as bombas rotativas de pistão apresentam uma construção bastante resistente. Seus componentes são projetados para garantir um desempenho satisfatório para altas pressões.



Figura 2.16 – Bomba rotativa de pistão.
Fonte: www.ebah.com.br (2012).

2.2.5 Bomba alternativa

2.2.5.1 Princípios gerais

As bombas alternativas, são máquinas que deslocam sempre o mesmo volume de líquido para cada ciclo de movimento de vaivém dos órgãos transmissores de energia ao fluído. As bombas alternativas pertencem a categoria das bombas de deslocamento positivo, porque o líquido no seu interior desloca-se praticamente com a mesma velocidade e o mesmo sentido do elemento bombeador, não permitindo recirculação ou retorno.

No curso do pistão, o deslocar do êmbolo tende a produzir o vácuo no interior da câmara, provocando assim o escoamento do líquido existente num reservatório devido à ação atmosférica, sendo esta superior a existente na câmara da bomba. É essa diferença de pressão que faz com que a válvula de sucção se abra e a de recalque se feche quando necessário.

Para o curso de descarga, o êmbolo exerce força sobre o líquido, forçando-o a se direcionar para o recalque, enquanto a válvula do recalque está se abrindo, mantendo fechada a da aspiração. Na bomba alternativa, o movimento interno do pino do pistão é convertido em movimento circular por meio de uma biela (Figura 2.17). Para o bom funcionamento de uma bomba alternativa é necessário o bom funcionamento do êmbolo e das válvulas de sucção e recalque.

Segundo Black (1979), o funcionamento de uma bomba de pistão é bastante semelhante ao de um motor veicular, que são:

- Exaustão de ar: O pistão se desloca até o fundo do cilindro, forçando o ar para fora.
- Entrada da água: Neste tempo de subida, cria-se um vácuo; a pressão atmosférica faz com que a água escoe para dentro do cilindro.
- Transferência de água: Durante esse tempo de descida, a água escoo através da válvula, isto é, é transferida para face superior do pistão.
- Descarga da água. Na medida em que o pistão sobe, a água é descarregada, isto é, ela sai da bomba.

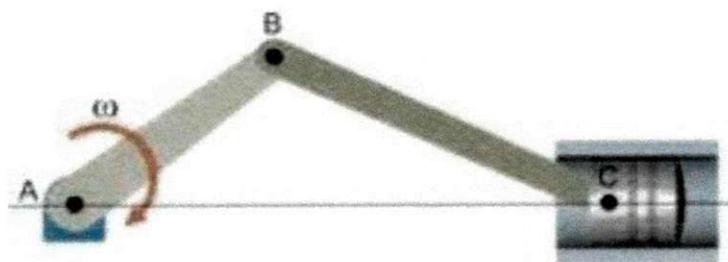


Figura 2.17– Esquema da Bomba de pistão.

Fonte: www.mcgarcia.vilatic.org (2012).

2.2.5.2 Fontes de energia para acionamento de máquinas elevadoras d' água

Diversas fontes de energia tem sido usada para acionar bombas e sistemas de bombeamentos. A Tabela 2.1 sumariza algumas delas.

Tabela 2.1 – Fontes de energia que acionam máquinas elevadoras d' água

Energia	Máquinas que utilizam energia	Máquinas elevadoras
Humana e animal		Máquinas elevadoras por transporte
		Bomba de pistão
		Bomba de diafragma
		Bomba de pistão e de diafragma
Eólica	Moinho de vento	Rodas de pás
		Hélice de Arquimedes
Da queda d'água		Carneiro hidráulico
Da água em movimento	Roda d'água	Bomba de pistão e roda mista
		Bomba centrífuga
De combustíveis	Motores a explosão	Bomba rotativa
Lenha	Máquina a vapor	Bomba de pistão
Elétrica	Motores elétricos	Bomba de ar comprimido
		Bomba de pulsação

Fonte: Holanda (2001)

a) Catavento (energia eólica)

Catavento é um dispositivo que aproveita a energia do vento (eólica) (Figura 2.18), para acionar uma bomba mecânica de pistão, que está acoplada diretamente ao rotor através da paletas eólicas. O funcionamento da bomba é dado pelo acionamento dos movimentos de sobe e desce exercido pelo rotor das palas, numa sequência contínua, bombeando água para fora do poço ou açude. Uma das desvantagens do catavento é o seu custo, que varia entre R\$ 7.000,00 a R\$ 30.000,00 e ter dependência do vento, no entanto sua vazão pode variar de 8 a 30 m³/dia (Yvel, 2011), (Fedrizzi, 1997).

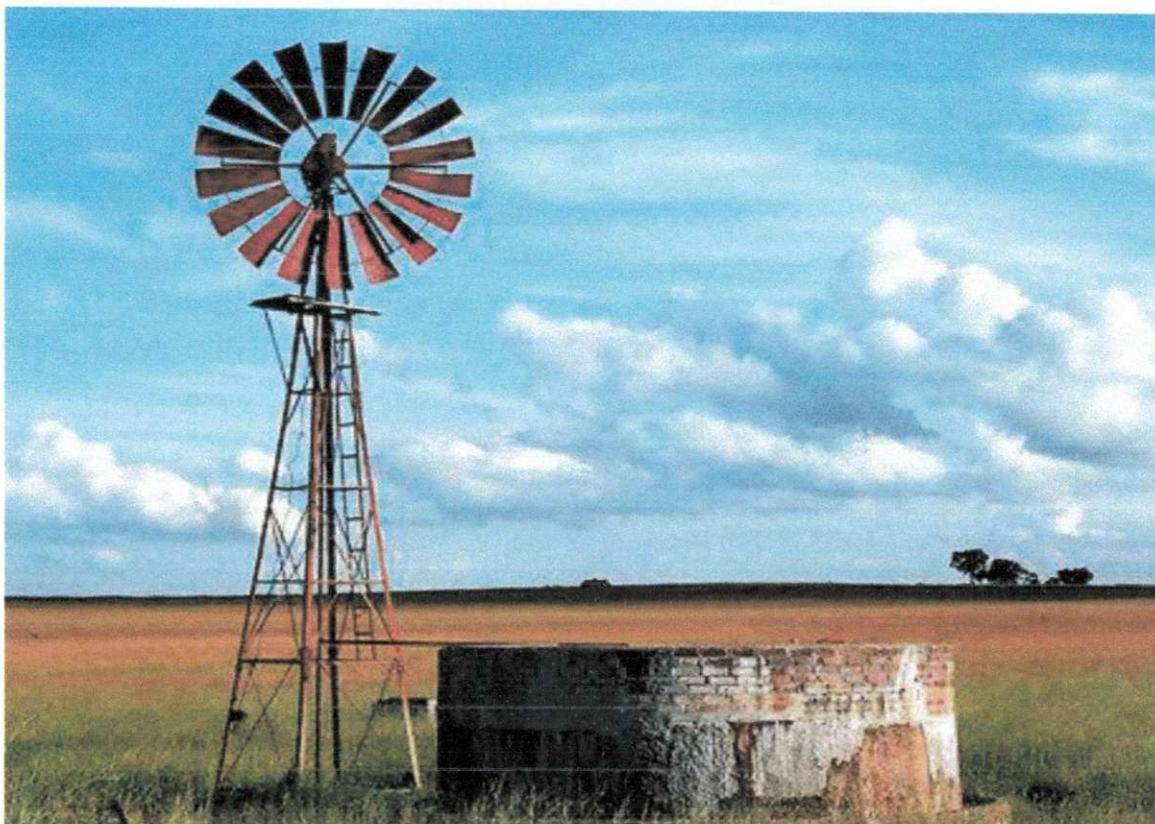


Figura 2.18 - Bomba de pistão acionada por catavento.

Fonte: www.citiservi.com.br (2011)

b) Propulsão humana

Qual a capacidade humana de esforço em diferentes processos de condicionamento físico que um homem, uma mulher e uma criança suportariam sobre condições normais?

A temperatura ambiente, as condições do local de trabalho, a forma como determinada pessoa se alimenta, são fatores importantes a considerar, para conseguir atingir um determinado nível dentro do grupo de trabalho a que o homem pertence. Além disso, todo esforço depende do estado de treinamento do corpo pelo condicionamento físico. Tudo isto são fatores a serem considerados. O que adianta uma boa nutrição quando se tem uma vida sedentária. Outro fator importante é o peso corporal, se, por exemplo, duas pessoas fizerem um mesmo esforço físico igual a por exemplo 80 W, para uma pessoa que pesa 50 kg, este é um esforço relativamente muito maior do que para uma pessoa da mesma idade, com bom condicionamento físico, que pesa 80 kg (Mellerowicz, 1984).

Os dados fornecidos nas Tabelas 2.4 referem-se a potência física que o ser humano pode ser capaz de desenvolver para acionar determinado equipamento disponibilizando um determinado esforço físico com as mãos e pés. Os dados fornecidos nas Tabelas 2.3 a 2.4 são relativas a homens, mulheres e crianças de idades diferentes e biotipos diversificados. Foram dados de longa duração realizados em laboratórios, monitorados por aparelhos de precisão, e supervisionados por médicos e professores formados em educação física.

Tabela 2.2 - Potência para uma pessoa sem condicionamento físico. Fonte: Gutierrez (2005).

Gênero	Idade	Potência (W)
Homem	20 a 30 anos	2,0 W / kg
Mulher	20 a 30 anos	1,5 W / kg

Tabela 2.3 - Potência para uma pessoa que pratica atividade física. Fonte: Gutierrez (2005)

Gênero	Idade	Potência (W)
Homem	20 a 30 anos	2,67 W / kg
Mulher	20 a 30 anos	2,00 W / kg

Tabela 2.4 - Potência disponível para homem, mulher e criança. Fonte: Gutierrez (2005)

Gênero	Acionamento	Potência (W)
Homem	Perna : pedal, manivela	100
	Braço ; pedal, manivela	70
Mulher	Perna : pedal, manivela	75
	Braço :pedal, manivela	50
Criança (menino / menina)	Perna : pedal, manivela	65
	Braço : manivela, alavanca	40

c) Motor Elétrico

Motor elétrico é um equipamento destinado a transformar energia elétrica em mecânica. De todos os tipos de motores, continua sendo o mais usado, pois combina as vantagens da energia elétrica baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando. É um dispositivo simples, possuindo grandes versatilidade de adaptação de cargas aliado a um ótimo rendimento, em outros fenômenos eletromecânicos, tais como forças eletrotáticas. O princípio de funcionamento dos motores eletromagnéticos, é que existe uma força em todo fio quando esta conduz corrente elétrica imerso em um campo magnético. A força é descrita pela lei de Lorentz, sendo esta perpendicular ao fio e ao campo magnético. Em um motor giratório, a parte que gira se chama rotor. Os fios criam um campo magnético, fazendo com que o rotor gire, quando um torque é desenvolvido sobre a linha central do campo magnético formado.

Os motores são constituídos de eletroímãs que são posicionados em ranhuras do material ferromagnético, que constitui o corpo do rotor e enroladas adequadamente dispostas em volta do material, que constitui o estator, sendo este a parte estacionária ou corpo do motor. Os motores elétricos mais comuns são: motores de corrente contínua e corrente alternada.

Para os motores de corrente contínua se faz necessário o uso de uma fonte, que converte a corrente alternada para contínua. Por essa razão, seu uso é mais restrito à casos especiais, em que estas exigências compensam o custo muito mais elevado para instalação, ou no caso da alimentação usada ser do tipo contínua, como no caso do uso de pilhas em dispositivos eletrônicos.

Os motores de correntes alternadas, são os mais utilizados, porque a distribuição de energia elétrica é feita normalmente em correntes alternadas. Tem como princípio de funcionamento um campo giratório, que inicia quando um sistema de corrente alternada trifásico é aplicado em polos defasados fisicamente em 120° . Dessa forma, um par de polos possui o campo de maior intensidade, que associados vetorialmente possui um efeito semelhante de um campo giratório que se desloca ao longo do estator e que também se altera com o tempo.

Os principais tipos de motores elétricos são os motores síncronos, que funcionam com velocidade constante. São normalmente usados, quando se necessita velocidades estáveis sob ação de cargas variáveis. Motor de indução, funciona com velocidade estável, que varia com a carga aplicada ao eixo. Devido a sua simplicidade, robustez e baixo custo, é o motor mais utilizado de todos, sendo portanto o ideal para acionar uma bomba centrífuga (Figura 2.19).



Figura 2.19 – Bomba centrífuga.
Fonte: <http://www.machineryzone.com> (2012).

2.2.6 O estado da arte sobre sistemas de bombeamentos de água alternativos

A pesquisa sobre energia sempre foi um fator essencial para evolução e crescimento da humanidade. A preocupação para obtenção de novas fontes de energia tem sido uma constância. O ser humano ao longo da sua história sempre buscou novas alternativas que facilitasse seu meio de vida, sempre dominando tecnologias em matrizes energéticas, tais como, a biomassa (lenha), o petróleo e o carvão. Hoje, as pesquisas sobre novas buscas em fontes energéticas mais eficazes e eficientes são bastante estimuladas, sobretudo, quando o assunto gira em função da crise energética e do prejuízo causado pela queima da fauna, flora e a grande poluição provocada pelos combustíveis fósseis.

Atualmente novas pesquisas estão sendo desenvolvidas, novos trabalhos estão sendo estimulados, grandes empresas estão procurando pesquisadores com grandes idéias, tudo isso evidenciado através de textos, revistas, trabalhos de mestrado e doutorados aplicados sobre bombas d'água e suas utilizações em residências, pequenas lavouras, indústrias, etc. A seguir apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre o tema.

Baumann (2011) apresenta um estudo sobre a oficina Malienne Pump, em que o próprio agricultor produz sua bomba d' água manual de pistão para irrigação em pequena escala e as usa em suas residências para o pequeno cultivo das suas próprias lavouras. As associações se uniram e criaram tecnologia direcionada para fabricação de tipos de bomba que se ajustasse a condição local e se adequasse ao uso do pequeno agricultor com toda matéria prima disponibilizada (tubos de PVC, barras de aço de construção, madeira, couro e pneu de bicicleta) para fabricação do equipamento.

As bombas foram construídas e testadas, no entanto seus desempenhos ficaram muito restritos, mas, mesmo assim poderiam recalcar água para uma altura manométrica de aproximadamente doze metros. O seu custo de produção é de aproximadamente US\$ 60,00, incluindo o processo de instalação. Como o agricultor constroe sua própria bomba, ele próprio se encarrega da manutenção, sendo bastante frequente pelo fato das bombas serem construídas de forma artesenal (Figura 2.20 a-c).

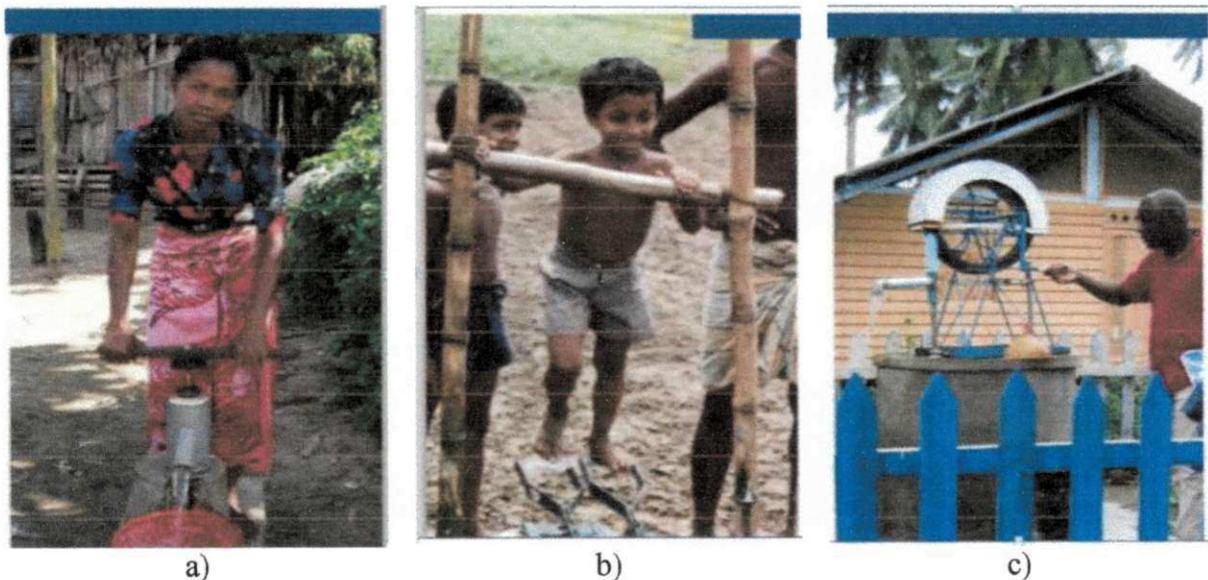


Figura 2.20 – Diferentes tipos de bombas em operação. a) Bomba com acionamento manual
Bomba com acionamento de bambu. b). c) Bomba acionada por manivela.

Fonte:Baumann (2011).

Martin (2011) desenvolveu um protótipo de bomba de Mecate, tendo como base a adaptação de uma antiga cadeia de bomba de pistão produzida desde os primórdios na China. Durante os anos setenta e oitenta foi bastante incentivada à introdução da bomba de corda em muitos países, por meio de projetos em desenvolvimento, voltados para o pequeno agricultor.

O princípio de funcionamento da bomba de pistão desenvolvida por Martin (2011) consiste em um quadro de bicicleta com seu sistema de transmissão (coroa, corrente e pinhão) acionado por uma pessoa através dos pedais. Interligado ao sistema esta uma corda que aciona duas roldanas, que por sua vez, movimentam uma corda com alguns pequenos copos de plástico preso por uma corda dentro de um tubo de PVC vertical (Bartle 2012), sendo que, uma de suas extremidades fica submersa dentro do poço d'água (Figura 2.21a-b). A água enche os copos sendo conduzido pelo movimento contínuo do sistema de transmissão.



Figura 2.21 – Bomba de Mecate. a) Esquema geral da bomba. b) Detalhe do pequeno copo utilizado na bomba. Fonte: Martin (2011)

Oliveira et al. (2011) realizaram um estudo sobre a construção e avaliação de um carneiro hidráulico com garrafa PET descartável (Figura 2.22). O experimento foi montado no Laboratório de Hidráulica do Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas (ICAT), no campus da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

As variáveis do experimento foram as garrafas PET descartável de 0,6 e 2,0 litros, onde foi avaliado o volume recalcado, volume desperdiçado, altura da água recalcada e números de golpes de aríete por minuto. Após avaliação verificou-se que o desempenho do carneiro hidráulico com a garrafa PET de 0,6 litros, foi superior ao de 2,0 litros, para o recalque.

A quantidade de golpes de aríete variaram entre 75 e 85 golpes por minuto para ambas as garrafas, respectivamente. Observou-se ainda, uma pequena diferença em relação aos

diferentes volumes das garrafas. A vazão para a garrafa PET de 0,6 litros, correspondeu a 25,2 litros/min e para a garrafa PET de 2,0 litros, obteve-se uma vazão de 20,4 litros/min.



Figura 2.22 - Carneiro hidráulico com garrafa PET.
Fonte: Oliveira (2011).

Marroquin (2010) apresenta um sistema de bombeamento d'água a pedal acionado por propulsão humana, ou seja, com o uso das pernas. Este sistema pode bombear entre 50 e 100 litros/min (18,9 a 37,8 galões por minuto) e pode puxar água de até 30 m de profundidade com o uso de pequenos copos acoplado a uma corda.

Seus principais componentes são: um sistema de transmissão de bicicleta (coroa, corrente e pinhão), volante feito de concreto e uma corda com copos acopladas. Toda a estrutura é de madeira, que dá ao sistema o suporte necessário para ser sustentável. Como mostram as Figuras 2.23 e 2.24, o sistema consiste em acoplar uma bicicleta, que serve de acionamento para o sistema de bombeamento, que por sua vez aciona uma roldana por onde passa uma corda contendo diversos pequenos copos de borracha presos a ela.



Figura 2.23 - Sistema de bombeamento sendo operado por bicicleta.
Fonte: Marroquin (2010)



Figura 2.24 - O sistema de bombeamento sendo preparado para uso.
Fonte: Marroquin (2010)

Leary (2010) decidiu em parceria com a Maya Pedal (ONG), recolher bicicletas velhas e transformá-las em equipamentos que pudesse de alguma forma contribuir para o bem estar do pequeno agricultor. O objetivo neste caso foi adaptar uma bomba d'água manual a uma bicicleta, surgindo assim a bicibomba ou bomba d'água acoplada a uma bicicleta móvel (Figura 2.25a-b). Foi concebida para trabalhar com a potência da perna, que é cinco vezes superior a do braço humano. Uma pessoa normal que pratique exercício físico pode produzir aproximadamente 100W com as pernas, por um curto intervalo de tempo (Leary, 2010).

A bomba foi acoplada sobre o eixo traseiro da bicicleta junto com suporte de encosto para o sistema na hora do bombeamento. Conseqüentemente, o sistema pode ser usado para regar pequenas lavouras e elevar água de um açude para uma caixa d'água. Segundo Leary (2010), o sistema possui um poder de sucção de 5 m de altura, um poder de recalque igual a 26 m de altura e vazão de 40 litros/minuto.

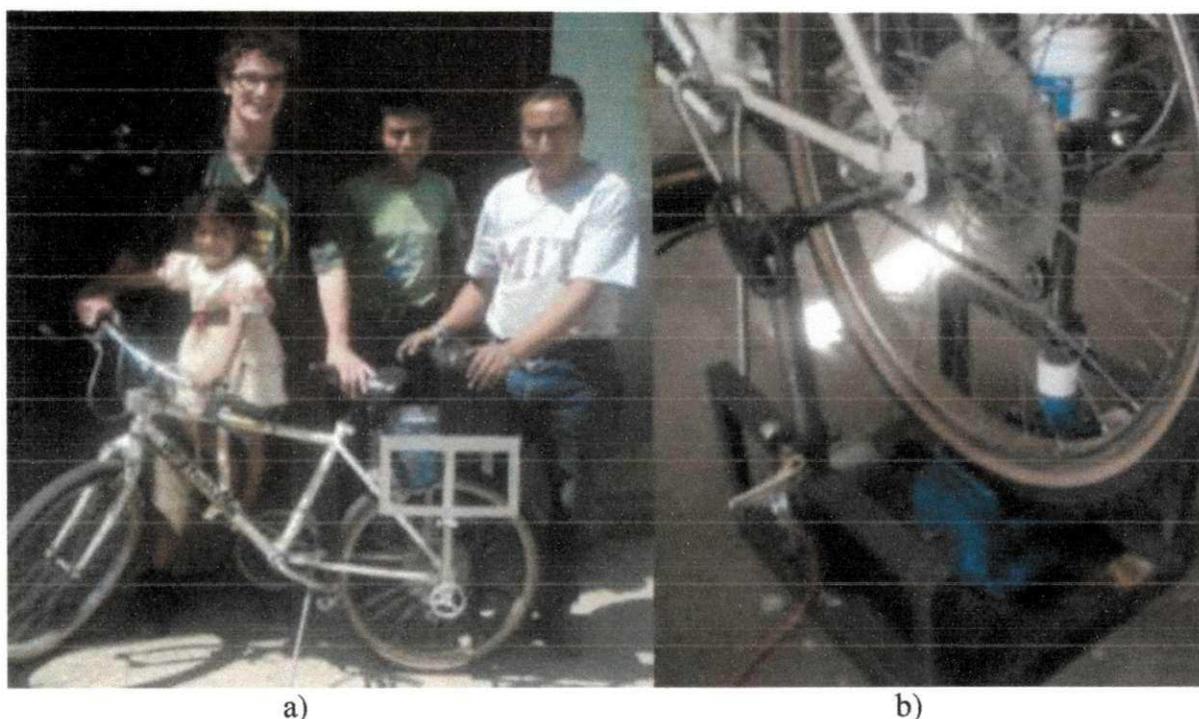


Figura 2.25 - a) Bicicleta com bomba. b) Bicicleta pronta para uso.

Fonte: Leary (2010)

Practical Action (2012) reporta uma bomba d'água acionada por pedais de bambu cuja força motriz é a humana, sendo esta sua principal vantagem, uma vez que o equipamento não precisa de energia elétrica, eólica ou fotovoltaica para ser acionada. A bomba à pedal de bambu tem contribuído para o acréscimo da renda dos agricultores, por apresentar uma maior vazão em relação às acionadas através das mãos, devido a maior resistência das pernas. A bomba à pistão acionada por pedal de bambu, possui um poder de sucção de até 6,0 m abaixo da superfície e possui uma vazão máxima de 18 m³ por hora (estes dados são valores aproximados e devem ser tomados como guia) (Practical Action, 2006). Com o aumento da altura de recalque, a vazão volumétrica, segundo a Practical Action, tende a diminuir. Este tipo de bomba foi desenvolvido no Nepal e a maioria das peças são artesanais, ou seja, fabricadas no local das atividades, produzindo assim uma renda para a economia local.

O equipamento é desenvolvido basicamente para irrigação de pequenas lavouras (2000 à 3000 m²), onde os próprios familiares se revezam no acionamento do mecanismo. A bomba de pistão é composta por dois cilindros e conjuntos seleccionados de válvulas, sendo estes acionados através de pedais de bambu, criando assim cursos alternados no dois pistões, bombeando a água através de pulsações (Figura 2.26 a-b).



a)



b)

Figura 2.26 - Bomba acionada por pedais de bambu. a) Sistema de bombeamento sendo acionado. b) Esquema da bomba de pistão acionada a pedal de bambu.

Fonte: Practical Action (2006).

Zingman (2007), da equipe do AD-Lab, projetou e construiu um Savonius Eólico para acionar (70 a 100 rpm) um eixo vertical ligado a um rotor com turbina para uso em sistemas de bombeamento de água na zona rural de Honduras. Para a realização deste experimento foi estudado diversos tipos de equipamentos com mudanças nos mecanismos aerodinâmicos, para conseguir fazer com que o mecanismo funcionasse adequadamente. A bomba de água utilizada foi a de cordas com pequenos canecos que se deslocam preso a corda dentro de um tubo, com uma das extremidas dentro da água. O Savonius é feito de tambores de óleo cortado em duas metades e aparafusados em sentido oposto uma a outra. Diversos testes foram apresentados porém, o equipamento não funcionava. No entanto, depois de muitas mudanças, o resultado obtido surgiu com as alterações do mecanismo, redução de peso e atenuação de atritos dos componentes (Figura 2.27).

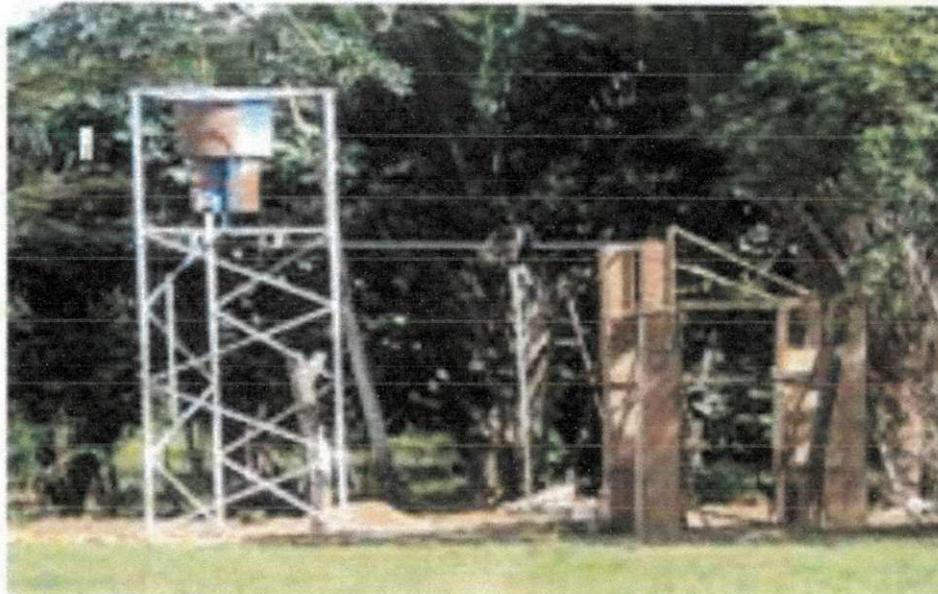


Figura 2.27 - Bomba d'água acionada por Savonius.
Fonte: Zingman (2007).

Hiller (2007) apresentou no Zâmbia, uma bomba d'água à pedal acionada por propulsão humana (Figura 2.28a-e), com o objetivo de avaliar a contribuição do sistema para o bem estar do pequeno agricultor. A bomba de pistão é acionado por propulsão humana (pernas). Segundo Hiller (2007), a bomba possui uma vazão de 2,5 a 5,0 m³/h, que é suficiente para irrigar 0,2 a 0,4 hectáres, além de plantios de hortaliças. De acordo com a Empresa de Desenvolvimento Internacional (IDE), a bomba aumentou o rendimento agrícola para mais de US\$ 100,00 por ano, o que não deixa de ser um dado significativo, devido ao estado de pobreza de algumas regiões do País.

Nos últimos dez anos a IDE vem procurando conscientizar o homem do campo sobre os benefícios que o sistema fornece para o pequeno agricultor. Porém, um grande problema na acessabilidade da bomba de pedal para os mais pobres, continua sendo seu preço (US\$100,00) que, devido ao estado de pobreza, continua sendo um impecilho para sua aquisição. Para uma família que vive abaixo de 1,0 a 2,0 dolares por dia, esta soma é portanto impossível de ser paga.

No entanto, segundo a IDE, um fazendeiro comprou o sistema de bombeamento à pedal, lucrou com ele e hoje é uma das pessoas mais próspera da região, conseguindo comprar mais terra, aumentar seu plantio e, ainda mais, seu poder aquisitivo.



a) b) c) d) e)
 Figura: 2.28a-e) – Diversos sistemas de bombeamento à pedal em operação. a) Sistema sendo acionado com as pernas. b) Sistema sendo acionado com as mãos. c) Bomba acionada por pedais de madeira. d) Sistema de bombeamento. e) Sistema de bombeamento sendo operado.

Fonte: Hiller (2007).

Adeoti et al. (2007) realizaram um estudo na África Ocidental, com uso de computadores, para avaliar o desempenho de uma bomba d'água à pedal (Figura 2.29) acionada por um sistema de transmissão de bicicleta (coroa, corrente e pinhão), como uma possível alternativa para substituir o balde preso a uma corda. O objetivo foi melhorar a produção e a renda e com isto, diminuir o índice de pobreza entre as famílias dos agricultores rurais. Nesse estudo, os dados coletados foram anotados e as estratégias adotadas foram utilizadas para a divulgação, adoção e impacto que causaria o funcionamento de um sistema de bombeamento à pedal nas comunidades. As principais fontes de dados foram obtidos através dos usuários do equipamento (proprietário ou não) e os resultados foram comparados. Os dados obtidos mostraram que houve um ganho real através do tempo, da redução da carga horária e aumento das áreas irrigadas, porque muitos agricultores só tinham um hectare de terra.



Figura2.29 – Sistema de bombeamento à pedal recalçando água de um poço.

Fonte: Adeoti et al. (2007).

O sistema de bombeamento à pedal possui uma gama de características que supera alguns outros equipamentos de irrigação, tais como: a utilização sobre uso prolongado do peso corporal e da musculatura das pernas. Neste sistema, o operador pedala em pé, o que oferece a este usuário operar o equipamento por um longo período de tempo. Outra vantagem é que as peças, por serem simples, podem ser encontradas facilmente em locais onde vendem componentes de bombas de pistão e lojas de materiais para bicicletas.

Foi constatada uma vazão entre 5 a 10 m³/h, dados esses obtidos em uma situação real a partir de poços perfurados, com uma sucção real comprovada de até sete metros (7,0 m) de profundidade. Foram realizados testes em superfícies tais como lagos, rios e açudes de várias cidades africanas, e os benefícios do sistema foram bem aceitos pelas comunidades (Adeoti et al., 2007).

Gilg et al. (2006) apresentaram uma nova bomba d'água de modelos Jabsco 1973-1003 que funciona à baixa e alta rotação, com vazão oscilando segundo a rotação, ou seja, podendo bombear 2,2 galões (1 galão americano corresponde a 3,78 litros) ou mais por minuto (0,5 m³/h) e pode ser operada entre 500 a 1800 rpm. Pôde-se perceber que esta bomba apresentou uma ótima vazão. Para uma altura manométrica de 10 pés, que equivale a 3,05m, onde no recalque apresenta uma pressão de 4,3 psi ou 0,296 bar. Esta bomba é acionada por uma bicicleta comum, na qual a bomba é acoplada quando existe a necessidade de bombear a água. Com o término da operação, a bomba é novamente desconectada, voltando à bicicleta as suas atividades, que é o transporte do ciclista (Figura 2.30(a-b)).



a)



b)

Figura 2.30 a) Bomba d'água Jabsco b) Bomba d'água Jabsco em operação.

Fonte: Gilg et al. (2006).

A bomba de rio Rife (2012) é um sistema que não depende do homem para o bombeamento de água, sendo totalmente mecânico. Funciona sem eletricidade ou combustível, sendo o seu poder de bombeamento fornecido pelo fluxo de água, o que consiste em sua pior desvantagem, porque se não houver uma correnteza, não existirá, portanto energia para o sistema.

Como no sistema existe apenas um corpo móvel, o acoplamento é assim lubrificado pelo próprio fluido. Todas as partes são anti-corrosivas e concebidas para suportar um elevado tempo de trabalho sem requerer manutenção. Além de apresentar boa vazão, a bomba de Rio Rife pode ser usada para as necessidades básicas domésticas, irrigações, lagoas e jardinagem. É muito útil para ser usada em tanques com peixes, porque o fluido bombeado está com grande quantidade de ar (Figura 2.31).

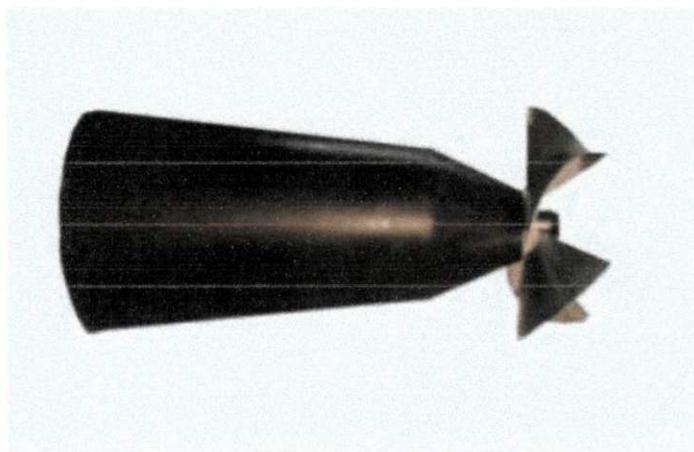


Figura 2.31 - Bomba de rio Rife.

Fonte: www.amazon.com/rp-100-river-pump (2002).

Holanda (2001) projetou, desenvolveu e testou uma bomba de diafragma para uso à baixa rotação, que pode ser acionada por um sistema de transmissão (coroa, corrente e pinhão), vento e por roda d'água. Foi realizado um estudo comparativo do seu desempenho em relação a uma bomba de pistão encontrada no comércio e pôde-se observar que: com o aumento da potência no eixo da roda d'água, a vazão que é fornecida através da bomba de pistão tende a um aumento no seu rendimento. Este é um comportamento que não existe na bomba de diafragma. Controlando a vazão sobre a roda d'água, o rendimento da bomba de pistão foi muito superior ao da bomba de diafragma e que, o rendimento da bomba de diafragma aumenta com o decréscimo da altura de recalque (Figura 2.32a-b).

A bomba de diafragma é composta por duas câmaras cilíndricas, local onde o diafragma está acoplado, sendo o diafragma produzido de uma borracha adequada para seu uso. Um esquema da bomba encontra-se na Figura 2.33 com todos os seus componentes. A vazão média apresentada pela bomba de diafragma acionada pela roda d'água foi $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ e a potência foi aproximadamente $3,20 \text{ Watt}$.

A bomba de pistão apresentou uma vazão média de aproximadamente $1,13 \text{ m}^3/\text{h}$ e potência média de $7,8 \text{ Watts}$. Pode-se ver que a bomba de pistão apresentou um valor médio para vazão volumétrica inferior à bomba de diafragma.

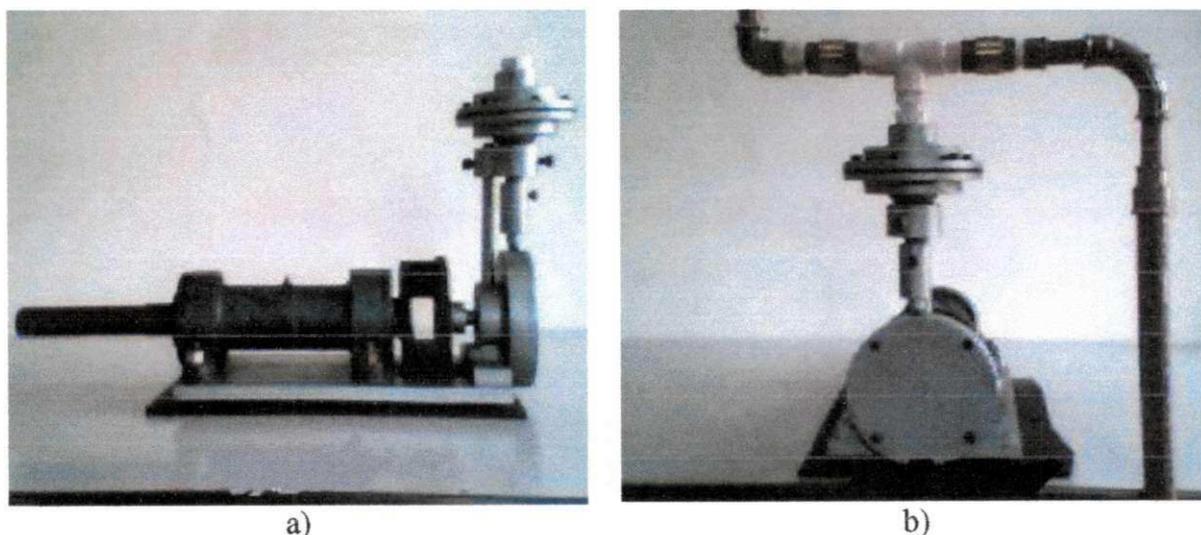


Figura 2.32 – Bomba de diafragma. a) Acoplada ao eixo da roda d'água. b) Vista frontal com tubulação e válvula. Fonte: Holanda (2001).

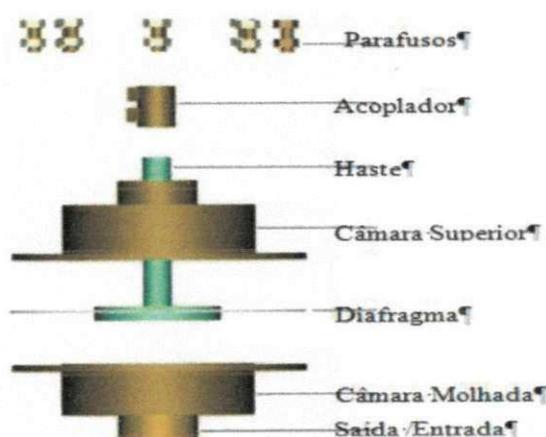


Figura 2.33 – Esquema da bomba de diafragma. Fonte: Holanda (2001).

Brasileiro (1991), citado por Pereira e Melo (2010), desenvolveu um sistema de bombeamento d'água acionado por tração humana utilizando, um sistema de transmissão de bicicleta (pedal, coroa, corrente e pinhão) que serviu para acionamento do eixo da bomba. Todo sistema de transmissão foi interligado por corrente de bicicleta, que acionado através do pedal fazia com que todas as partes móveis entrasse em movimento circular acionando assim uma manivela. A manivela, ao se movimentar aciona o êmbolo da bomba responsável pelo movimento do fluido.

A estrutura do sistema era a mesma de uma bicicleta. A bomba usada foi uma bomba de pistão com dupla seção, marca Riachuelo, de forma que o significado disto era que a vazão obtida (1,6 m³/h) fosse superior a uma bomba comum. A novidade deste trabalho, foi o adição de um volante de patrol com massa em torno de 47 kg, que tinha como função, armazenar energia para depois dissipa-la no êmbolo da bomba para que a pressão no interior da câmara fosse atenuada. Como uma continuidade do trabalho de Brasileiro (1991), Guimarães e Rocha (2005), aperfeiçoou o sistema de bombeamento, nas seguintes partes:

- O assento do modelo original era na vertical, semelhante a uma bicicleta comum. Na versão modificada a posição do banco com encosto ficou na horizontal.
- O sistema bomba, biela e manivela estava situado na parte dianteira do sistema. No modelo atual, o sistema bomba, biela e manivela esta acoplado na parte traseira .
- O sistema original era pesado, enquanto que o atual é bem mais fácil de locomoção, por ter toda estrutura confeccionada em tubos. A Figura 2.34 ilustra com mais detalhes o que foi esplanado.



Figura 2.34 – Unidade de bombeamento à pedal aperfeiçoado.

Fonte: Guimarães e Rocha (2005).

Sociedade do Sol (2003) reporta o desenvolvimento da mais simples das bombas, que é uma bomba d'água semelhante à bomba de encher pneu de bicicleta. A bomba d'água puxa-empurra possui um conjunto de válvulas de retenção e sucção que funciona de forma simples: quando a sucção abre, o recalque fecha, e vice-versa.

Sua construção é bastante simples e seu material de baixo custo é facilmente encontrado no comércio. Seu funcionamento é basicamente semelhante a uma seringa gigante que succiona a água através de um tubo dentro do cilindro, em seguida expela para fora por outro tubo. As duas válvulas de retenção direcionam o fluxo da água enquanto o movimento de vai e vem é executado, o processo torna-se contínuo enquanto o sistema de bombeamento estiver sendo acionado.

Pode-se afirmar que essa tecnologia funciona de forma satisfatória, no entanto, sua vazão é muito pequena só servindo basicamente para bombear água para pequenos plantios (Figura 2.35a-b).

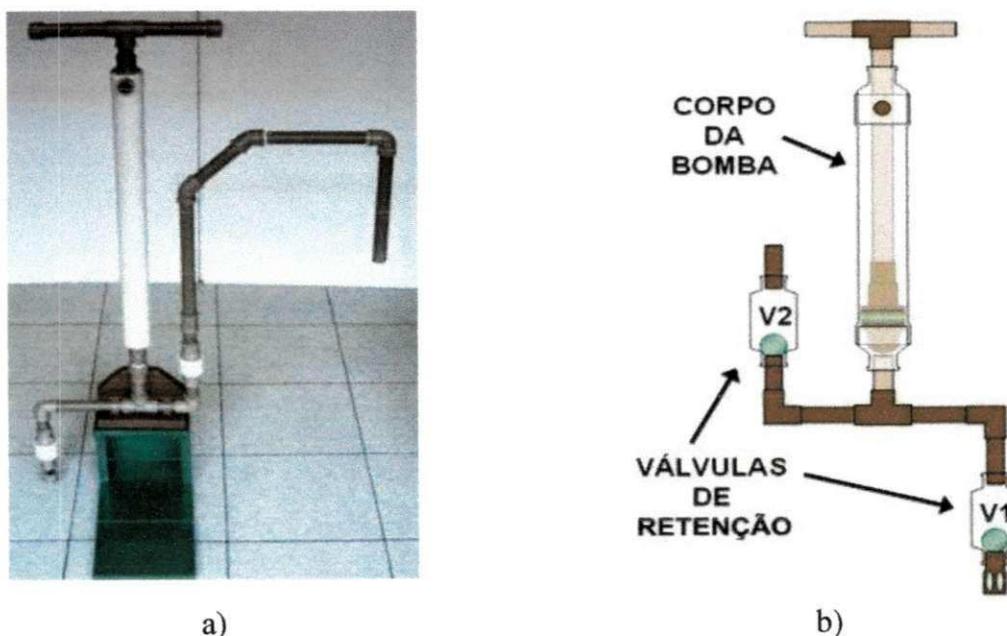


Figura 2.35a-b) – Bomba d'água manual puxa-empurra. a) Modelo construída de tubos. b) Detalhes das válvulas. Fonte: Sociedade do Sol (2003).

Mancebo (2010) projetou a bomba de água de corda elevada. Este projeto foi elaborado pela universidade de Castila – La Mancha e AECID para a engenharia sem fronteiras. Foi realizado um estudo sobre detalhes de construção e manutenção de bombas. Com essa bomba a água pode ser bombeada a uma altura de 6 metros ou ser conduzida até

uma caixa de água e distribuída por gravidade para residências e pequenas plantações. A bomba de corda é uma bomba volumétrica com deslocamento positivo e seu funcionamento está baseado em pequenas capturas com confinamento de pequenos volumes de água dentro de um pequeno copo (Figura 2.36).

Para conseguir esse objetivo dispõe-se de uma corda que arrasta uma série de pequenos pistões cada um separado por uma distância de 1 metro e presos a corda por um orifício central. Quando a corda passa pelo interior do tubo com os pistões, por serem estes muito justo com o cano, este impede seu retorno, conduzindo-os até uma abertura na altura determinado do tubo para a saída de água (Figura 2.36).

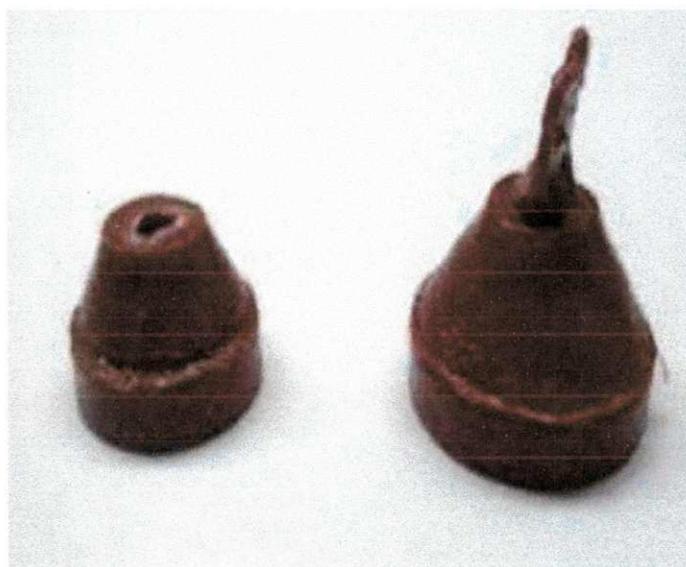


Figura 2.36 – Copos da bomba.

Fonte: Mancebo (2010).

A roda que é acionada manualmente por uma pessoa, possui uma corda de diâmetro de 430 mm, por essa razão pode obter uma vazão de $1\text{m}^3/\text{h}$, com uma potência de acionamento 48W perfeitamente disponível para uma criança ou mulher, de forma confortável. Seu rendimento é justificado (90 %) por ser superior a muitas bombas convencionais existentes no mercado. A Figura 2.37 apresenta a Roda de acionamento manual por manivela.

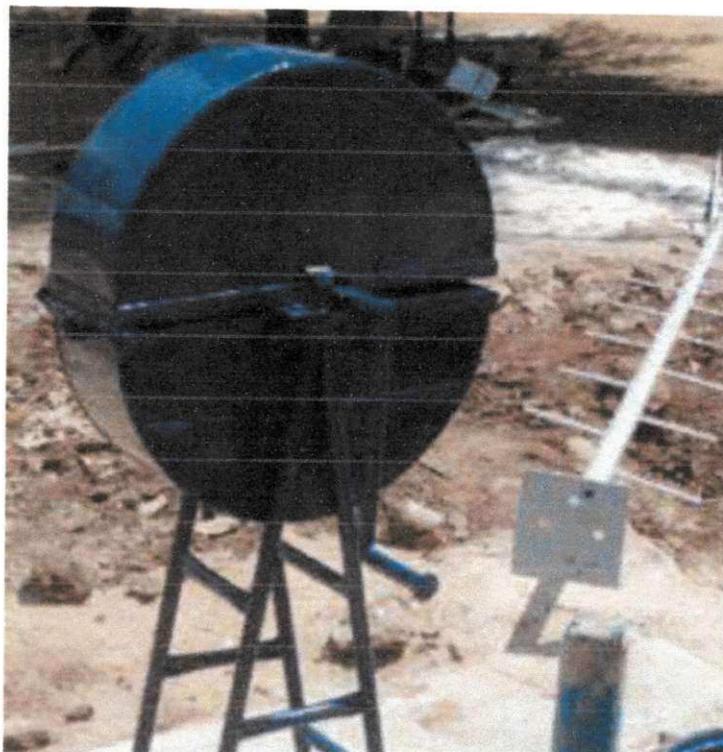


Figura 2.37 - Roda com manivela.
Fonte: Mancebo (2010)

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1 Experimental

3.1.1 Sistema de bombeamento à pedal

O modelo usado para os testes foi um sistema de bombeamento de água à pedal acionado por propulsão humana, aperfeiçoado de um projeto original de 1991, desenvolvido pelo próprio autor, conforme ilustra a Figura 3.1. Este projeto original foi aperfeiçoado por Guimarães e Rocha (2005) com um design bem mais moderno, tomando a forma do novo protótipo conforme ilustra a Figura 3.2. Contudo, um estudo criterioso de desempenho do sistema não foi realizado por Guimarães e Rocha (2005).

Sendo assim, dando continuidade ao trabalho de análise deste protótipo, enfatiza-se para esta nova etapa, a parte prática do sistema tais como: cálculo de forças, torque nos eixos e manivela, vazão do fluido, altura manométrica e eficiência do desempenho da bomba e sistema de bombeamento.



Figura 3.1- Unidade de bombeamento acionada por propulsão humana.

Fonte: Pereira (2010).



Figura 3.2 – Unidade de bombeamento à pedal acionada por propulsão humana aperfeiçoada.
Fonte: Pereira (2010).

A bomba utilizada no sistema foi uma bomba comercial manual de pistão de duplo efeito, de marca Riachuelo, conforme ilustra a Figura 3.3a-c. Esta bomba, contém uma válvula de bronze na entrada, para a sucção, e outra na saída, para o recalque (Figura 3.4). Para a sucção e recalque, os tubos e conexões em uso possuem um diâmetro máximo de uma polegada (Figura 3.5). O êmbolo da bomba (Figura 3.6) que bombeia toda água, está acoplado uma biela que dá movimento de vai e vem, impulsionando e succionando a água, quando o sistema entra em operação.

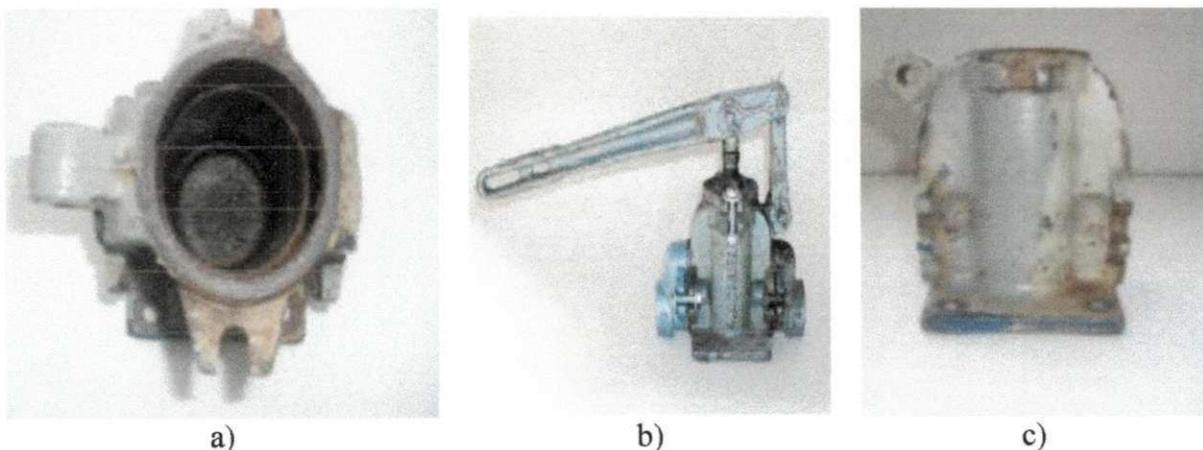


Figura 3.3 – Bomba de pistão. a) Vista superior mostrando a camisa de bronze b). Bomba manual riachuelo. c) Corpo da bomba sem o êmbolo.

Fonte: Próprio autor.

O sistema de válvulas é feito de bronze e trabalha só na vertical, tanto para sucção quanto para o recalque. Um dos problemas iniciais encontrados na unidade de bombeamento estava relacionado com a posição da bomba; ela estava montada na vertical com as válvulas na horizontal. Por essa razão não havia bombeamento d'água. Isto foi corrigido pelo autor desta pesquisa. Outro problema encontrado na bomba estava relacionado ao elemento de vedação original que era de borracha, frágil e não suportava a pressão no interior da camisa. O vedante foi trocado por um outro mais resistente.



Figura 3.4 – Válvulas em bronze. a) Válvula de saída. b) Válvula de entrada

Fonte: Próprio autor

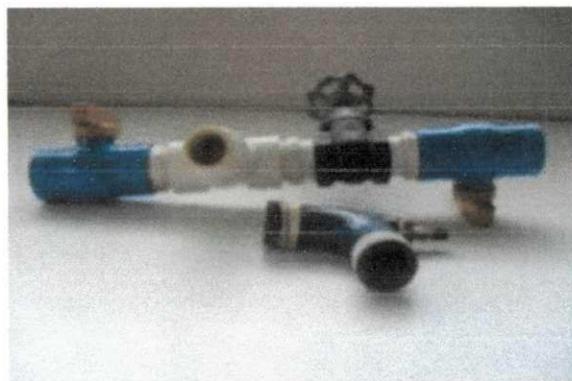


Figura 3.5 – Registros e conexões.

Fonte: Próprio autor

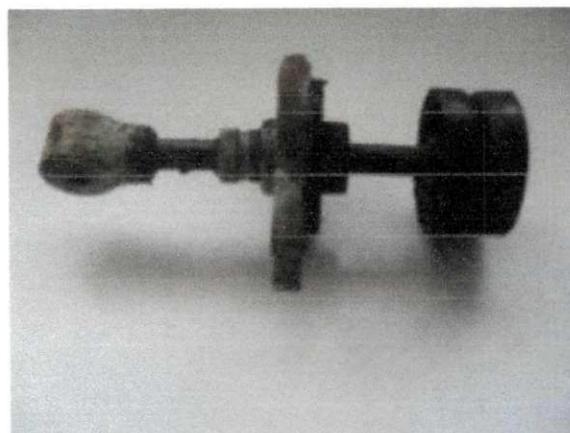


Figura 3.6 – Êmbolo da bomba de pistão com vedante.

Fonte: Próprio autor.

A unidade de bombeamento à pedal consiste de um sistema de transmissão acionado por pedal de bicicleta cuja força motriz é a humana (pernas), e uma bomba alternativa de pistão. O sistema mecânico de acionamento da bomba está instalado numa estrutura tubular móvel feita de tubo de aço industrial. Na parte traseira do chassi estão duas rodas de bicicleta (pneu e jante), que servem de locomoção para o sistema. Além disso, a bomba está acoplada à estrutura através de parafusos (Figura 3.7).

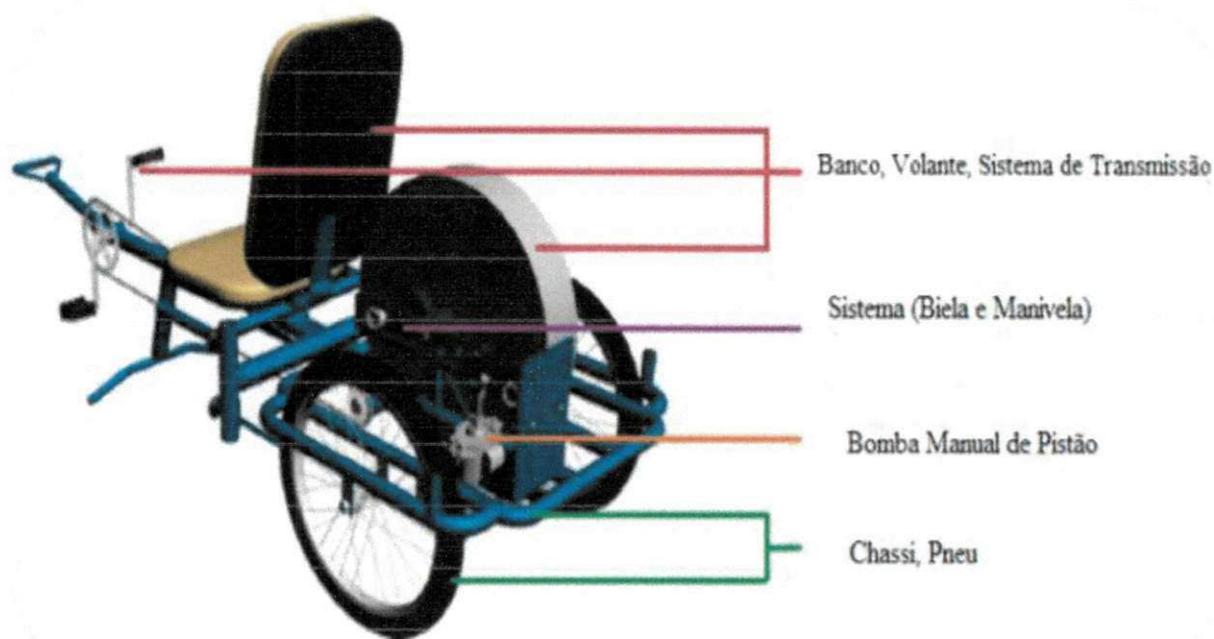


Figura 3.7 - Unidade de bombeamento à pedal.

Fonte: Pereira (2010).

O sistema de transmissão é composto por três coroas com 48, 38 e 28 dentes além do sistema de pedais, no entanto devido a problemas apresentados pela corrente, só foram usadas as coroas de 38 e 28 dentes (Figura 3.8) e três coroas de 20 dentes. As coroas de 20 dentes (Figura 3.9) foram nomeadas por: coroa 1, coroa 2 e coroa 3. Figura 3.10 – mostra a Coroa 3 e sua corrente. A Figura 3.11, mostra toda a estrutura traseira do sistema de bombeamento.

O volante usado no Sistema foi o mesmo que se usa no motor diesel de Motoniveladora Patrol com massa de 47 kg, todo confeccionado em ferro fundido. O sistema biela - manivela foi confeccionado em aço carbono.

As Figuras 3.8, 3.9 e 3.10 mostram os mecanismos de acionamento do sistema



Figura 3.8 - Coroas 48, 38 e 28 dentes, pedais e corrente de transmissão.
Fonte: Próprio autor

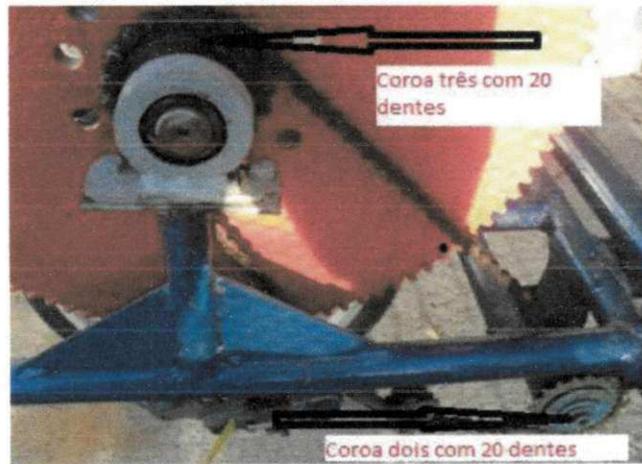


Figura 3.9 - Coroas 3, 4, 5 e corrente.
Fonte: Próprio autor



Figura 3.10 - Coroa 3 e corrente.
Fonte: Próprio autor.

A Figura 3.11 ilustrará detalhes da parte traseira do sistemada bomba.

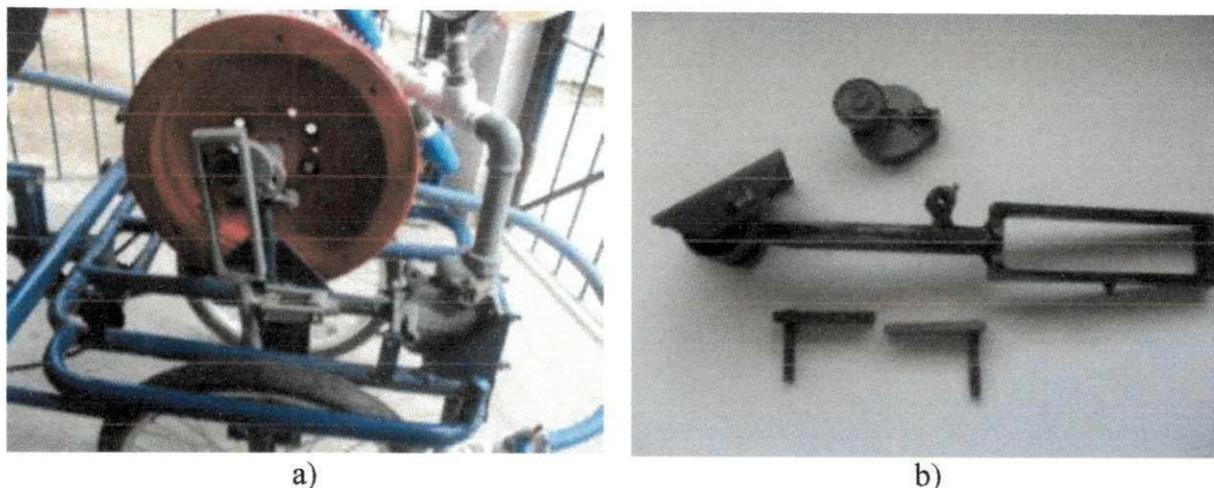


Figura 3.11 – Vista trazeira do sistema de bombeamento. a) Volante, sistema biela-manivela, bomba e tubos. b) Manivela e biela flutuante.

Fonte: Próprio autor.

A bomba manual foi adquirida no comércio local. Toda estrutura do sistema é confeccionada em tubo de aço industrial. O sistema de transmissão de bicicleta foi adquirido no comércio local.

A unidade de bombeamento à pedal é um dispositivo criado para acionar uma pequena bomba de pistão com finalidade de ampliar sua vazão em um menor espaço de tempo possível, oferecendo mais comodidade ao usuário. Para que isto pudesse ocorrer, uma série de equipamentos foram selecionados, agrupados e interligados através de parafusos, bielas e manivelas. Os equipamentos selecionados foram: um banco com encosto, um sistema de transmissão de bicicleta, um volante, biela e manivela, tudo isso preso a um chassi. Para maior conforto do operador, um banco com encosto foi adicionado para que operador pudesse pedalar reclinado.

O pedalar de forma reclinada oferece algumas vantagens em relação à bicicleta convencional, (Garcia, 2002), oferecendo maior conforto ao sentar, pois a posição de sentar é relaxada e favorável sobre o ponto de vista ergonômico (a caixa torácica e o abdômen não sofre compressão). Devido ao encosto do banco, as pernas possuem capacidade de desempenharem mais força (Figura 3.12).



Figura 3.12 – Unidade de bombeamento à pedal pronta para uso.
Fonte: Próprio autor.

O sistema de bombeamento à pedal é acionado da seguinte forma: O operador senta no banco, põe os pés sobre o pedal acionando as coroas 4 e 5 (28 e 38 dentes) (Figura 3.13), que por sua vez aciona a corrente 2 (Figura 3.14) com as coroas 2 e 3 (20 dentes). A Figura 3.15, mostra o eixo O3 com a coroa 2 (20 dentes) inerligado ao eixo O2 através da coroa 3.



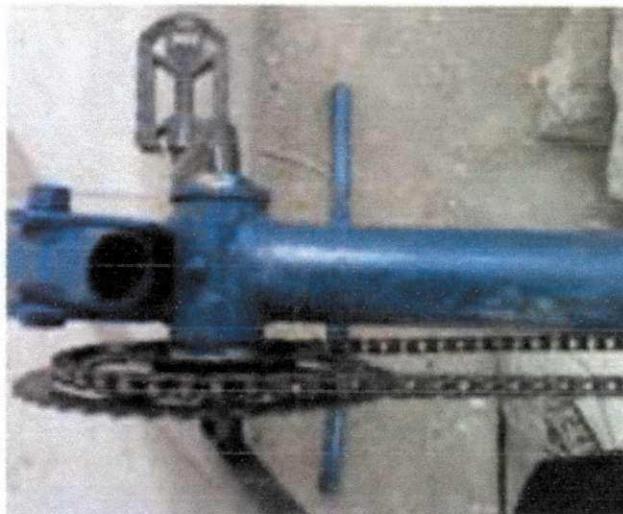
a)



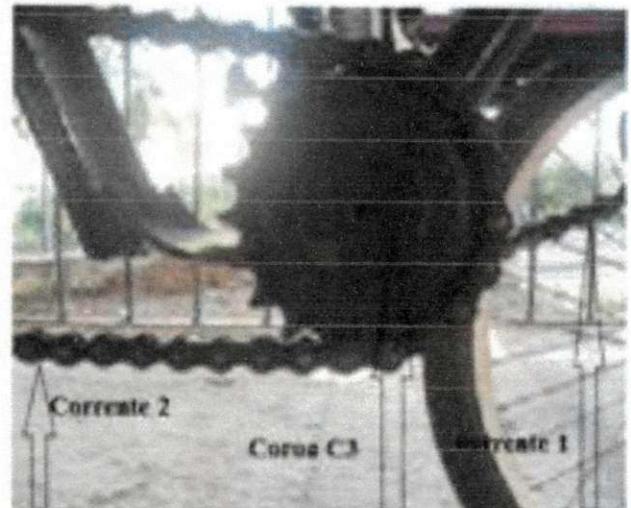
b)

Figura 3.13 – Vista do sistema de transmissão. a) Vista superior mostrando: coroa 5 (38 dentes), coroa 4 (28 dentes), o pedal e corrente 2. b) Vista lateral do sistema de transmissão.

Fonte: Próprio autor.



a)



b)

Figura 3.14 – Eixo O3. a) Coroa 3 (20 dentes) acoplada ao eixo O3 e corrente 2. b) Coroa 2 e corrente 1. Fonte: Próprio autor.



Figura 3.15 – Eixo O2, Coroa 1 (20 dentes) com corrente 1 e Eixo O3 com o mancal, Coroa 2 (20 dentes) e a Corrente 2 interligando a Coroa 4. Fonte: Próprio autor.

A Figura 3.16 mostra todo sistema manivela acionando a biela flutuante que por sua vez aciona o êmbolo da bomba.

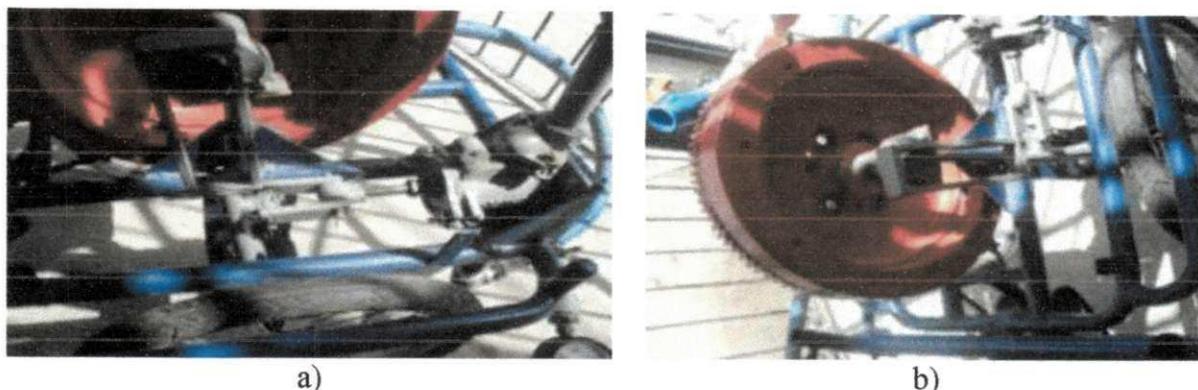


Figura 3.16 - Parte trazeira da bomba. a) Volante, manivela e biela acoplada ao eixo O2. b) Manivela que impulsiona a biela flutuante que aciona o êmbolo da bomba.

Fonte: Próprio autor

A Figura 3.17 mostra a bomba desmontada com todos os seus componentes e A Figura 3.18 mostra a manivela e o sistema de biela.

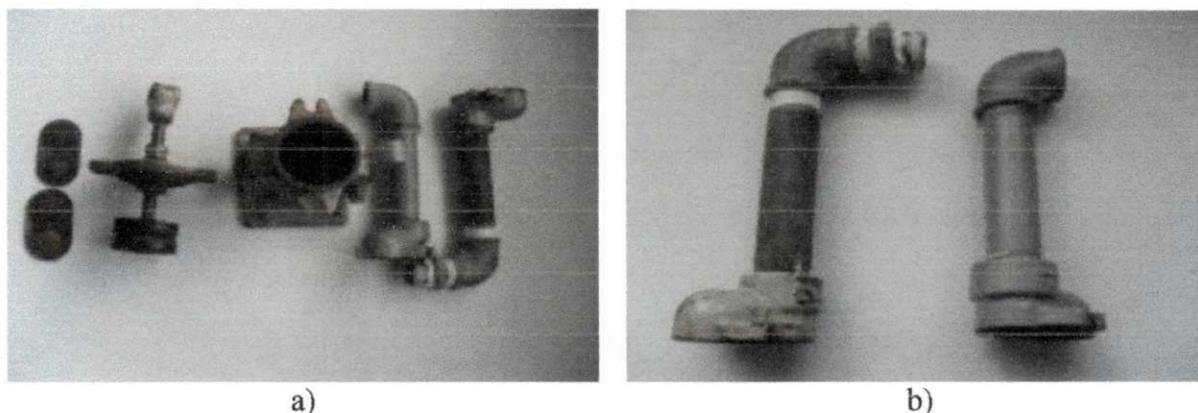


Figura 3.17 – Bomba d'água manual Riachuelo de dupla seção. a) Bomba com seus componentes. b) Tubos usados para ligar a mangueira a bomba.

Fonte: Próprio autor.

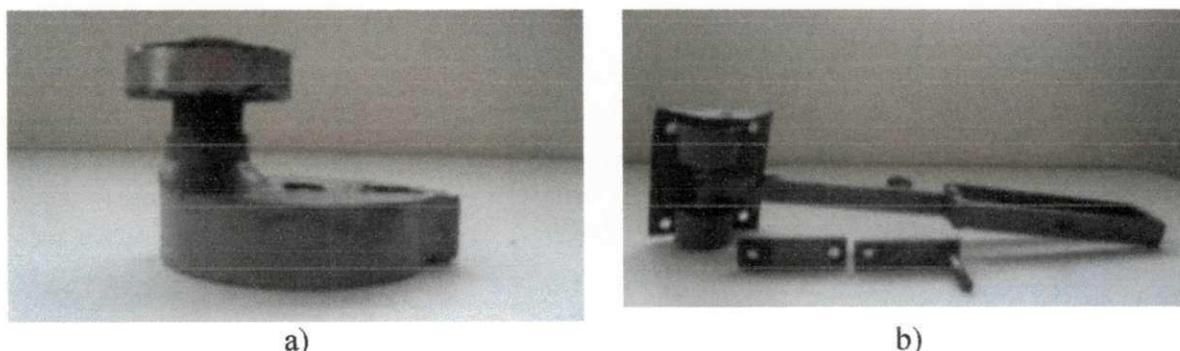


Figura 3.18 – Sistema biela- manivela. a) Manivela. b) Biela flutuante.

Fonte: Próprio autor.

3.1.2 Testes experimentais

3.1.2.1 Equipamentos auxiliares

Como o objetivo proposto deste trabalho é fazer testes de avaliação do sistema de bombeamento à pedal e aperfeiçoá-lo, torna-se necessário a priori, determinar o volume de água expelido para cada giro do pedal, em determinadas condições experimentais.

Para esta etapa foram utilizados equipamentos auxiliares extras para obtenção de dados. Os equipamentos foram:

a) Vacuômetro: usado para medir a pressão de sucção da água – Em seu funcionamento normal, a pressão de sucção é negativa e esses dados foram obtidos usando um vacuômetro analógico de marca RECORD com escala de 0 a 30 polHg (760 mmHg) (Figura 3.19).

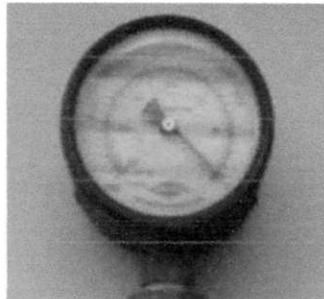


Figura 3.19 – Vacuômetro. Fonte:
Fonte: Próprio autor.

b) Manômetros: usados para medir a pressão do recalque. A medida foi realizada através de um manômetro de coluna com mercúrio cromo, sendo as leituras obtidas através de duas fitas métricas coladas ao lado de cada coluna de mercúrio. Paralelamente foi utilizado um manômetro analógico de marca RECORD com escala variando de 0 a 30 lbf/pol² (2,0 kgf/cm²) (Figura 3.20 a-b).

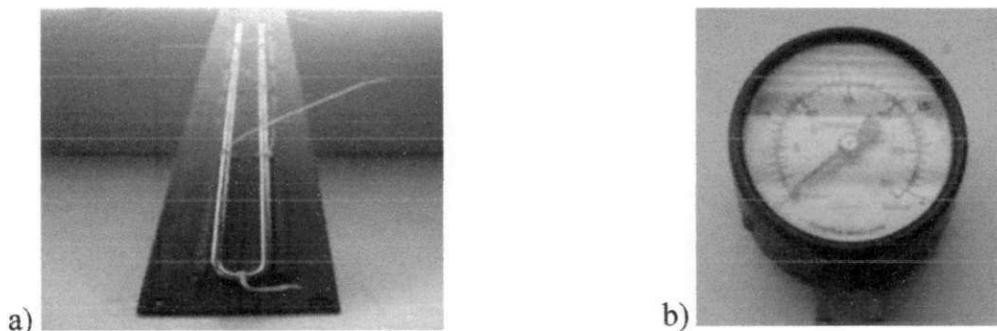


Figura 3.20 – Manômetros. a) manômetro de mercúrio em U. b) manômetro analógico.
Fonte: Próprio autor.

c) Termohigrômetro: usado para medir a temperatura ambiente e, a da água. Foi usado um termohigrômetro de marca ICEL, com visor de cristal (LCD) HT-208 com temperatura de aferição de 0° a 50° °C, com uma resolução de temperatura interna de 0,1 °C (Figura 21).

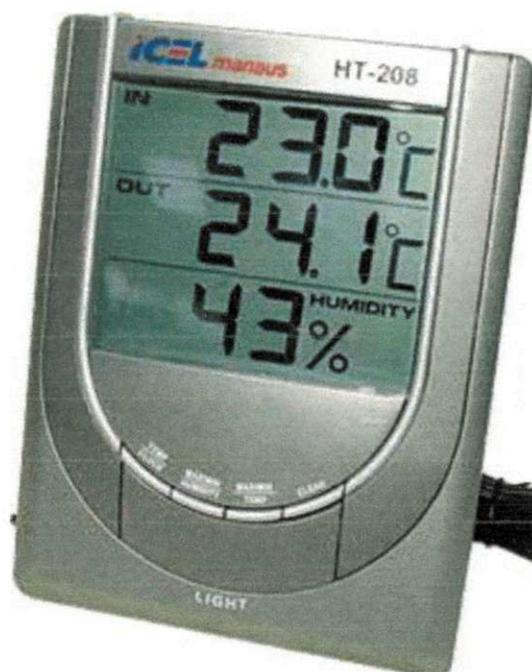


Figura 3.21 – Termohigrômetro.
Fonte: Próprio autor.

d) Balança eletrônica: usada para medir a massa da água bombeada. Para a pesagem da água, foi usada uma balança eletrônica de marca WELMY – W 100/2 com capacidade máxima de 100 kg e mínima de 0,4 kg (Figura 3.22).



Figura 3.22- Balança eletrica Welmy W100/2.
Fonte: Próprio autor.

e) Ciclo Computador velo 8: usado para medir a velocidade linear do volante. O Ciclo Computador possui oito funções (velocidade, cronômetro, temperatura, velocidade média, velocidade total, velocidade atual, distância parcial, distância total) cujo sensor foi preso ao volante, medindo assim sua velocidade em km/h (Figura 3.24).



Figura 3.23 - Ciclo computador Cateye velo 8.
Fonte: Próprio autor.

f) Tambor de plástico: foi usado um tambor de plástico com capacidade de 100 litros, para fazer a armazenagem da água recalcada através da bomba d'água (Figura 3.24).



Figura 3.24 - Tambor de coleta d'água.
Fonte: Próprio autor.

g) Mangueiras de plástico: Para a sucção e recalque, foram usados para a condução da água quinze metros de Mangueira Flexiteno Flutuante de 1" (uma polegada) de diâmetro (Figura 3.25).



Figura 3.25 - Mangueira Flexiteno. Fonte: **Fonte:** Próprio autor.

h) Garrafa PET: funciona como um depósito fechado, represando, na parte superior, um volume de ar, proposto, por sua expansão ou retração, a manter uma descarga praticamente constante acoplado a um encanamento de uma bomba de pistão. Pode ser acoplada quer no encanamento de entrada (sucção), quer na saída (recalque), ou em ambos. Para os ensaios foi usado no recalque (Figura 3.26).

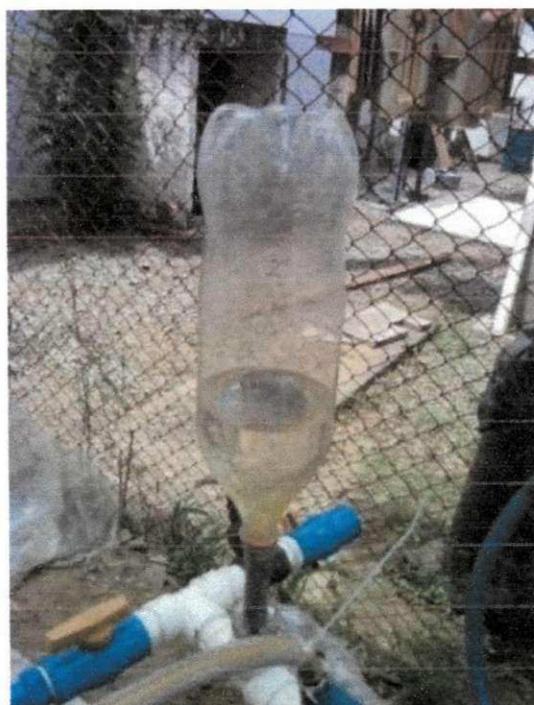


Figura 3.26 – Garrafa PET com tubulação de recalque. **Fonte:** Próprio autor.

i) **Andaime:** Para simular a altura manométrica real, foi usado um andaime com dez metros de altura, feito com tubulação galvanizada de 1”(uma polegada) de diâmetro (Figura 3.27).

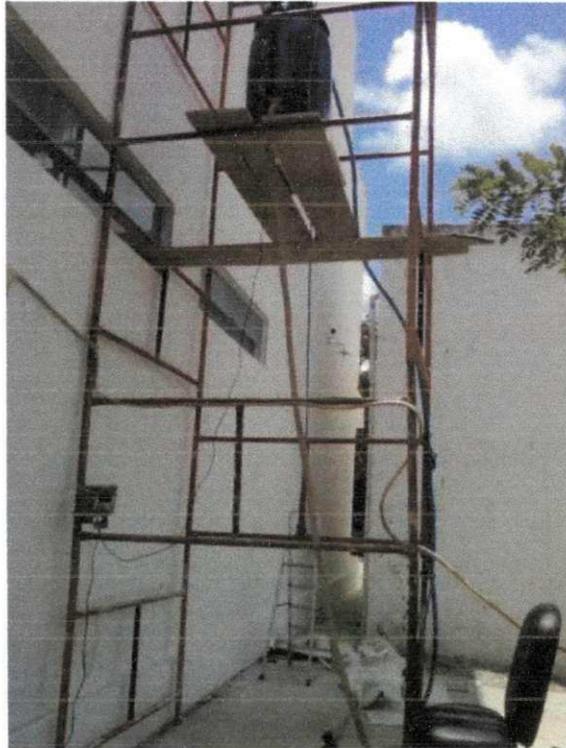


Figura 3.27 - Andaime com tambor e balança.
Fonte: Próprio autor.

j) **Proveta:** Foi usada para medir o volume de água bombeada, uma proveta de vidro marca Blindex de 1000 mL ou 1 litro (Figura 3.28).



Figura 3.28 – Proveta sendo usada para medir volume de água bombeado.
Fonte: próprio autor.

3.1.3 Procedimento experimental

As bombas de pistão e diafragma ou outro tipo qualquer de bomba alternativa, por operarem em baixa rotação, devem ser acionados através da energia natural, como força humana, tração animal, vento ou água por exemplo. Mas existem bombas que trabalham em alta rotação, usando assim a energia convencional, como é o caso das máquinas elétricas, motores de combustão interna e as máquinas à vapor. A bomba de pistão assim como qualquer outro tipo de bomba alternativa, só funciona se houver algo que a faça entrar em funcionamento. Nesta pesquisa, a força foi de propulsão humana (Figura 3.29).

Introduziu-se um volante no sistema de bombeamento, com o objetivo de manter o equilíbrio da velocidade no eixo da manivela garantindo assim um funcionamento uniforme da bomba durante seu funcionamento.

Durante a operação, a bomba alternativa induz um escoamento no fluido, em regime de golfada. Devido a isto, um outro auxílio externo que contribuiu para o acréscimo da vazão foi o acoplamento de uma garrafa PET na tubulação de recalque. Devido ao colchão de ar existente na parte superior da garrafa, a pulsação da água durante o recalque foi anulada (Figura 3.26).



Figura 3.29 - Unidade de bombeamento a pedal em uso.
Fonte: Próprio autor.

Com a aquisição do andaime foi possível fazer simulação variando a altura de recalque de metro em metro, até atingir uma altura máxima de sete metros.

Todo o conjunto (base, balança e tambor) foi montado no andaime, através de pranchas de madeira conforme ilustra a Figura 3.30. Uma mangueira azul acoplada ao tambor através de abraçadeira foi usada para escoamento do fluido no recalque, enquanto que a mangueira branca acoplada na lateral do tambor foi usada para o retorno da água após a pesagem. Num dos cantos do andaime pode ser visto o visor da balança, coberto por uma placa de proteção, usada contra o sol e chuva, e aparafusada na parede. Vê-se ainda o manômetro de coluna de mercúrio ligado ao sistema através de uma mangueira cirúrgica.

Para medição das pressões, foram instalados os manômetros de sucção e recalque e um manômetro de coluna com mercúrio cromo fixado de forma vertical na parede através de buchas e parafusos. As mangueiras de sucção e recalque, foram acopladas a tubulação da bomba com abraçadeiras, concluindo assim toda preparação para o trabalho prático do sistema, conforme mostram as Figuras 3.30.

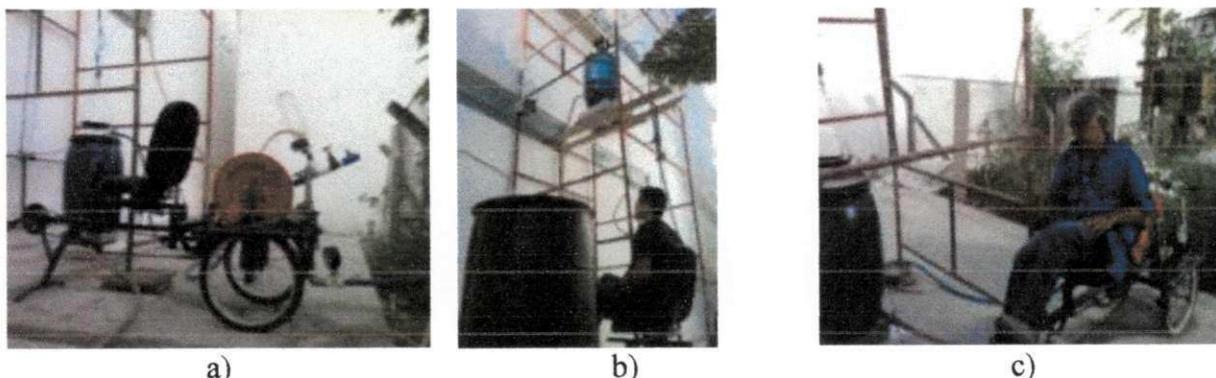


Figura 3.30 – Unidade de bombeamento a pedal. a) Sistema de bombeamento pronto para uso. b) Vista do andaime e do sistema de avaliação da massa. c) Evidenciando o sistema de propulsão humana. **Fonte:** Próprio autor.

Foram fixados alguns procedimentos antes de iniciar o sistema operacional. São eles:

- a) A velocidade seria a mais constante possível; para o caso de variações tomariam-se uma média como base;
- b) O tempo de operação seria o mesmo para todas as configurações apresentadas;
- c) Seriam feitas no mínimo três leituras para cada ensaio;
- d) Seria pesada a quantidade da água bombeada para cada experimento com o uso da balança;
- e) Seria medido o volume da água bombeada, pressão de sucção e recalque e temperatura da água.

Para a primeira bateria de testes, o sistema base, balança e tambor foram colocados a uma altura topográfica de 1m. Foi medida a temperatura da água para cada série; como os ensaios foram em pequenos intervalos de tempo (60 s), a variação de temperatura foi pequena. A pressão de entrada (sucção) foi mantida praticamente constante oscilando entre 80 e 100 mmHg (10664 Pa e 13330 Pa) para todas as altura manométricas (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 m). A pressão de recalque só foi medida, a medida que a altura manométrica variava. Todas as leituras para o recalque foram comparadas entre os manômetros de coluna de mercúrio e manômetro analógico; as variações foram pequenas.

A velocidade do volante mudou de acordo com a relação de transmissão assim como a força exercida sobre os pedais. A massa da água variou em função da velocidade, ou seja, quanto maior a velocidade maior o volume bombeado. A pressão de recalque variou de acordo com a altura manométrica. As Figuras 3.31 a 3.36 ilustram alguns procedimentos experimentais.



Figura 3.31 – Tambor armazenando água para medição de volume.

Fonte: Próprio autor.



Figura 3.32 –Averiguando volume da água.

Fonte: Próprio autor.

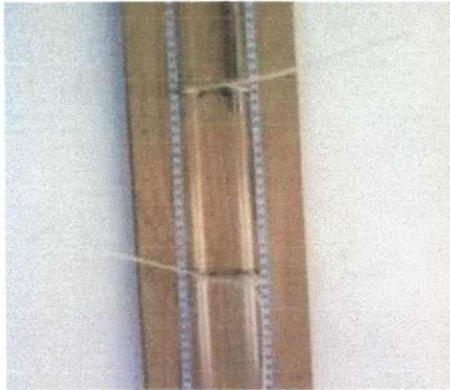


Figura 3.33– Medição da pressão no manômetro de mercúrio.
Fonte: Próprio autor.



Figura 3.34 - Medição do volume da água.
Fonte: Autor (2012).



Figura 3.35 - Andaime com tambor.
Fonte: Próprio autor.

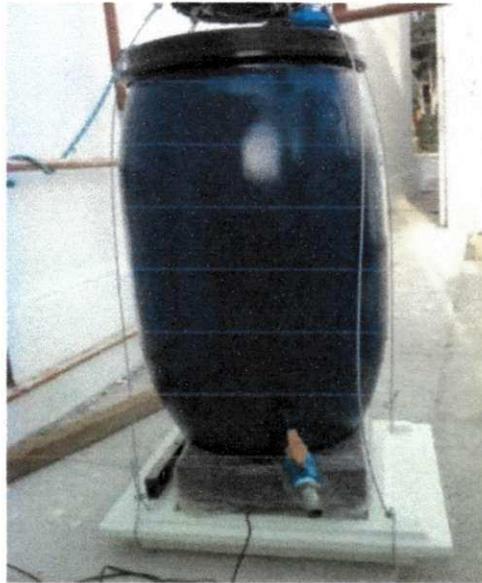


Figura 3.36 - Tambor sobre balança para medida da massa d' água.
Fonte: Próprio autor.

A Tabela 3.1 sumariza todas as condições experimentais usadas nesta pesquisa

Tabela 3.1 – Condições usadas nos experimentos

Experimentos	T (°C)	Z (Número de dentes da coroa 4)	H (m)	t (s)	Ω Volante (rpm)
1	27,0	28	1,0	60	101,00
2	27,0	28	2,0	60	99,70
3	30,0	28	3,0	60	103,00
4	30,0	28	4,0	60	108,50
5	30,0	28	5,0	60	107,70
6	27,0	28	6,0	60	110,30
7	26,5	28	7,0	60	117,90
8	29,0	38	1,0	60	137,94
9	29,0	38	2,0	60	129,80
10	29,5	38	3,0	60	123,20
11	29,5	38	4,0	60	118,20
12	27,0	38	5,0	60	125,40
13	29,5	38	6,0	60	133,00
14	27,0	38	7,0	60	119,00

3.1.4 Procedimento Teórico

Toda água coletada durante o recalque num tempo de 60 segundos foi pesada, e seu volume medido com o auxílio de uma proveta de volume igual a um litro. Com os dados obtidos determinou-se a vazão volumétrica, como segue:

$$Q = \text{Volume} / \text{tempo} = V / t \quad \text{Eq.(3.1)}$$

A vazão mássica foi determinada com a Equação 3.2 (Shapiro, 2008):

$$\dot{m} = \text{massa} / \text{tempo} = m / t \quad \text{Eq.(3.2)}$$

A densidade da água foi obtida de duas maneiras:

a) Usando os dados coletados da massa e volume. Neste caso usou-se a Equação 3.3, como segue (Fox e McDonald 1995):

$$\rho = m / V \quad \text{Eq.(3.3)}$$

Usando a temperatura da água. Neste caso, com a temperatura da água obtida experimentalmente e pressão ambiente, e por intermédio das tabelas termodinâmicas da água saturada (Shapiro, 2008), obteve-se o volume específico da água. A partir deste dado, obteve-se a densidade da água usando a Equação 3.4, como segue:

$$\rho = 1 / v \quad \text{Eq.(3.4)}$$

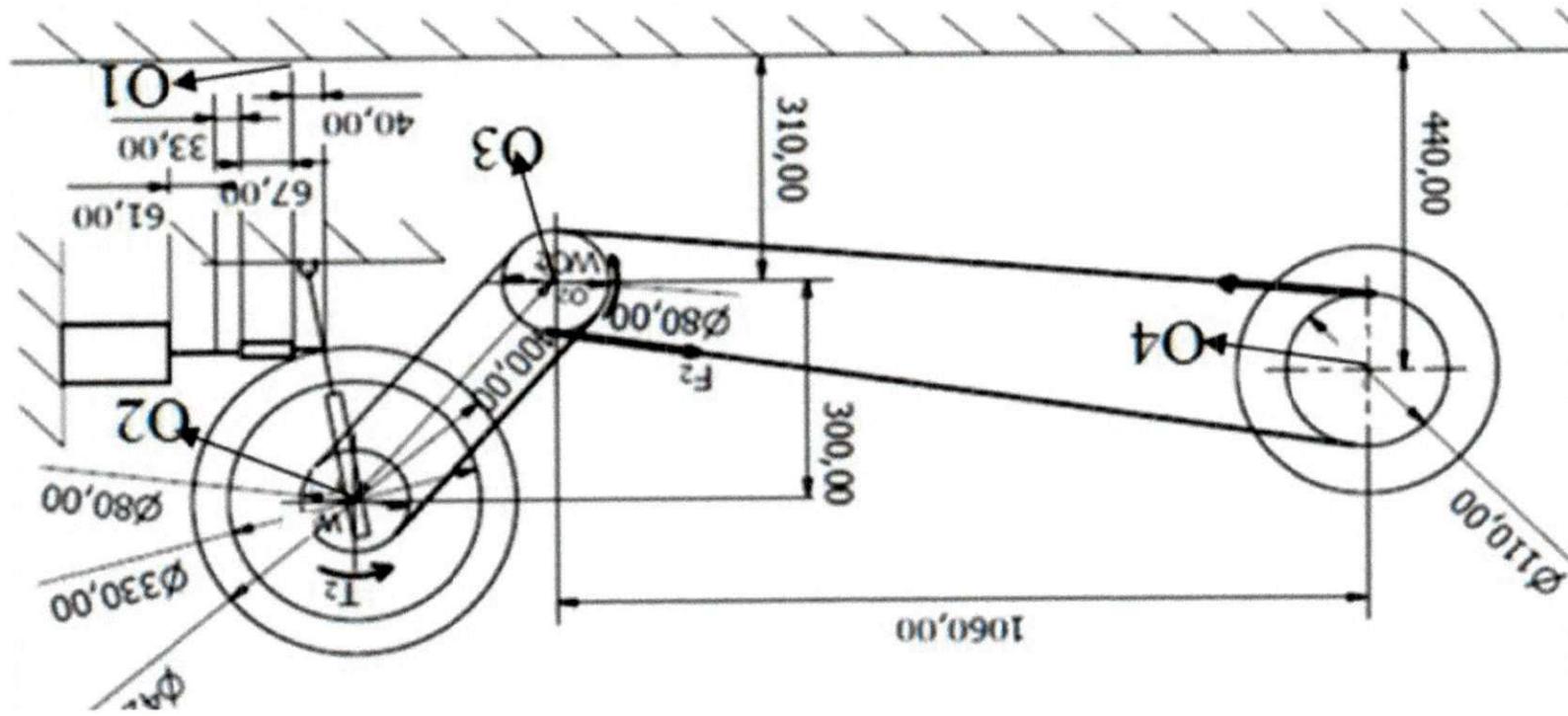
Para um melhor entendimento dos procedimentos dos cálculos dos esforços mecânicos, e performance da bomba e do sistema de bombeamento, considere a Figura 3.38. Nela evidencia-se todas as dimensões e eixos utilizados no sistema.

Para cada altura manométrica registrada corresponde a uma pressão conhecida como pressão manométrica de saída ou recalque (P_s), que foi obtida através de um manômetro de mercúrio em U.

Com os valores da pressão de saída, pôde-se calcular a força no êmbolo da bomba (Figura 3.39) através da Equação 3.5 (Shapiro, 2008):

$$F_{\hat{e}} = \text{Pressão} \times \text{Área da seção transversal do pistão} = P_s \times A_b \quad \text{Eq.(3.5)}$$

Figura 3.37 – Diagrama e esquema do sistema de bombiamento.



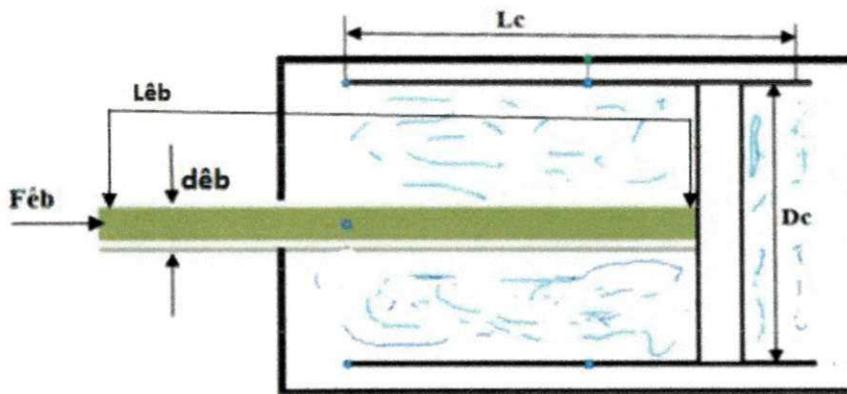


Figura 3.38 – Esquema da bomba.

O cálculo da área da seção transversal do pistão da bomba, é feito através da Equação 3.6.

$$A_b = \pi D_c^2 / 4 \quad \text{Eq.(3.6)}$$

onde $D_c = 0,0634\text{m}$

O cálculo do volume de fluido na câmara da bomba, foi feito através da Equação 3.7, como se segue:

$$V_b = A_b \times L_c \quad \text{Eq.(3.7)}$$

onde $L_c = 0,04\text{m}$.

Para o cálculo da área da seção transversal do êmbolo da bomba de pistão, cujo diâmetro é igual a $d_{éb} = 0,012\text{ m}$, é feito através da Equação 3.8:

$$A_{éb} = \pi d_{éb}^2 / 4 \quad \text{Eq.(3.8)}$$

O volume ocupado pelo êmbolo da bomba dado pela Equação 3.9, como segue:

$$V_{éb} = A_{éb} \times L_{éb} \quad \text{Eq.(3.9)}$$

Conhecido o valor da força aplicada no êmbolo da bomba, pôde-se, em seguida, encontrar a força na manivela que aciona o êmbolo da bomba, aplicando a condição de equilíbrio dos momentos (Figura 3.39), assim, tem-se que:

$$\sum M = 0 \rightarrow F_{\text{eb}} \times 0,150\text{m} - F_m \times 0,283\text{m} = 0 \quad \text{Eq.(3.10)}$$

$$F_{\text{eb}} \times 0,150\text{ m} = F_m \times 0,283\text{ m} \rightarrow F_m = (F_{\text{eb}} \times 0,150) / 0,283 \quad \text{Eq.(3.11)}$$

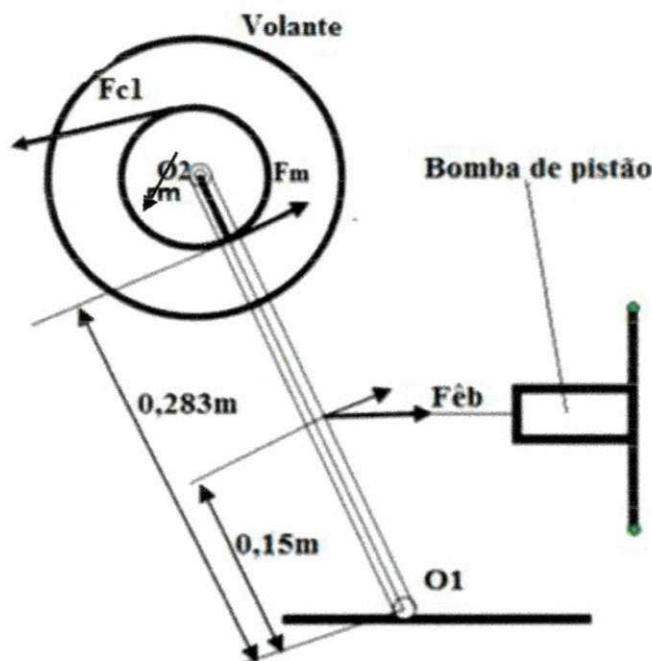


Figura 3.39 – Esquema de forças atuando no êmbolo da bomba e sistema de biela-manivela.

O torque no eixo O2 da manivela (Figura 3.39) foi calculado através das Equações 3.12 e 3.13, sendo o raio da manivela igual 0,049 m. Assim, pode-se escrever:

$$T_{O2} = F_{\text{eb}} \times \text{raio da manivela} = F_{\text{eb}} \times r_m \quad \text{Eq.(3.12)}$$

Desde que o raio da coroa 1 é idêntico ao das coroas 2 e 3, e como o raio da coroa 1 é igual a 0,04 m, pode-se escrever:

Como:

$$F_{C1} = F_{C3} \text{ logo } T_{O3} = T_{O2} \quad \text{Eq.(3.13)}$$

sendo:

$$F_{C1} = T_{O2} / r_{C1} \quad \text{Eq.(3.14)}$$

Além disso, a força nas correntes que impulsionam as coroas são iguais. Então, $F_{C1} = F_{C2} = F_{C3} = F_{C4}$, sendo que F_{C4} (coroa de 28 dentes) está situada no eixo $O4$, que é o mesmo eixo do pedal, onde está acoplada também a coroa de 38 dentes (Figuras 3.40 e 3.41).

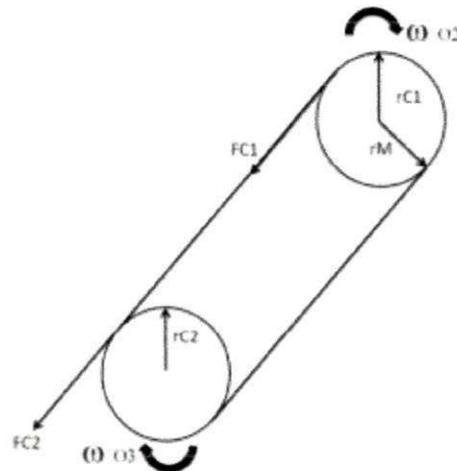


Figura 3.40 – Esquemas de forças atuando nos eixos $O2$ e $O3$, Forças (F_{C1}, F_{C2} e F_{C3}).

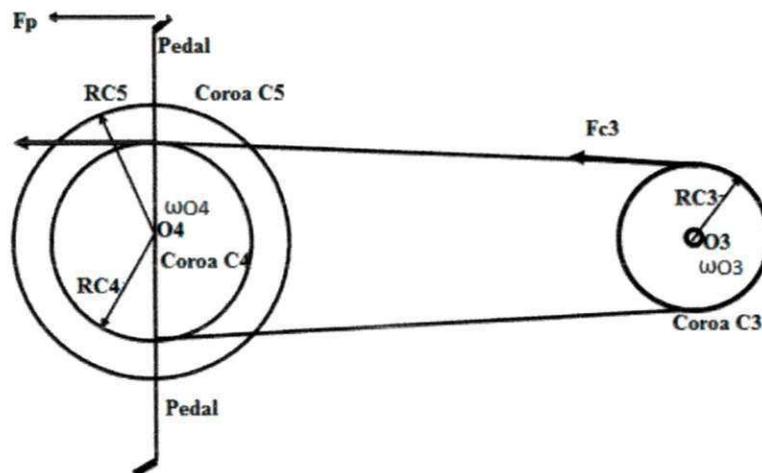


Figura 3.41 – Esquema de forças atuando nas coroas (2, 3 e 4) e força no pedal.

Para o cálculo do torque no eixo do pedal $O4$, pode-se usar a Equação 3.15, como segue:

$$T_{O4} = F_{C4} \times \text{raio da coroa 4} = F_{C4} \times r_{C4} \quad \text{Eq.(3.15)}$$

de onde pode-se obter,

$$F_p = T_{O4} / r_p \quad \text{Eq.(3.16)}$$

sendo r_p o raio do pedal que é igual a 0,17m.

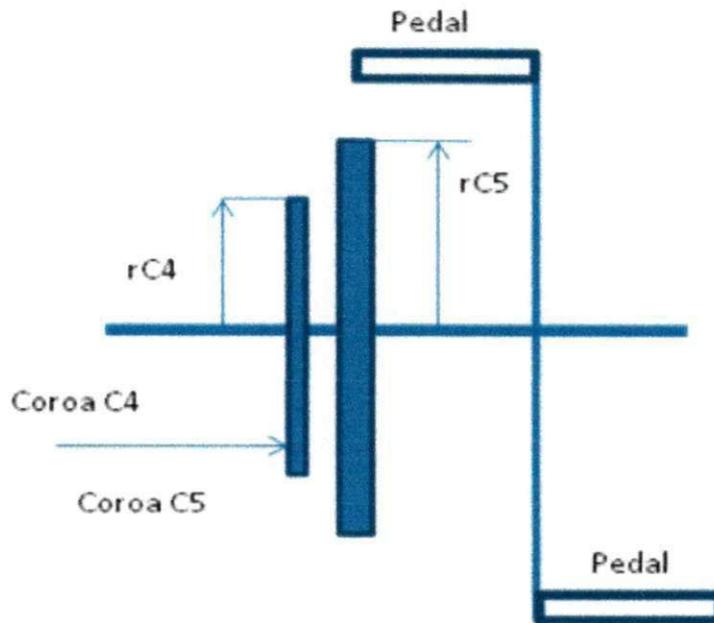


Figura 3.42 – Vista frontal do sistema de transmissão.

A velocidade linear do volante foi medida em quilômetros por hora. A rotação do volante em rad/s foi obtido por:

$$\omega_{O2} = \omega_{\text{volante}} = v / r_{\text{volante}} \rightarrow \omega_{\text{volante}} = 60/2\pi \times r_{\text{volante}} \quad \text{Eq.(3.15)}$$

A rotação do volante no eixo O2 difere da rotação no eixo O4 do pedal. Isto pode ser explicado devido à diferença de diâmetro do volante (0,42 m) e do pedal (0,34 m). Desde que velocidade da corrente é a mesma, vale a seguinte relação (Figura 3.42)

$$\omega_{O2} r_{C1} = \omega_{O4} r_{C4} \quad \text{Eq.(3.16)}$$

A potência de acionamento do sistema pode ser visualizada através da Equação 3.17.

$$\dot{W}_p = T_{O4} \times \omega_{O4} \quad \text{Eq.(3.17)}$$

onde ω_4 é a velocidade angular do eixo O4 do pedal em rad/s.

A Figura 3.43 ilustra de forma mais evidente o sistema de transmissão do eixo O4 do pedal, com vista das coroas C4 e C5 e a velocidade angular ω_{O4} .

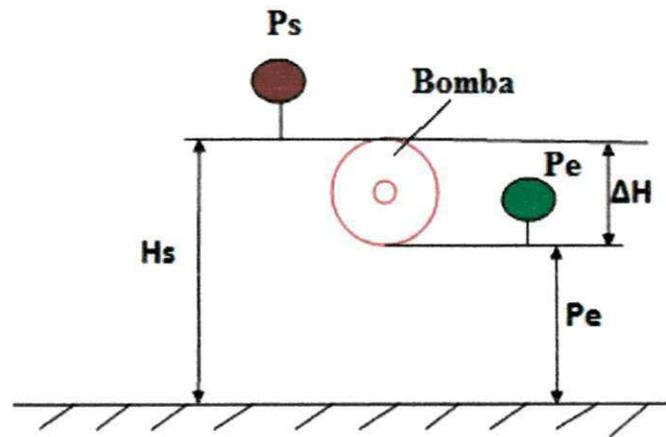


Figura 3.43 – Esquema de medição da bomba.
 Fonte: Próprio autor.

A potência de acionamento da bomba pode ser obtida através da Equação 3.18 (Shapiro, 2008).

$$\dot{W}_b = \dot{m} [g (H_s - H_e) - v (P_s - P_e)] \quad \text{Eq.(3.18)}$$

Sendo:

\dot{m} = vazão mássica

g = aceleração da gravidade

v = peso específico real

P_s = pressão de saída (recalque)

P_e = pressão de entrada (sucção)

H_e = altura manométrica de sucção

H_s = altura manométrica de saída ou recalque

ΔH =variação entre altura manométrica dos manômetros de sucção e recalque

A eficiência mecânica do sistema de bombeamento pode ser determinada por meio da Equação 3.20:

$$\eta_m = (\dot{W}_b / \dot{W}_p) \times 100 \quad \text{Eq.(3.20)}$$

A eficiência volumétrica da bomba pode ser determinado por meio da Equação 3:21:

$$\eta_v = (Q_{\text{real}} / Q_{\text{teórico}}) \times 100 \quad \text{Eq.(3.21)}$$

onde:

\dot{W}_b = potência da bomba

\dot{W}_p = potência do pedal

η_m = rendimento mecânico

η_v = rendimento volumétrico

Q_{real} = vazão real

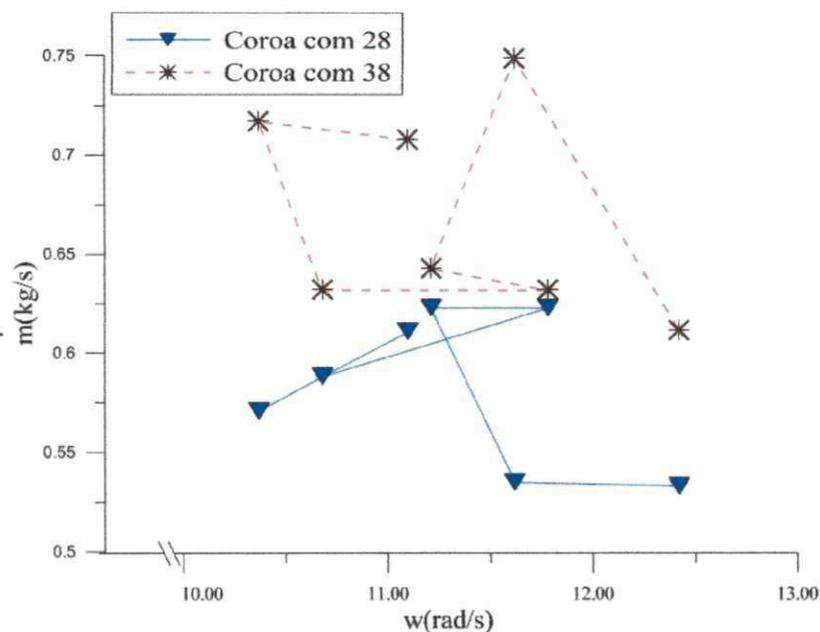
$Q_{\text{teórico}}$ = vazão teórica

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação experimental do desempenho do sistema de bombeamento

A câmara da bomba, teoricamente, possui um volume aproximado de 0,35 litros de água que é correspondente a $0,00035 \text{ m}^3$. A cada rotação da manivela a bomba teoricamente expelirá 0,350 litros existente na câmara. Contudo, como o sistema possui perdas devido ao atrito entre a camisa e êmbolo, vazamento de água na gaxeta, atrito na parede da mangueira e perdas nas válvula de sucção e recalque, é de se esperar que os resultados experimentais sejam diferentes dos resultados teóricos.



Figuras 4.1 Vazão mássica da água em função da velocidade angular das coroas de 28 e 38 dentes.

A Figura 4.1 representa a vazão mássica da água em função da velocidade angular de rotação, tomando o número de dentes da coroa como parâmetro. Pode-se observar que a vazão mássica varia em função da rotação. Para uma determinada rotação, significa dizer que determinado volume é deslocado por meio de uma pressão exercida no interior da câmara através do êmbolo, que comprime o fluido, forçando-o a deslocar-se para a saída da bomba.

Nota-se que em qualquer velocidade de rotação, a coroa de 38 dentes sempre fornece uma vazão mássica superior de água. Quanto maior a rotação maior será o volume de líquido deslocado, porque se foi recalado determinado volume de líquido, isto equivale a uma quantidade de giros do pedal imposta pelo operador. No entanto, a coroa maior (38 dentes) apresenta uma serie de desvantagens em relação a coroa com 28 dentes. A força exercida pelo operador será bem mais representativa em função da altura manométrica, ou seja, será mais necessário o despreendimento, quanto ao esforço físico do operador, embora isto represente menos vazão mássica ou volumétrica.

A Figura 4.2 representa a variação da pressão de saída da bomba em função da altura manométrica de recalque quando se utiliza as coroas de 28 e 38 dentes (coroas C4 e C5). É visto na Figura 4.2, que as pressões de saída para os três primeiros metros são equivalentes, ou seja, possuem valores muito próximos, tanto para coroa de 28 como para a de 38 dentes. A partir de quatro metros de altura, a pressão para coroa de 38 dentes começa a apresentar valores superiores a da coroa de 28 dentes. Sabe-se que a pressão necessária para elevar água a dez metros de altura, é, uma pressão igual a $9,8 \cdot 10^4$ Pa. Neste valor estão o peso específico da água, a massa do fluido e aceleração da gravidade, que, para pequenas alturas pode ser considerada constante. Avaliando-se a Figura 4.2, percebe-se que este valor tende a ser atingido com os experimentos.

A densidade do fluido contribui para elevação de água. Quanto mais denso for o fluido, o nível de pressão para deslocá-lo a uma determinada altura manométrica, tende a crescer. Entretanto, pode ser dito, que a viscosidade de um fluido é a principal grandeza que caracteriza o atrito entre as moléculas, e entre as moléculas do fluido e a parte metálica da bomba e tubulações por onde ele escoar.

A Tabela 4.1 apresenta um resumo de todos os valores obtidos da vazão mássica, vazão volumétrica, e pressões de sucção e recalque para cada altura manométrica, bem como o número de dentes das coroas C4 e C5 (28 e 38 dentes). Após análise da tabela, verificou-se que as vazões tanto mássica quanto volumétrica, praticamente não sofrem alterações em todos os casos analisados. Contudo, a pressão no recalque cresce de forma quase linear com a altura manométricas.

Tabela 4.1 – Dados obtidos a partir dos experimentos realizados

T (C°)	ρ_{exp} (g/m ³)	P_e P(a)	P_s P(a)	\dot{m} (kg/s)	\square (m ³ /h)	t (s)	H (m)	Z (dentes)
27,0	996,512	11997,0	3066,0	0,611	2,193	60	1,0	28
27,0	996,314	10664,0	11021,0	0,571	2,045	60	2,0	28
30,0	995,718	11997,0	19995,0	0,588	2,110	60	3,0	28
30,0	995,718	11997,0	27476,0	0,588	2,110	60	4,0	28
30,0	995,718	11997,0	26260,0	0,623	2,046	60	5,0	28
27,0	996,512	11997,0	28150,0	0,503	1,820	60	6,0	28
26,5	996,661	13330,0	50425,0	0,533	2,000	60	7,0	28
29,0	996,016	12663,5	3599,0	0,708	2,545	60	1,0	38
29,0	996,016	11997,0	10886,0	0,717	2,592	60	2,0	38
29,5	995,867	12663,5	20661,0	0,632	2,268	60	3,0	38
29,5	995,867	13330,0	30081,0	0,632	2,268	60	4,0	38
27,0	996,512	12663,5	32214,0	0,643	2,340	60	5,0	38
29,5	995,867	13330,0	45544,0	0,749	2,700	60	6,0	38
27,0	996,512	12663,5	52564,0	0,612	2,232	60	7,0	38

As Figuras 4.1 a 4.4 ilustram os dados representados na Tabela 4.1 na forma gráfica.

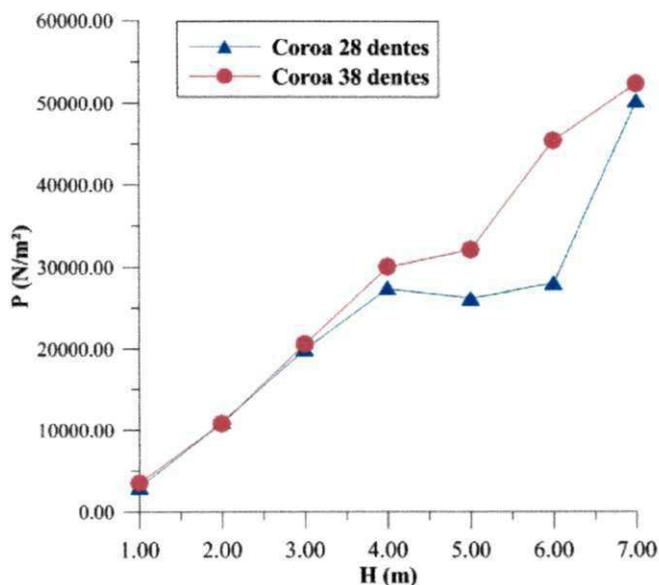


Figura 4.2 – Pressão na saída da bomba para as coroas de 28 e 38 dentes, em função da altura manométrica.

A Figura 4.3, representa as variações da vazão volumétrica da água bombeada em função da altura manométrica de recalque. O comportamento é semelhante ao representado nas Figuras 4.1 e 4.2, ou seja, a vazão volumétrica é alterada em função da velocidade, contida de forma bastante leve.

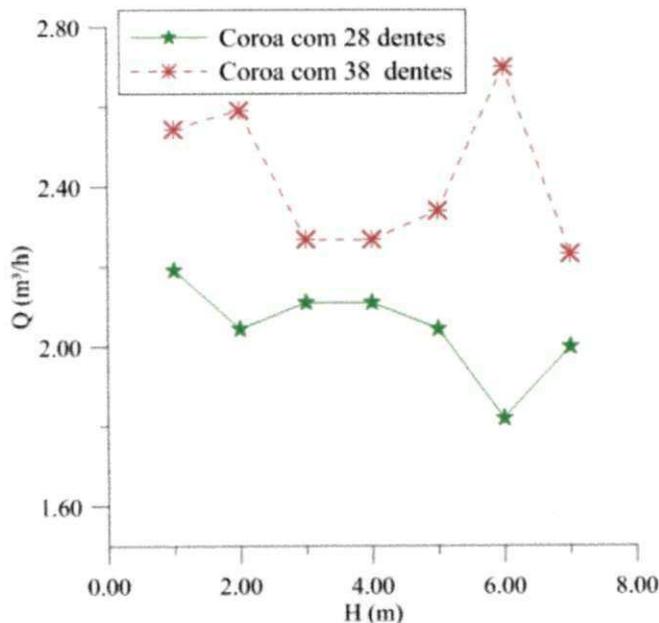


Figura 4.3.– Vazão volumétrica da água em função da altura manométrica de recalque.

4.2 Avaliação teórica do desempenho do sistema de bombeamento à pedal

4.2.1 Avaliação da força no pedal

A Figura 4.4 ilustra o comportamento das forças aplicadas no pedal ao se utilizar as coroas de 28 e 38 dentes em função da altura manométrica. O gráfico mostra claramente que para um metro de altura a diferença na aplicação das forças é pequena. A razão para essa ocorrência está para a pouca altura, o peso d'água no interior da mangueira em função da altura e, principalmente, no maior número de dentes da coroa maior. Pode-se resumir o que foi dito da seguinte forma: quanto maior for o número de dentes da coroa motriz, maior será a força executada pelo operador.

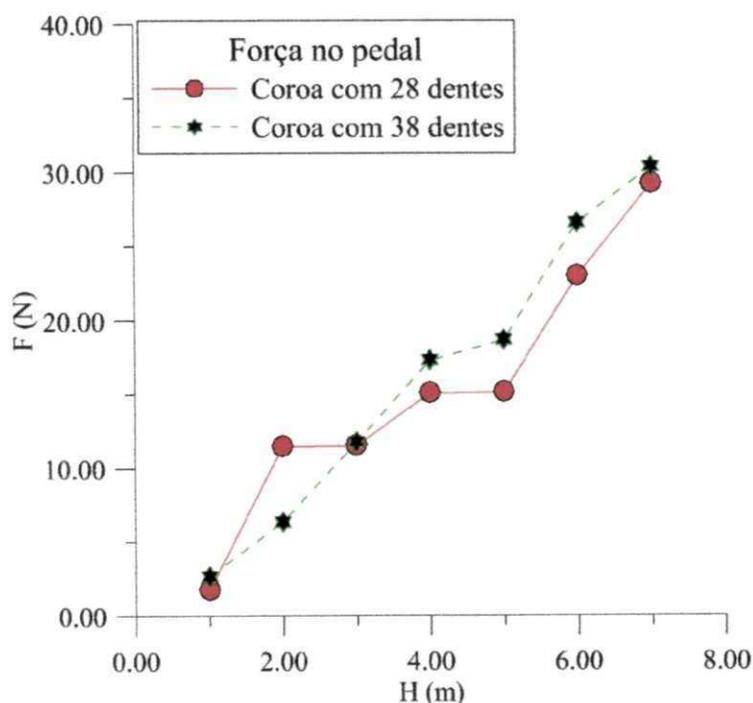


Figura 4.4 - Força no pedal em função da altura manométrica de recalque, para as coroas de 28 e 38 dentes.

Observando os demais pontos nota-se sempre que, para coroa de 38 dentes, sempre existe um acréscimo nos valores da força. Vários fatores também contribuem para esse acréscimo, como é o caso da perda de carga no tubo, nas válvulas de sucção e recalque, incluindo as perdas provocadas pelo próprio sistema de transmissão. Quanto maior for a força sobre o pedal maior será o torque no eixo do pedal. Isto representa mais esforço.

4.2.2 Comparação entre torque e força no pedal

As Figuras 4.5 e 4.6 ilustram as variações do torque e força no pedal, em função da altura manométrica H para as coroas de 28 e 38 dentes. Como o comprimento do pedal é constante, pode-se dizer que o torque T_{O4} (eixo do pedal) só varia em função da força aplicada no pedal. Para 1 metro da altura de recalque, pode ser visto uma pequena variação entre a força e o torque, a partir de 2 metros a força cresce em proporções bem superior ao torque, que com os acréscimos das alturas apresentam pequenas variações. Este comportamento é apresentado tanto para coroa de 28 quanto para a coroa de 38 dentes.

Parte do trabalho fornecido através do esforço mecânico no pedal, é convertido em trabalho útil, para acionamento da bomba levando em consideração todas as possíveis perdas mecânicas que possam ter sido causadas por fricção, resistência do equipamento gerado, possivelmente através do atrito entre o pistão e camisa, contato das correntes com as coroas e ainda possíveis perdas relacionadas com o acionamento do sistema de transmissão.

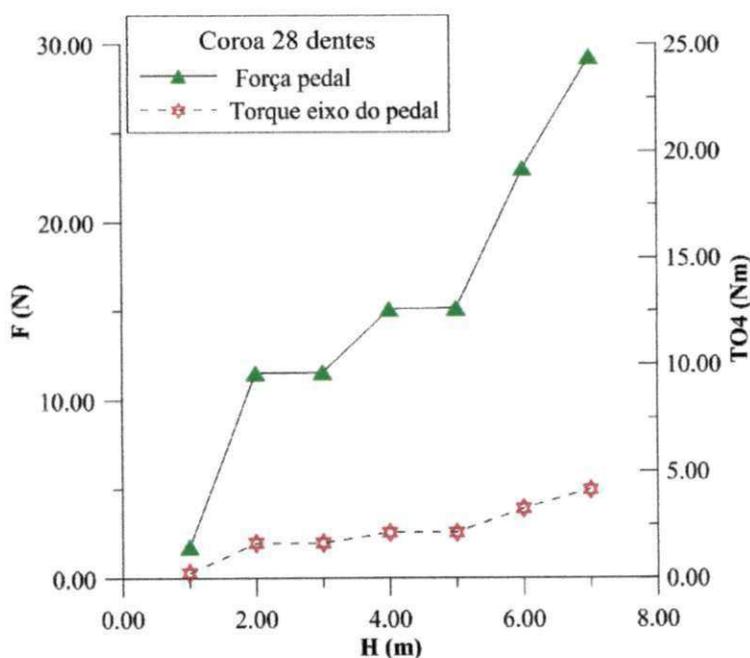


Figura 4.5 – Força e torque no eixo do pedal em função da altura manométrica de recalque.

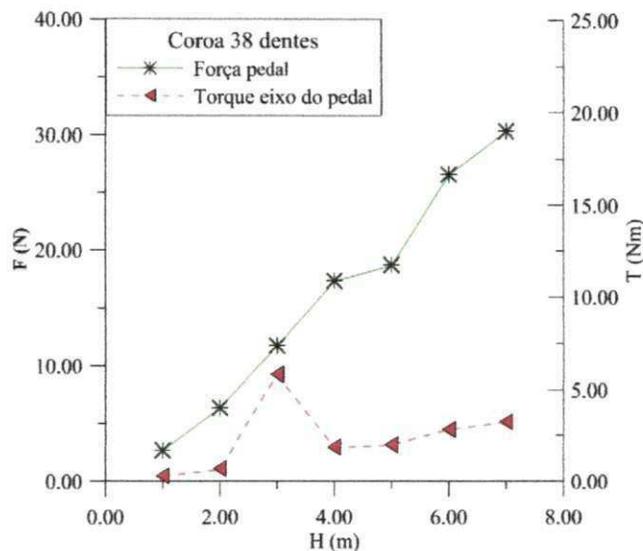


Figura 4.6 – Força e torque no eixo do pedal em função da altura manométrica de recalque, coroa com 38 dentes.

4.2.3 Comparação entre forças no pedal e êmbolo da bomba.

As Figuras 4.7 e 4.8 indicará as forças aplicadas no pedal para elevar água de 1 a 7 metros de altura para as coroas de 28 e 38 dentes, respectivamente. Observando os pontos para 1 metro, pode ser visto uma força menor aplicada pelo usuário para acionar todo sistemas de transmissão, para altura desejada. Para 3 metros, a força aplicada no pedal para coroa de 28 dentes está na faixa 20 N enquanto que a força no êmbolo da bomba está aproximadamente em 60 N. A diferença entre estas forças é devido à relação de transmissão do sistema, o torque e a potência de acionamento do pedal. Já para a coroa de 38 dentes a força no pedal é de 10 N, enquanto que a força no êmbolo da bomba, também assume o valor de 60 N.

Essa relação poderia ter sido mais eficiente se o sistema de transmissão usado durante os ensaios fossem um sistema de redução de bicicleta de corrida, porque sendo assim o volante teria mais velocidade e a força aplicada, sobre o pedal teria sido ainda menor. Segundo Azevedo Netto (1973), com o emprego do volante em altas rotações, o momento de inércia seria ainda maior, o que prolongaria ainda mais o tempo gasto na sua parada. Assim podemos dizer que as figuras 4.7 e 4.8 apresentam comportamento semelhantes, porém a força aplicada no pedal, no caso da coroa de 38 dentes é bem inferior ao da coroa de 28 dentes, em todas as alturas.

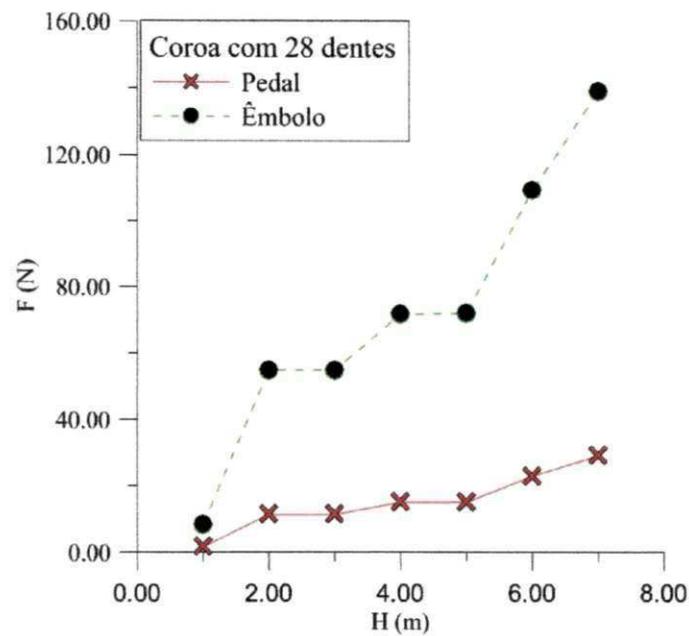


Figura 4.7 – Força no pedal e êmbolo da bomba em função da altura manométrica de recalque (Coroa 28 dentes).

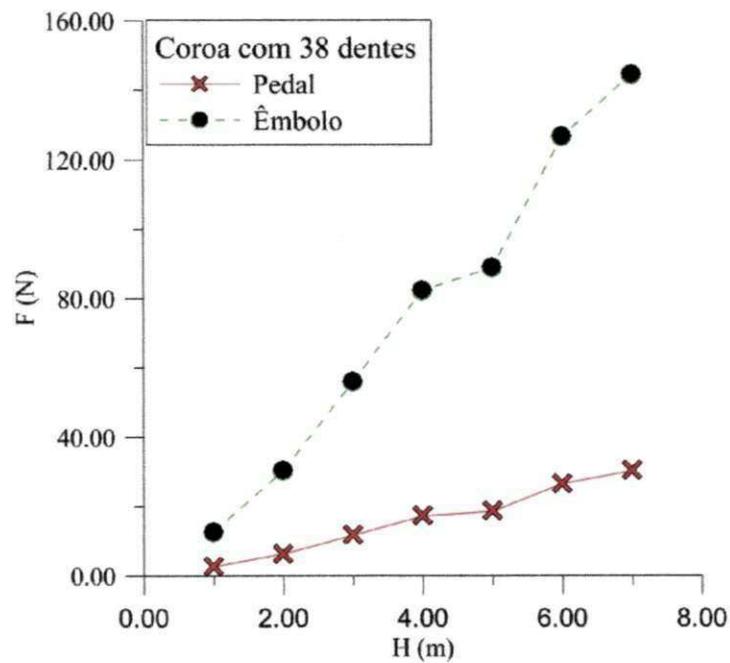


Figura 4.8 – Força no pedal e êmbolo da bomba em função da altura manométrica de recalque (Coroa de 38 dentes).

4.2.4 Avaliação do torque nos eixos da manivela e do pedal

A seguir será mostrado uma avaliação dos torques no eixo do pedal e no eixo do volante onde está situada a manivela, para as coroas 28 e 38 dentes.

As Figuras 4.9 e 4.10 ilustram os efeitos dos torques no eixo do pedal e no eixo do volante, em função da altura manométrica de recalque para as coroas de 28 e 38 dentes. O comprimento do pedal é quatro vezes superior a raio do eixo da manivela. Assim, analisando as Figuras 4.9 e 4.10 observa-se que, para pequena altura manométrica, o efeito dos torques são equivalentes para ambas as coroas. A medida que altura manométrica crescem, os torques para as coroas de 28 e 38 dentes se distanciam. Como no torque, a força varia em função do comprimento do braço de alavanca, e, como o comprimento do pedal é quase quatro vezes superior ao comprimento da manivela, espera-se que o torque sobre o pedal seja superior ao torque na manivela.

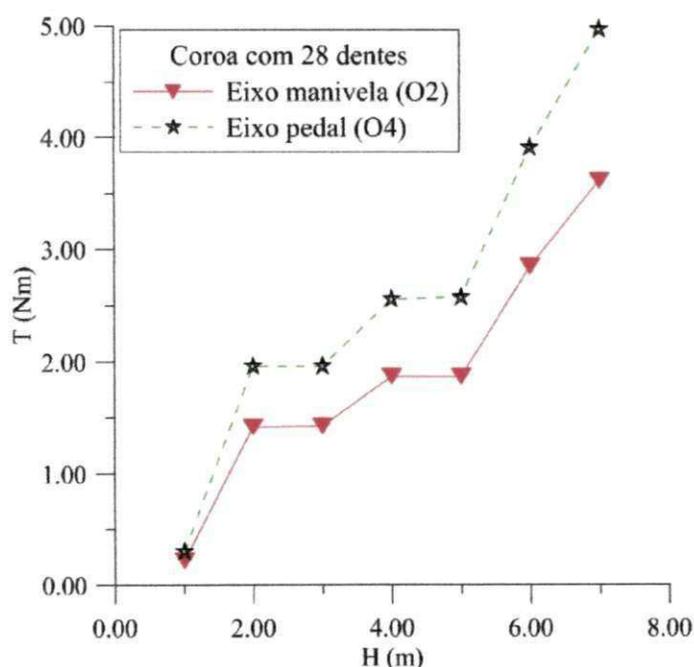


Figura 4.9 –Torque nos eixos O₂ (eixo da manivela) e O₄ (eixo do pedal) em função da altura manométrica para a coroa de 28 dentes.

A Figura 4.11 ilustra o torque no eixo do pedal (O₄). Quando um torque externo é aplicado a um eixo, cria um torque interno correspondente no interior do eixo. Ao empregar uma determinada força nos pedais a corrente transfere essa força ao eixo da manivela, que por sua vez aciona o êmbolo da bomba. Na unidade de bombeamento à pedal o operador é essencialmente parte do sistema de transmissão. O operador é a unidade de potência que transforma as engrenagens que impulsiona o sistema. Segundo a Figura 4.11, para acionar a coroa com 38 dentes se faz necessário um esforço maior do operador, em função da altura manométrica para operar o sistema. A razão para isso é, devido a maior quantidade de dentes

que está situado no eixo motriz (eixo do pedal), ou seja, quanto maior o número de dentes maior será o esforço exercido através do operador que é a unidade de potência do sistema. Então é de se esperar um entre 30 a 40% mais elevado, para a coroa de 38 dentes, sobre a de 28 dentes.

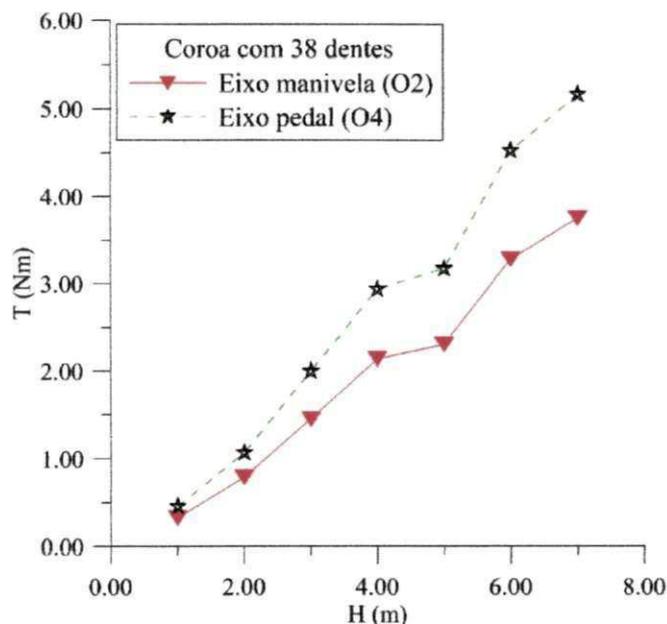


Figura 4.10 – Torque nos eixos O2 (eixo da manivela) e O4 (eixo do Pedal) em função da altura manométrica para a coroa de 38 dentes.

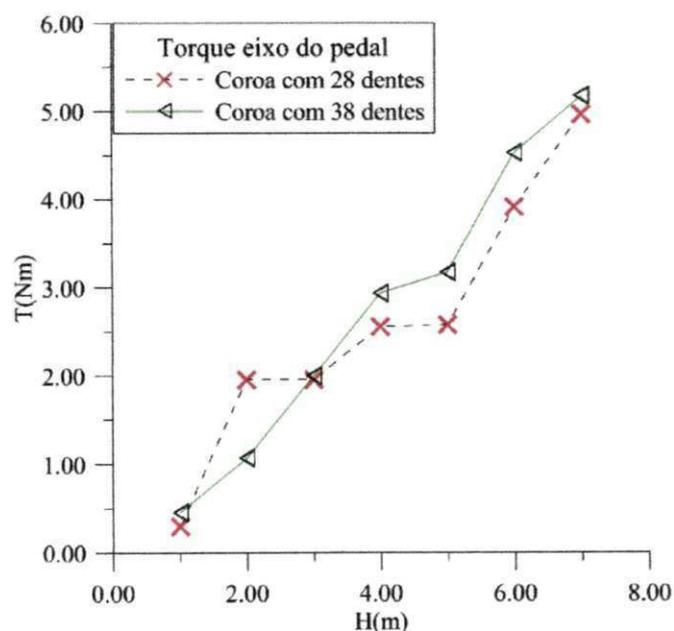


Figura 4.11 – Torque no eixo O4 (pedal), para coroas de 28 e 38 dentes em função da altura manométrica de recalque.

4.2.5 Avaliação das potências da bomba e do pedal (potência humana)

As Figuras 4.12 e 4.13 ilustram os resultados das potências da bomba e do pedal para as coroas de 28 e 38 dentes em função das alturas manométricas. Nestas figuras pode ser visto que a potência fornecida no pedal é sempre superior a potência de acionamento da bomba, independente do número de dentes da coroa. Ambas as potências crescem com a altura manométrica de recalque. Esta diferença é devido as perdas por fricção (atrito) no sistema de transmissão (corrente e coroa), acionamento e entre pistão e camisa da bomba. Vale ressaltar que os valores da potência no pedal e na bomba para a coroa de 38 dentes é sempre 10 a 20 vezes maior que os valores para a coroa de 28 dentes.

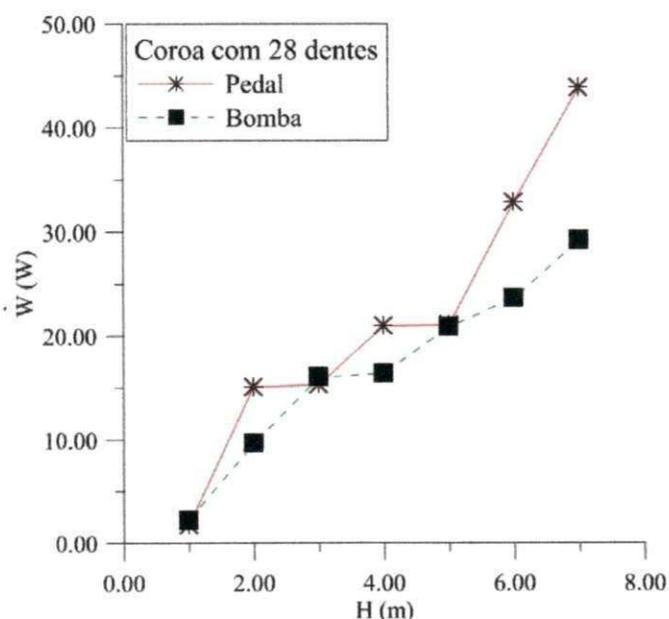


Figura 4.12 – Potência da bomba e do pedal (humana) em função da altura manométrica de recalque para a coroa de 28 dentes.

4.2.6 Avaliação da performance da bomba e sistema de bombeamento.

A Figura 4.14 ilustra performance (rendimento) do sistema de bombeamento, para as coroas de 28 e 38 dentes. Verificou-se que, para pequenas alturas manométricas, o sistema apresenta alta performance, cerca de 90 % de 1 a 2 metros, ocasionado devido a pequena força de acionamento do sistema. Na proporção em que o recalque atinge sua altura máxima 7m, o sistema apresentou seu menor desempenho (42 %).

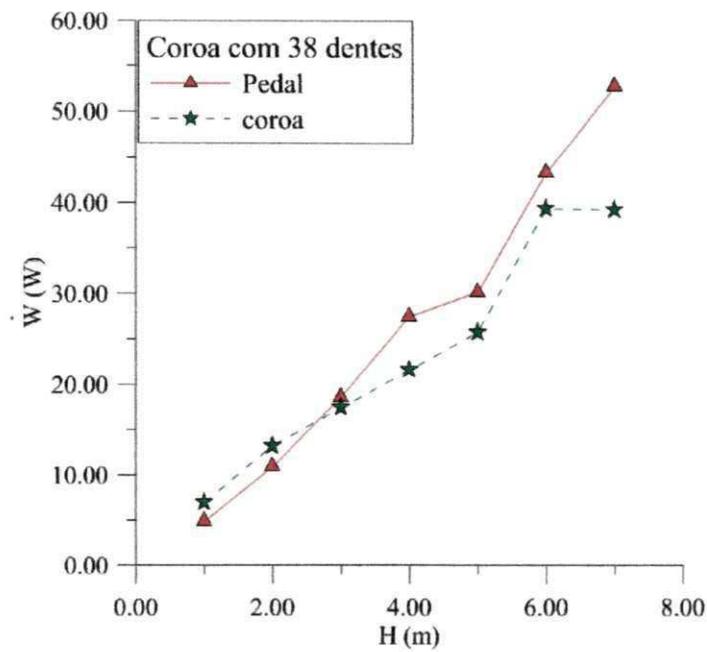


Figura 4.13 – Potência da bomba e do pedal (humana) em função da altura manométrica de recalque para as coroas de 38 dentes.

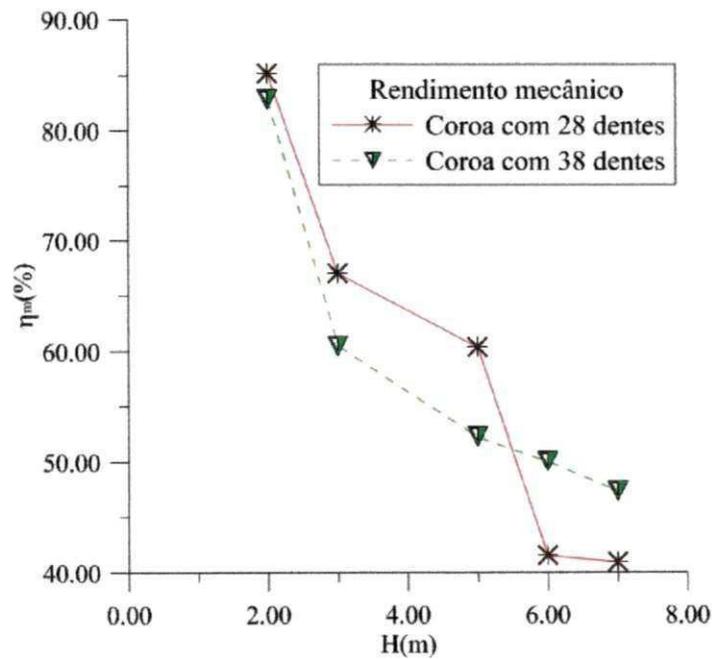


Figura 4.14 – Performance do sistema de bombeamento a pedal em função da altura manométrica para as coroas de 28 e 38 dentes.

Na Figura 4.15 ilustra-se as potências aplicadas no pedal, e sua respectiva performance mecânica para todos os ensaios. Parte do trabalho fornecido é convertido em trabalho útil,

sendo parte dissipado por fricção e resistência do equipamento entre as paredes do cilindro, pistão, o suporte do eixo, perdas relacionadas com o acionamento do equipamento, perdas oriundas do sistemas de transmissão e demais unidades auxiliares requeridas para uso operacional do equipamento. Tudo isso é levado em conta e analisado através da eficiência mecânica.

A Tabela 4.2 reporta os dados obtidos tecnicamente para cada experimento realizado, e que foram graficados nas Figuras 4.6 a 4.1

Tabela 4.2- Dados teóricos obtidos a partir de experimentos realizados com a unidade de bombeamento a pedal

T_{02} (Nm)	T_{04} (Nm)	$F_{\text{éb.}}$ (N)	F_{Pl} (N)	ω_{02} (Rad/s)	ω_{04} (rad/s)	\dot{W}_P (w)	\dot{W}_L (w)	η %	H (m)
0,22	0,37	8,67	2,18	10,37	7,90	2,93	8,17		1,0
0,97	2,07	30,28	12,18	10,37	7,90	16,35	13,93	85,20	2,0
1,76	3,74	56,53	22,00	10,68	1,76	19,77	64,93	67,07	3,0
2,95	4,05	113,52	28,85	11,10	8,46	34,30	24,35	71,00	4,0
2,31	4,88	74,32	28,7	11,10	8,88	41,67	25,16	60,38	5,0
2,85	3,92	109,63	23,03	11,52	8,78	34,38	27,50	79,98	6,0
4,42	9,40	142,09	56,76	9,46	7,21	88,92	35,75	40,96	7,0
0,89	1,22	34,16	7,17	14,45	11,01	13,42	11,84	88,20	1,0
0,93	1,97	29,77	11,59	12,85	9,79	21,28	17,62	82,84	2,0
2,53	3,48	97,45	20,46	12,75	9,72	33,04	22,47	68,00	3,0
3,49	4,81	93,45	28,32	11,16	9,75	46,94	28,73	61,2	4,0
2,83	6,01	90,85	35,35	13,13	10,0	60,60	30,33	52,27	5,0
3,97	8,43	127,41	49,59	13,79	10,51	90,80	45,42	50,03	6,0
4,61	9,80	148,72	59,65	12,47	9,50	93,10	44,10	47,36	7,0

Comparando-se a performance do sistema em relação ao usos das coroas de 28 e 38 dentes, fica evidente que o sistema funcionando com a coroa de 28 dentes, apresenta sempre maiores valores de rendimento para qualquer potência da bomba.

Na Figura 4.16 ilustra-se o rendimento volumétrico da bomba para as diversas alturas de recalque avaliada. O rendimento volumétrico, se refere às perdas de carga no interior da bomba, e demais perdas provocadas por tubulações, atrito das mangueiras de sucção e recalque e vazamento d' água através da gaxetas.

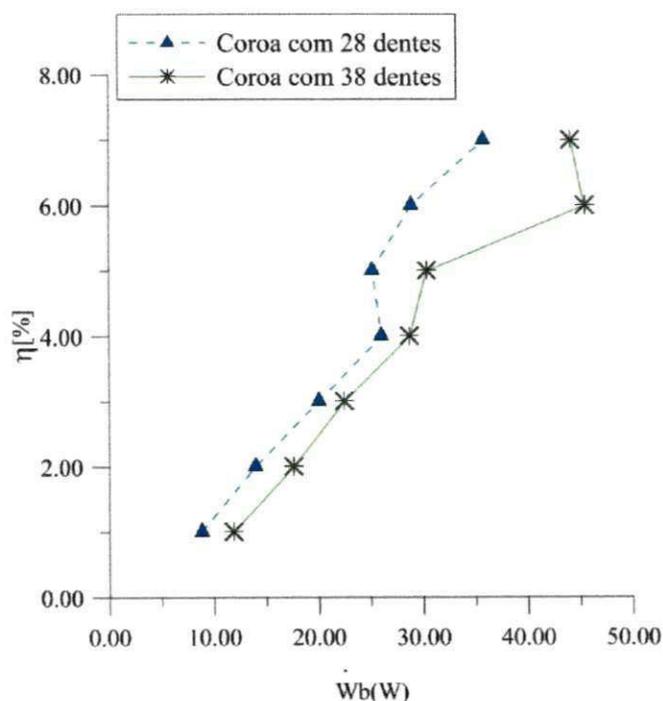


Figura 4.15 – Performance do sistema de bombeamento em função da potência da bomba para as coroas de 28 e 38 dentes.

A Tabela 4.3 descreve dados referentes às vazões de bombas experimentais reportadas na literatura. Pesquisas estão sendo efetuadas em continentes, subsidiadas por instituições governamentais e ONGS com o intuito de atenuar a vida do pequeno agricultor. Verifica-se que quase todas as vazões apresentadas se equiparam, apresentando resultados excelentes para o tipo de bomba produzida.

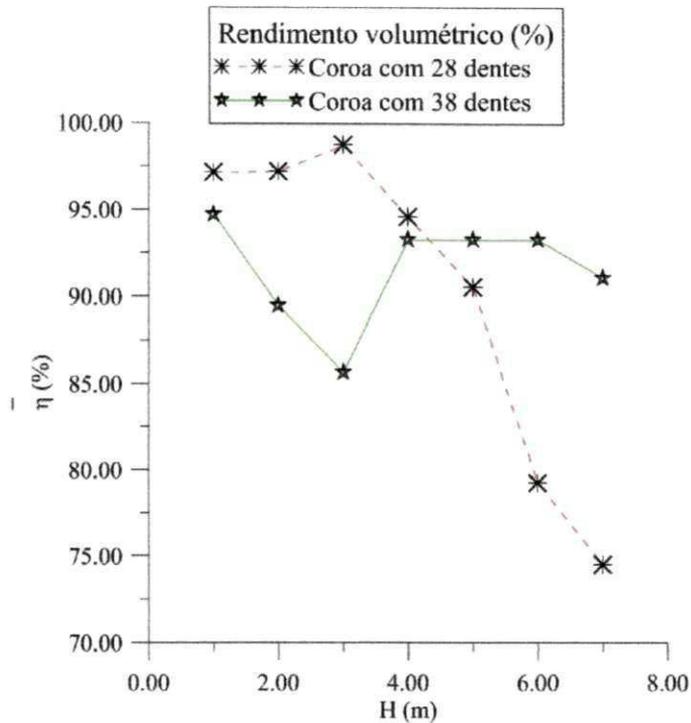


Figura 4.16 – Rendimento volumétrico em função da altura, para as coroas 28 e 38 dentes.

Tabela 4.3 – Vazões das bombas fornecidas por diversos autores.

Autores	Altura mca (m)	Potência (W)	Vazão volumétrica (m³/h)
Holanda (2001) Pistão	1,80	7,80	1,13
Holanda (2001) Diafragma	1,80	3,20	1,30
Gilg et al. (2006)	3,05	-	0,50
Practil Action (2006)	-	-	18,00
Adeoti et al. (2007)	-	-	5,00
Hiller (2007)	-	-	2,50
Leary (2010)	26,00	-	2,40
Mancebo (2010)	-	48,00	1,00
Marroquin (2010)	-	-	4,50
Baumann (2011)	12,00	75,00	3,00
Martin (2011)	-	39,07	2,04
Oliveira (2011)	-	-	1,50

A Tabela 4.4 relaciona a potência de acionamento disponibilizado para, um homem, uma mulher e uma criança. A potência disponibilizada pelo o pedal para acionar a bomba foi maior para a coroa com 38 dentes e altura manométrica máxima de 7 metros . A Figura 4.17 apresenta melhor o que foi esplando através da Tabela 4.2.

Tabela 4.4 – Comparação entre as potências disponibilizada para um homem, uma mulher e uma criança, e aquela disponibilizada para acionar o sistema de bombeamento à pedal

Caso	\dot{W} (Watts)		Fonte
	Braços	Pernas	
1. Homem	70	100	Gutierrez, 2005
2. Mulher	50	75	Gutierrez, 2005.
3. Criança	40	65	Gutierrez, 2005
4. Homem		93	Este trabalho

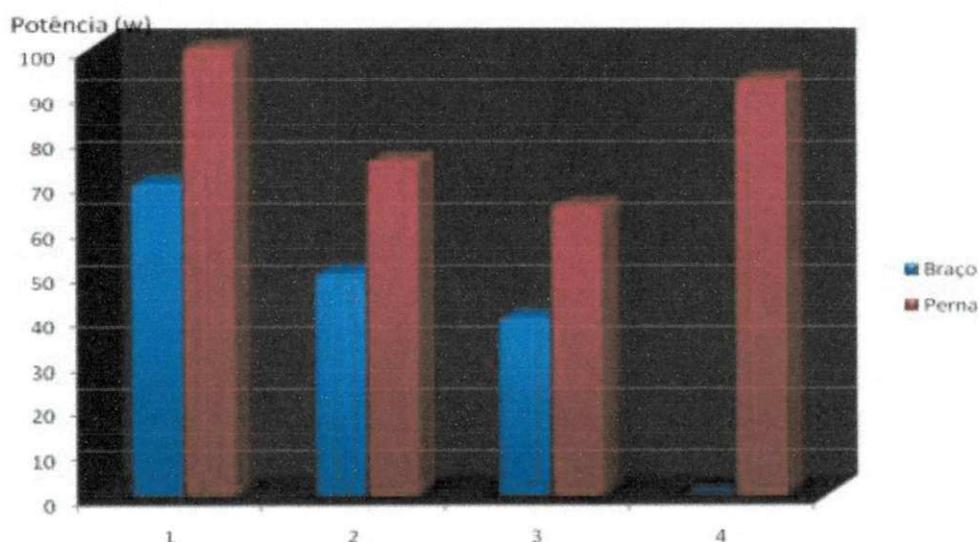


Figura 4.17 – Potência máxima disponibilizada para um homem, mulher e criança e aquela usada para acionar o sistema de bombeamento deste trabalho.

4.3 Considerações finais sobre o sistema de bombeamento

O sistema de bombeamento à pedal foi testado em diversas situações sem apresentar problemas técnicos. O sistema de bombeamento à pedal tem possibilidade de elevar água a mais de dez metros de altura; isto não foi feito por razões de segurança, devido a falta de estabilidade do andaime. Se o sistema de transmissão tivesse sido substituído por um sistema

de acionamento com marchas de bicicleta para corrida, o esforço mecânico quanto às forças aplicadas, torques e potências de acionamento do sistema teria sido reduzida ainda mais, podendo ser acionado por qualquer tipo de usuário, mesmo sendo este uma criança.

O “design” do sistema de bombeamento apresentado é bem simples, com muitos pontos positivos. O banco com encosto é bastante ergonômico, permitindo ao usuário um pedalar mais confortável. Se o encosto, fosse mal projetado, mais força seria requerido nos pedais. Quanto ao peso e deslocamento do sistema, o “design” mostrou-se apropriado, de fácil locomoção e estrutura simples, porém eficiente.

Existem alguns pontos que poderiam ser melhorados. Estes pontos listados a seguir, foram apontados por Pereira (2010) e confirmados nesta pesquisa.

- a) Má projeção do banco em relação ao ento, por este ter ficado muito comprido.

A Figura 4.18 ilustra o tamanho do assento ideal para o sistema. O assento com a falta de regulagem, afeta a força das pernas em relação ao pedalamento. Uma pessoa não tem posição para bombear devido à falta de regulagem do banco, isto de alguma forma afeta a força disponibilizada das pernas para o pedal.



Figura 4.18 – Assento considerado como ideal.
Fonte: Pereira (2010).

b) Apoio das mãos

O apoio das mãos termina causando problemas lombares para o usuário. As Figura 4.19 e 4.20 ilustram as posições da região lombar, a distância das pernas para os pedais e falta de proteção para os pés.

c) Posicionamento das pernas

Outro ponto predominante no sistema de bombeamento à pedal que contribuí de forma negativa, para seu uso operacional é o posicionamento do assento. Observando as Figuras 4.19 e 4.20, pode ser visto o operador com as pernas encolhidas. A solução encontrada para solucionar o referido problema, foi elevando a altura do assento em aproximadamente 20 centímetros como ilustra a Figura 3.30.

d) Posicionamento da bomba hidráulica

Outro ponto negativo apresentado pelo o sistema de bombeamento a pedal, foi o posicionamento da bomba manual. A Figura 4.20 mostra de forma clara seu posicionamento. Devido a este posicionamento a vazão basicamente era nula, porquanto, as válvulas de entrada e saída não funcionavam. A solução encontrada pelo autor deste trabalho, foi invertendo todo sistema bomba, biela e manivela, segundo ilustra a Figura 4.21.



Figura 4.19 – Banco, posição das mãos , região lombar e falta de proteção para os pés.

Fonte: Pereira 2010.



Figura 4.20 – Sistema de transmissão sendo acionado.
Fonte: Pereira (2010).

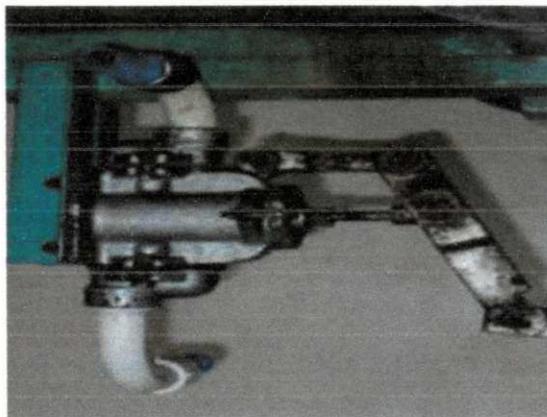


Figura 4.21 – Posicionamento original da bomba manual. Fonte: Pereira (2010).

CAPITULO V

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

5.1 - Conclusões

A partir dos resultados obtidos variando-se a altura manométrica de recalque de 1 a 7 m, pode-se concluir que:

- A vazão volumétrica da água variou entre 1,81 a 2,70 m³/h devido ao aumento da rotação do sistema de transmissão, esse aumento se deu devido a troca da coroa com 28 dentes para a de 38 dentes.
- A vazão mássica da água variou entre 0,450 a 0,750 kg/s, devido a variação da velocidade imposta sobre o sistema de transmissão, foi semelhante a vazão volumétrica;
- A pressão da água na saída da bomba cresceu linearmente de 3000 a 55700 Pa, essa variação foi devido o aumento da altura manométrica de recalque;
- A força no pedal variou de 1,77 para 32,15 N. Esta ocorrência foi originado devido o aumento da pressão, causado devido a variação da altura manométrica de recalque
- A força no êmbolo da bomba variou entre 8,43 a 153,07 N, na mesma proporção da força do pedal, essa variação se deu devido o aumento da pressão no êmbolo da bomba e sua origem foi devido a altura manométrica de recalque.
- Os torques nos eixos: (eixo da manivela - O₂) e eixo (eixo do pedal - O₄), variaram entre 0,22 a 3,97 Nm, respectivamente na mesma proporção das forças do pedal e êmbolo da bomba;

- A potência do pedal variou de 2,28 a 49,74 Watts, enquanto que a potência da bomba variou de 3,22 a 3,16 Watts. Logo, para os dois primeiros metros, a potência da bomba apresentou um rendimento mecânico superior a potência do pedal, o que não é o esperado;
- O rendimento mecânico variou entre 50 a 90%, a perdas de cargas apresentadas através do sistema de transmissão e tubulação de recalque.

5.2 - Sugestões para trabalhos futuros

A partir do estudo realizado com o sistema de bombeamento, sugere-se como possíveis pesquisas futuras:

- Estudar o efeito da energia cinética e rotação do volante no desempenho do sistema;
- Monitorar com sensores as partes vitais do corpo humano e determinar a força aplicada localmente para cada variação de posição de braços e pernas;
- Melhorar o design do sistema, no que diz respeito ao encosto e apoio dos pés e mãos.
- Propor e analisar um novo sistema de transmissão adequado para o sistema.
- Analisar a posição ergométrica mais adequada de bombeamento, procurando descrever a viabilidade de bombear água na vertical como uma bicicleta comum, ou, sentado num banco com encosto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATE, C., BOTEL, T.A. **Carneiro hidráulico com tubulações de alimentação em aço galvanizado e em PVC**, 2002. 203 p. TCC. Departamento de Engenharia Rural. USP, São Paulo.

ÁGUA DE CHUVA. **O segredo da convivência com o semi-árido, Caritás Brasileiro..** Disponível em http://www.febraban.org.br/arquivos/destaques-fomezero_semiárido.asp., Acesso em Julho de 2012.

ADEOTI, A., BARRY, B., NAMARA, R., KAMARA, R., **Treadle pump irrigation and poverty in Ghana, Colombo e Sri-Lanka**. 30, 2007, International Water Institute., Africa, 2007.

AZEVEDO NETO, J. M., Manual de hidráulica. Editora Edgard Bluchen (1973).

BAUMANN, E., **Low cost hand pumps**. Disponível em <http://www.unicef.org/suply/index5430/html>. Acesso em maio de 2011.

BARTLE, P., **Estudio de la bomba de mecate**. 2007. Ayuda a las comunidades. Community Empowerment Collective. Disponível em cec.vcn.bc/mpf/modules/wat-ros.htm, Acesso em Maio de 2012.

Balanco Energético Nacional Disponível em http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channella=1432. Acesso em 31/07/2012.

BLACK, P. O., **Bombas**. Rio de Janeiro. RJ/Brasil.Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ, 1979, p.179 – 181 e 217 – 220.

BOMBA DE RIO RIFE. Disponível em www.amazon.com/rp-100-rife-river-pump.

Acesso em Março de 2012.

DAKER, A. **Captação, elevação e melhoramento da água**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983. Vol II p. 408.

DALLEY, S., OLESON, J.P, **Sennacherib, Archimedes, and the water scew: The context of invention in the ancient world**”, disponível em <http://www.student.dtu.dk/44>, 2003. Acesso em Maio de 2012.

FOX, R. W. e MCDONALD, A.T., **Introdução à mecânica dos fluidos**. Rio de Janeiro editora: Guanabara Koogan, S.A., 1995.

FEDRIZZI, M. C., **Fornecimento de águas com sistema de bombeamento fotovoltaicos**.1997. 150 p. Dissertação (Mestrado em energia).Instituto de Eletrotécnica e Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo.

GILG et al., **Bycicle powered water pump. by Larry Gilg** .2006.

GUIMARÃES, L. E. C., ROCHA, I.A.M.. **Projeto de unidade móvel de bombeamento d'água movido à propulsão humana**. In: 3º Congresso Internacional de Pesquisa em Design, Rio de Janeiro, 2005.

GUTIÉRREZ, U. T., **Estudio acerca Del ampleo de la bomba manual de água em el âmbito rural em países em vias de desarrollo**. 2005. 154 P. Proyecto Fim de Carrera (PFC). Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.

HILLER, S., **The treadly pump in Zambia**. 2007. 77 p. MSc and Rural policy Group. Department of Social Sciences”, Wageningen University, UR.

HOLANDA, R. H. **Projeto, construção e experimentação de uma bomba de diafragma acionada a baixa rotação**.2001. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Ciencia e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

YVEL (2011). Disponível em:<http://www.yvel.com.br>. Acesso em 22/02/2011.

LEARY, J., **Bicibomba (construcción de bicibomba movil)** - University of Shafild (U.K.), Guatemala (2010).

MARROQUIN, C., **Sistema de bombeamento d'água Acionado por Propulsão Humana**. University of Shafild (U.K.), 2010

MANCEBO, P., REBASSA TOUS, G., **Bomba de mecate sobreelevada BM – II**. Universidad de castilla La Mancha. Universidad Politecnica de Madrid, 2010.

MANCEBO, P., J.A. **XVII Curso de Cooperacion para El Desarrollo de Asentamientos Humanos em el Tercer Mundo**. Sistemas de Impulsion. Febrero 2010.

MARTÍN, S. R., **Instrumentación, adquisició de datos e ensayo de bici-bombas de mascate**. 2011. 99 p. Dissertação (Térmica y Fluídos). Área de Engenharia Termica, Universidad Carlos III, Madrid.

MELLEROWICZ, H., **Ergometria medica panamericana**, Buenos Aires, 1984.

MENDONÇA, R. S., LIMA, Iara R. B., RODRIGUES, F. P., SILVA, M. C. M. , SOARES, A. B. C. A., **ENERGIA E TRABALHO: Fontes de Dignidade Para o Homem no Semi-árido**. Instituto federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. 2009. 20 p. Be – Pa.

MIRTI, T.H., WALLENDER, W.J., GRISMER, M. J., **Performance Characteristics of the Shadouf**. Disponível em <https://eleibrary.asabe.org/azdez.asp?jid=3&aid>. Acesso em Julho de 2012.

OLIVEIRA, J. R., et al, **Construção e avaliação de equipamento para bombeamento de água tipo “ Carneiro Hidráulico alternativo”**. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2011.

PEREIRA, G. M., MELO, C. R., **Carneiro hidráulico**. Disponível em: WWW.deg.ufla.br. Acesso em Setembro de 2010.

Practical Action, **Treadle-pump**, 2006. Disponível em: <http://www.practicalaction.org/treadly-pump> 1. Acesso em Maio de 2012.

SHAPPIRO, Howard N., MORAN, Michael J., **Principios da termodinâmica**, New York: LTC publicações, Inc., 2008, pg 20-22

SOCIEDADE DO SOL. **Água: captação, uso e reuso**. São Paulo, 2003.. Disponível em WWW.sociedadedosol.org.br/agua.html. Acesso Maio de 2012.

ZINGMAN, A. **Optimization of sa avonius rotor vertical-axis wind turbine for use in water pumping systems in rural Honduras**”. 2007. 26p. Requeremensts for the Degree of Bachelor of Science in Mechanical Engineering, Massachesetts Institute of Technology. Honduras.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Valores médios obtidos durante o funcionamento da Unidade de Bombeamento à Pedal usando a coroa de 28 dentes.

Tabela A1 – Valores médios obtidos durante o funcionamento da unidade de bombeamento (H= 1m).

Exp.	T (°C)	M (kg)	V (l)	Pe* mmHg	P _{S1} ** (mmHg)	P _{S2} *** (kgf/cm ²)	Z (numero dentes)	H (m)	V _{O2} (km/h)
1	27,00	31,25	34,00	60,00	23,00	0,15	28	1,0	8,40
2	27,00	36,68	36,55	59,98	23,00	0,14	28	1,0	9,00
3	27,00	34,00	33,90	60,00	23,00	0,15	28	1,0	8,35

*vacuômetro, ** Manômetro em U ***manômetro

Exp.	ν (m ² /kg)	ρ_{lab} (Kg/m ³)	ρ_{real} (kg/m ³)	Pe* (Pa)	P _{S1} ** (Pa)	P _{S2} *** (Pa)	V _{O2} (m/s)	ω_{vol} (rpm)	ω_{vol} (rad/s)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	\dot{m} (kg/s)	t (s)
1	0,001003	996,512	919,12	7998,00	3065,9	-	2,33	99	10,37	0,567	2,052	0,520	60
2	0,001003	996,512	992,61	7995,25	3065,9	-	2,50	106	11,10	0,609	2,193	0,611	60
3	0,001003	996,512	1002,95	7998,25	3065,9	-	2,32	98	10,26	0,565	2,034	0,567	60

Exp	Força (N)						Rotação ω (rad/s)			Torque (Nm)			Potência (W)		η_m (%)
	F _{eb}	F _m	F _{C1-Fc2}	F _{C2-Fc3}	F _{C3-Fc4}	F _P	ω_{O2}	ω_{O3}	ω_{O4}	T _{O2}	T _{O3}	T _{O4}	W _p	W _b	
1	8,43	4,47	5,47	5,47	5,47	1,77	10,37	10,37	7,57	0,22	0,22	0,30	1,77	2,27	141,27
2	8,43	4,47	5,47	5,47	5,47	1,77	11,10	10,10	7,37	0,22	0,22	0,30	1,77	2,22	170,34
3	8,43	4,47	5,47	5,47	5,47	1,77	10,26	10,26	7,50	0,22	0,22	0,30	1,77	2,26	155,44

Tabela A2 - Valores médios obtidos durante o funcionamento da unidade de bombeamento (H = 2m).

Exp.	T (°C)	M (kg)	V (l)	Pe* mmHg	Ps1** (mmHg)	Ps2*** (kgf/cm ²)	Z (numero dentes)	H (m)	V _{O2} (km/h)
1	27,00	35,00	34,94	67,00	67,70	0,20	28	2,0	8,60
2	27,00	34,25	34,10	66,99	67,74	0,19	28	2,0	8,40
3	27,00	34,30	34,20	66,97	67,68	0,17	28	2,0	8,40

*vacuômetro, ** Manômetro em U ***manômetro

Exp.	ν (m ³ /kg)	ρ_{tab} (Kg/m ³)	ρ_{real} (kg/m ³)	Pe* (Pa)	P _{S1} ** (Pa)	P _{S2} *** (Pa)	V _{O2} (m/s)	ω_{vol} (rpm)	ω_{vol} (rad/s)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	\dot{m} (kg/s)	t (s)
1	0,001003	996,314	1001,72	8931,10	9025,13	19950,00	2,34	99	10,58	0,583	2,099	0,583	60
2	0,001003	996,314	1004,40	8930,10	9030,20	19900,00	2,33	106	10,37	0,568	2,045	0,571	60
3	0,001003	996,314	1002,92	8927,80	9022,55	19850,00	2,33	98	10,37	0,570	2,052	0,572	60

Exp	Força (N)						Rotação ω (rad/s)			Torque (Nm)			Potência (W)		η_m (%)
	F _{eb}	F _m	F _{C1} -F _{C2}	F _{C2} =F _{C3}	F _{C3} F _{C4}	F _p	ω_{O2}	ω_{O3}	ω_{O4}	T _{O2}	T _{O3}	T _{O4}	W _p	W _b	
1	54,86	29,08	35,62	35,62	35,62	11,52	101	10,58	7,72	1,42	1,42	1,96	15,12	9,68	64,00
2	54,72	29,01	35,53	35,53	35,53	11,50	99	10,37	7,57	1,42	1,42	1,95	14,80	10,43	70,50
3	54,59	28,93	35,44	35,44	35,44	11,47	99	10,37	7,57	1,42	1,42	21,95	14,76	9,76	66,14

Tabela A3 – Valores médios obtidos durante o funcionamento da unidade de bombeamento (H = 3m)

Exp.	T (°C)	M (kg)	V (l)	Pe* mmHg	Ps1** (mmHg)	Ps2*** (kgf/cm ²)	Z (numero dentes)	H (m)	V _{O2} (km/h)
1	30,0	35,30	35,25	90,00	150,00	0,225	28	3,0	8,67
2	30,0	35,30	35,20	92,50	147,00	0,225	28	3,0	8,67
3	30,0	36,33	36,25	90,00	150,00	0,225	28	3,0	8,92

*vacuômetro, ** Manômetro em U ***manômetro

Exp.	ν (m ³ /kg)	ρ_{tab} (Kg/m ³)	ρ_{real} (kg/m ³)	Pe* (Pa)	Ps1** (Pa)	Ps2*** (Pa)	V O4 (m/s)	ω_{vol} (rpm)	ω_{vol} (rad/s)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	\dot{m} (kg/s)	T (s)
1	0,001004	995,718	1001,42	11997,00	19995,00	22064,96	2,41	102	10,68	0,587	2,11	0,588	60
2	0,001004	995,718	1002,84	12330,25	19595,10	22064,96	2,41	102	10,68	0,587	2,11	0,588	60
3	0,001004	995,718	1002,21	11997,00	19995,00	22094,96	2,48	105	10,99	0,604	2,17	0,605	60

Exp	Força (N)						Rotação ω (rad/s)			Torque (Nm)			Potência (W)		η_m (%)
	F _{eb}	F _m	F _{C1} -F _{C2}	F _{C2} =F _{C3}	F _{C3} =F _{C4}	F _P	ω_{O2}	ω_{O3}	ω_{O4}	T _{O2}	T _{O3}	T _{O4}	W _p	W _b	
1	55,00	29,14	35,70	35,70	35,70	11,55	10,68	10,68	7,80	1,43	1,43	1,96	15,32	16,00	104,46
2	53,89	28,56	35,00	35,00	35,00	11,32	10,68	10,68	7,80	1,40	1,40	1,92	15,01	15,96	106,33
3	54,97	29,14	35,70	35,70	35,70	11,55	10,99	10,99	8,02	1,43	1,43	1,96	15,75	16,47	104,58

Tabela A4 – Valores médios obtidos durante o funcionamento da unidade de bombeamento (H = 4m).

Exp.	T (°C)	M (kg)	V (l)	Pe* mmHg	Ps1** (mmHg)	Ps2*** (kgf/cm ²)	Z (numero dentes)	H (m)	V _{O2} (km/h)
1	30,0	35,00	34,85	85,00	293,74	0,25	28	4,0	8,58
2	30,0	37,37	37,25	90,00	321,51	0,25	28	4,0	9,17
3	30,0	35,30	35,25	90,00	309,67	0,25	28	4,0	8,67

*vacuômetro, ** Manômetro em U ***manômetro

Exp.	v (m ³ /kg)	ρ _{tab} (Kg/m ³)	ρ _{real} (kg/m ³)	Pe* (Pa)	Ps2** (Pa)	Ps2*** (Pa)	V _{O2} (m/s)	ω _{vol.} (rpm)	ω _{vol.} (rad/s)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	ṁ (kg/s)	t (s)
1	0,001004	995,718	1004,30	11330,50	26126,80	21574,63	2,38	107,0	11,20	0,580	2,18	0,583	60
2	0,001004	995,718	1003,20	11997,00	27726,40	21574,63	2,55	112,5	11,78	0,620	2,23	0,623	60
3	0,001004	995,718	1001,42	11997,00	28393,00	21574,63	2,41	106,0	11,10	0,587	2,11	0,588	60

Exp	Força (N)						Rotação ω (rad/s)			Torque (Nm)			Potência (W)		η _m (%)
	F _{éb}	F _m	F _{C1=C2}	F _{C2=C3}	F _{C3=C4}	F _p	ω _{O2}	ω _{O3}	ω _{O4}	T _{O2}	T _{O3}	T _{O4}	W _p	W _b	
1	71,85	38,08	46,65	46,65	46,65	15,10	11,20	11,20	8,18	1,87	1,87	2,56	21,00	16,40	78,14
2	76,25	40,41	49,51	49,51	49,51	16,02	11,78	11,78	8,60	1,98	1,98	2,72	23,41	17,95	76,65
3	78,08	41,38	50,70	50,70	50,70	16,40	11,10	11,10	8,11	2,03	2,03	2,80	22,61	16,94	74,91

Tabela A5 – Valores médios obtidos durante o funcionamento da unidade de bombeamento (H = 5m).

Exp.	T (°C)	M (kg)	V (l)	Pe* mmHg	P _{S1} ** (mmHg)	P _{S2} *** (kgf/cm ²)	Z (numero dentes)	H (m)	V _{O2} (km/h)
1	30,0	35,30	34,85	85,00	266,24	0,25	28	5,0	8,84
2	30,0	37,37	37,25	90,00	284,78	0,25	28	5,0	8,58
3	30,0	35,30	35,25	90,00	304,32	0,25	28	5,0	8,50

*vacuômetro, ** Manômetro em U ***manômetro

Exp.	ν (m ² /kg)	ρ_{tab} (Kg/m ³)	ρ_{real} (kg/m ³)	Pe* (Pa)	P _{S1} ** (Pa)	P _{S2} *** (Pa)	V _{O2} (m/s)	$\omega_{vol.}$ (rpm)	$\omega_{vol.}$ (rad/s)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	\dot{m} (kg/s)	t (s)
1	0,0010043	995,718	1012,9125	11330,50	26260,10	24516.63	2,46	110	11,51	0,580	2,088	0,588	60
2	0,0010043	995,718	1003,2215	11997,00	26260,10	24516.63	2,38	107	11,21	0,620	2,046	0,623	60
3	0,0010043	995,718	1001,4184	11997,00	28259,60	24516.63	2,36	106	11,10	0,587	2,113	0,588	60

Exp	Força (N)						Rotação ω (rad/s)			Torque (Nm)			Potência (W)		η_m (%)
	F _{ab}	F _m	F _{C1-Fc2}	F _{C2-Fc3}	F _{C3-Fc4}	F _p	ω_{O2}	ω_{O3}	ω_{O4}	T _{O2}	T _{O3}	T _{O4}	W _p	W _b	
1	72,21	38,28	47,00	47,00	47,00	15,17	11,51	11,51	8,40	1,87	1,87	2,58	21,10	20,88	98,98
2	72,21	38,28	46,89	46,89	46,89	15,17	11,21	11,21	8,18	1,87	1,87	2,58	21,10	20,88	98,97
3	77,71	41,20	50,46	50,46	50,46	16,32	11,10	11,10	8,10	2,85	2,85	3,91	22,48	20,88	92,88

Tabela A6 – Valores médios obtidos durante o funcionamento da unidade de bombeamento (H = 6m).

Exp.	T (°C)	M (kg)	V (l)	Pe* mmHg	P _{S1} ** (mmHg)	P _{S2} *** (kgf/cm ²)	Z (numero dentes)	H (m)	V _{O4} (km/h)
1	27,0	30,10	30,70	90,00	299,07	0,375	28	6,0	8,8
2	27,0	32,10	32,52	90,00	299,50	0,375	28	6,0	8,9
3	27,0	30,16	30,43	90,00	309,78	0,375	28	6,0	8,8

*vacuômetro, ** Manômetro em U ***manômetro

Exp.	ν (m ³ /kg)	ρ_{tab} (Kg/m ³)	ρ_{real} (kg/m ³)	Pe* (Pa)	P _{S1} ** (Pa)	P _{S2} *** (Pa)	V _{O4} (m/s)	ω_{vol} (rpm)	ω_{vol} (rad/s)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	\dot{m} (kg/s)	t (s)
1	0,0010035	996,512	980,46	11997,00	39865,85	36774,94	2,44	110	11,52	0,512	1,84	0,502	60
2	0,0010035	996,512	987,08	11997,00	39929,72	36774,94	2,47	111	11,62	0,542	1,95	0,535	60
3	0,0010035	996,512	991,13	11997,00	41293,28	36774,94	2,44	110	11,52	0,507	1,82	0,503	60

Exp	Força (N)						Rotação ω (rad/s)			Torque (Nm)			Potência (W)		η_m (%)
	F _{tb}	F _m	F _{C1=FC2}	F _{C2=FC3}	F _{C3=FC4}	F _p	ω_{O2}	ω_{O3}	ω_{O4}	T _{O2}	T _{O3}	T _{O4}	W _p	W _b	
1	109,63	58,11	71,18	71,18	71,18	23,03	11,52	11,52	8,41	2,85	2,85	3,91	32,92	23,66	71,86
2	109,81	58,20	71,30	71,30	71,30	23,07	11,62	11,62	8,48	2,85	2,85	3,92	33,25	25,25	75,93
3	113,56	60,20	73,73	73,73	73,73	23,85	11,52	11,52	8,41	2,95	2,95	4,05	23,85	24,43	71,63

DFCG/PRIMOTEC/BC

Tabela A7 – Valores médios obtidos durante o funcionamento da unidade de bombeamento (H = 7m)

Exp.	T (°C)	M (kg)	V (l)	Pe* mmHg	P _{S1} ** (mmHg)	P _{S2} *** (kgf/cm ²)	Z (numero dentes)	H (m)	V _{O2} (km/h)
1	26,5	29,56	30,10	100,00	417,60	0,500	28	7,0	9,2
2	26,5	31,98	33,40	100,00	450,91	0,525	28	7,0	9,45
3	26,5	31,00	31,30	107,50	408,75	0,500	28	7,0	9,55

*vacuômetro, ** Manômetro em U ***manômetro

Exp.	ν (m ³ /kg)	ρ_{tab} (Kg/m ³)	ρ_{real} (kg/m ³)	Pe* (Pa)	P _{S1} ** (Pa)	P _{S2} *** (Pa)	V _{O4} (m/s)	ω_{vol} (rpm)	ω_{vol} (rad/s)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	\dot{m} (kg/s)	t (s)
1	0,000100	996,6611	982,0598	13330,00	50654,00	49033,25	2,56	115,50	12,10	0,502	1,81	0,493	60
2	0,001003	996,6611	957,4850	13330,00	51587,10	51484,91	2,63	118,65	12,42	0,557	2,00	0,533	60
3	0,001003	996,6611	990,4153	14329,75	51587,10	49033,25	2,65	119,55	12,52	0,522	1,88	0,517	60

Exp	Força (N)						Rotação ω (rad/s)			Torque (Nm)			Potência (W)		η_m %
	F _{eb}	F _m	F _{C1-FC2}	F _{C2=FC3}	F _{C3-FC4}	F _p	ω_{O2}	ω_{O3}	ω_{O4}	T _{O2}	T _{O3}	T _{O4}	W _p	W _b	
1	139,30	73,83	90,44	90,44	90,44	29,26	12,10	12,10	8,83	3,62	3,62	4,97	43,92	29,23	66,54
2	141,86	75,19	92,11	92,11	92,11	29,80	12,42	12,42	9,07	3,68	3,68	5,07	45,95	32,10	69,86
3	141,86	75,19	92,11	92,11	92,11	29,80	12,52	12,52	9,14	3,68	3,68	5,07	46,30	30,33	65,50

APÊNDICE B

Valores médios obtidos durante funcionamento da Unidade de Bombeamento à Pedal usando a coroa de 38 dentes.

Tabela B1 – Valores médios obtidos durante o funcionamento da unidade de bombeamento (H = 1m)

Exp.	T (°C)	M (kg)	V (l)	Pe* mmHg	Ps1** (mmHg)	Ps2*** (kgf/cm ²)	Z (num.de dent.)	H (m)	V _{O2} (km/h)
1	29,0	42,50	42,40	90,00	35,00	-	38	1,0	10,75
2	29,0	37,00	36,90	95,00	23,00	-	38	1,0	11,00
3	29,0	40,20	40,04	95,00	23,00	-	38	1,0	11,25

*vacuômetro, ** Manômetro em U ***manômetro

Exp.	ν (m ³ /kg)	ρ_{lab} (Kg/m ³)	ρ_{real} (kg/m ³)	Pe* (Pa)	Ps1** (Pa)	Ps2*** (Pa)	V _{O2} (m/s)	ω_{vol} (RPM)	ω_{vol} (rad/s)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	\dot{m} (kg/s)	t (s)
1	0,001004	996,0159	1,002358	11997,00	4665,15	-	2,988	134,80	14,53	0,707	2,545	0,708	60
2	0,001004	996,0159	1,002710	12663,50	3065,90	-	3,058	137,95	14,45	0,615	2,214	0,617	60
3	0,001004	996,0159	1,003996	12663,50	3065,90	-	3,127	141,07	14,77	0,667	2,401	0,670	60

Exp	Força (N)						Rotação ω (rad/s)			Torque (Nm)			Potência (W)		η_m (%)
	F _{ab}	F _m	F _{C1} -F _{C2}	F _{C2} =F _{C3}	F _{C3} =F _{C4}	F _p	ω_{O2}	ω_{O3}	ω_{O4}	T _{O2}	T _{O3}	T _{O4}	W _p	W _b	
1	12,83	6,80	8,33	8,33	8,33	2,70	14,53	14,53	10,61	0,33	0,33	0,46	4,86	6,95	142,97
2	8,43	4,47	5,47	5,47	5,47	1,77	14,45	14,45	10,55	0,22	0,22	0,30	3,17	5,00	157,40
3	8,43	4,47	5,47	5,47	5,47	1,77	14,77	14,77	10,78	0,22	0,22	0,30	3,24	5,02	154,93

Tabela B2 – Valores médios obtidos durante o funcionamento da unidade de bombeamento.

Exp.	T (°C)	M (kg)	V (l)	Pe* mmHg	Ps1** (mmHg)	Ps2*** (kgf/cm ²)	Z (num.de dent.)	H (m)	V _{O2} (km/h)
1	29,0	43,50	43,45	90	35,00	0,115	38	2,0	10,45
2	29,0	39,00	38,80	95	23,00	0,110	38	2,0	9,77
3	29,0	43,00	42,90	90	23,00	0,120	38	2,0	10,80

*vacuômetro, ** Manómetro em U ***manômetro

Exp.	ν (m ³ /kg)	$\rho_{tab=1/}$ (Kg/m ³)	ρ_{reat} (kg/m ³)	Pe* (Pa)	Ps1** (Pa)	Ps2*** (Pa)	V _{O2} (m/s)	ω_{vol} (RPM)	ω_{vol} (rad/s)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	\dot{m} (kg/s)	t (s)
1	0,001004	996,0159	1,001151	11997,00	4665,15	-	2,99	131,278	13,75	0,72	2,592	0,725	60
2	0,001004	996,0159	1,005155	12663,50	3065,90	-	3,06	122,707	12,85	0,65	2,340	0,650	60
3	0,001004	996,0159	1,002332	12663,50	3065,90	-	3,13	135,338	14,17	0,72	2,592	0,717	60

Exp	Força (N)						Rotação ω (rad/s)			Torque (Nm)			Potência (W)		η_m (%)
	F _{éb}	F _m	F _{C1=F_{C2}}	F _{C2=F_{C3}}	F _{C3=F_{C4}}	F _p	ω_{O2}	ω_{O3}	ω_{O4}	T _{O2}	T _{O3}	T _{O4}	W _p	W _b	
1	30,42	16,13	19,75	19,75	19,75	6,39	13,75	13,75	10,04	0,79	0,79	1,07	10,91	13,23	
2	30,42	16,13	19,75	19,75	19,75	6,39	12,85	12,85	9,38	0,79	0,79	1,08	10,19	12,30	112,75
3	28,96	15,35	18,80	18,80	18,80	6,08	14,17	14,17	10,34	0,75	0,75	1,03	10,69	12,70	124,6

Tabela B3 – Valores médios obtidos durante o funcionamento da unidade de bombeamento.

Exp.	T (°C)	M (kg)	V (l)	Pe* mmHg	Ps1** (mmHg)	Ps2*** (kgf/cm ²)	Z (num. de dent.)	H (m)	V _{E4} (km/h)
1	29,5	37,9	37,8	90	234,35	0,25	38	3,0	9,70
2	29,5	33,60	33,55	95	234,48	0,25	38	3,0	9,70
3	29,5	36,80	36,70	95	250,02	0,25	38	3,0	10,05

*vacuômetro, ** Manômetro em U ***manômetro

Exp.	ν (m ³ /kg)	$\rho_{tab-1/}$ (Kg/m ³)	ρ_{real} (kg/m ³)	Pe* (Pa)	Ps1** (Pa)	Ps2*** (Pa)	V O2 (m/s)	$\omega_{vol.}$ (RPM)	ω_{vol} (rad/s)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	\dot{m} (kg/s)	t (s)
1	0,00100415	995,86715	1,002645	11997	20394,90	24516.63	2,70	121,8	12,75	0,63	2,268	0,632	60
2	0,00100415	995,86715	1,001490	12663,5	20928,10	24516.63	2,70	121,8	12,75	0,56	2,016	0,560	60
3	0,00100415	995,86715	1,002735	12663,5	20661,50	24516.63	2,794	126,0	13,19	0,61	2,196	0,613	60

Exp	Força (N)						Rotação ω (rad/s)			Torque (Nm)			Potência (W)		η %
	F _{th}	F _m	F _{C1-FC2}	F _{C2=FC3}	F _{C3=FC4}	F _p	ω_{O2}	ω_{O3}	ω_{O4}	T _{O2}	T _{O3}	T _{O4}	W _p	W _b	
1	56,08	29,73	36,42	36,42	36,42	11,78	12,75	12,75	9,31	1,46	1,46	2,00	18,65	17,45	93,56
2	57,55	30,50	37,37	37,37	37,37	12,09	12,75	12,75	9,31	1,49	1,49	2,05	19,13	16,14	84,37
3	56,82	30,17	36,89	36,89	36,89	11,93	13,19	13,19	9,63	1,47	1,47	2,03	19,54	17,50	89,56

Tabela B4 – Valores médios obtidos durante o funcionamento da unidade de bombeamento.

Exp.	T (°C)	M (kg)	V (l)	Pe* mmHg	Ps1** (mmHg)	Ps2*** (kgf/cm ²)	Z (num.de dent.)	H (m)	V _{E4} (km/h)
1	29,5	34,20	34,10	100		0,30	38	4,0	9,75
2	29,5	31,00	31,20	100		0,30	38	4,0	8,50
3	29,5	37,48	37,40	95		0,275	38	4,0	10,00

*vacuômetro, ** Manômetro em U ***manômetro

Exp.	υ (m ³ /kg)	ρ _{tab=1} (Kg/m ³)	ρ _{real} (kg/m ³)	Pe* (Pa)	Ps1** (Pa)	Ps2*** (Pa)	V O4 (m/s)	ω _{vol.} (RPM)	ω _{vol} (rad/s)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	ṁ (kg/s)	t (s)
1	0,00100415	995,867151	1,002645	13330	29992,50	29419.95	2,710	122,26	12,80	0,63	2,268	0,632	60
2	0,00100415	995,867151	1,001490	13330	29992,50	29419.95	2,363	106,60	11,16	0,56	2,016	0,560	60
3	0,00100415	995,867151	1,002735	12663,5	30259,10	26968.29	2,78	125,41	13,13	0,61	2,196	0,613	60

Exp	Força (N)						Rotação ω (rad/s)			Torque (Nm)			Potência (W)		η %
	F _{ab}	F _m	F _{C1=F_{C2}}	F _{C2=F_{C3}}	F _{C3=F_{C4}}	F _p	ω _{O2}	ω _{O3}	ω _{O4}	T _{O2}	T _{O3}	T _{O4}	W _p	W _b	
1	82,48	43,72	53,55	53,55	53,55	17,33	12,80	12,80	9,34	2,14	2,14	2,94	27,51	21,61	78,55
2	82,48	43,72	53,55	53,55	53,55	17,33	11,16	11,16	8,15	2,14	2,14	2,94	24,00	23,41	97,50
3	83,21	44,10	54,03	54,03	54,03	17,48	13,13	13,13	9,58	2,16	2,16	2,97	28,47	25,91	91,01

Tabela B5 – Valores médios obtidos durante o funcionamento da unidade de bombeamento.

Exp.	T (°C)	M (kg)	V (l)	Pe* mmHg	Ps1** (mmHg)	Ps2*** (kgf/cm ²)	Z (num.de dent.)	H (m)	V _{F4} (km/h)
1	27	38,56	39,20	95	230,85	0,33	38	5,0	10,00
2	27	38,60	39,00	96	301,26	0,33	38	5,0	10,00
3	27	39,40	40,00	95	301,26	0,34	38	5,0	10,00

*vacuômetro, ** Manómetro em U ***manômetro

Exp.	ν (m ³ /kg)	$\rho_{lab=1/}$ (Kg/m ³)	ρ_{real} (kg/m ³)	Pe* (Pa)	Ps1** (Pa)	Ps2*** (Pa)	V O4 (m/s)	ω_{vol} (RPM)	ω_{vol} (rad/s)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	\dot{m} (kg/s)	t (s)
1	0,0010035	996,512	907,1428	12663,5	32391,90	32361,95	2,78	125,41	13,13	0,65	2,34	0,643	60
2	0,0010035	996,512	989,7436	12796,8	32125,30	23634,03	2,78	125,41	13,13	0,65	2,34	0,643	60
3	0,0010035	996,512	985,0000	12663,5	32125,30	23634,03	2,78	125,41	13,13	0,67	2,41	0,657	60

Exp	Força (N)						Rotação ω (rad/s)			Torque (Nm)			Potência (W)		η (%)
	F _e	F _m	F _{C1} -F _{C2}	F _{C2} =F _{C3}	F _{C3} =F _{C4}	F _P	ω_{O2}	ω_{O3}	ω_{O4}	T _{O2}	T _{O3}	T _{O4}	W _p	W _b	
1	89,08	47,21	57,83	57,83	57,83	18,71	13,13	13,13	9,50	2,31	2,31	3,18	30,22	25,83	85,47
2	88,34	46,82	57,36	57,36	57,36	18,56	13,13	13,13	9,58	2,29	2,29	3,15	30,22	26,30	87,01
3	88,34	46,82	57,36	57,36	57,36	18,56	13,13	13,13	9,58	2,29	2,29	3,15	30,22	39,28	

Tabela B6 – Valores médios obtidos durante o funcionamento da unidade de bombeamento.

Exp.	T (°C)	M (kg)	V (l)	Pe* mmHg	Ps1** (mmHg)	Ps2*** (kgf/cm ²)	Z (num.de dent.)	H (m)	V _{E4} (km/h)
1	29,5	43,00	43,20	100		0,45	38	6,0	10,50
2	29,5	44,02	44,30	100		0,45	38	6,0	10,65
3	29,0	44,95	44,80	97,5		0,475	38	6,0	10,50

*vacuômetro, ** Manômetro em U ***manômetro

Exp.	v (m ³ /kg)	$\rho_{\text{tab-1}}$ (Kg/m ³)	ρ_{real} (kg/m ³)	Pe* (Pa)	Ps1** (Pa)	Ps2*** (Pa)	V O4 (m/s)	ω_{vol} (RPM)	ω_{vol} (rad/s)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	\dot{m} (kg/s)	t (s)
1	0,00100415	995,867151	995,370	13330,00	46121,80	44129,93	2,919	131,68	13,79	0,72	2,592	0,717	60
2	0,00100415	995,867151	993,679	13330,00	45055,40	44129,93	2,961	133,58	14,00	0,74	2,664	0,734	60
3	0,00100400	996,015900	1003,348	12996,75	45455,30	46581,59	2,919	133,68	14,00	0,75	2,700	0,749	60

Exp	Força (N)						Rotação ω (rad/s)			Torque (Nm)			Potência (W)		η (%)
	F _e	F _m	F _{C1} -F _{C2}	F _{C2} =F _{C3}	F _{C3} =F _{C4}	F _p	ω_{O2}	ω_{O3}	ω_{O4}	T _{O2}	T _{O3}	T _{O4}	W _p	W _b	
1	126,83	67,23	82,35	82,35	82,35	26,64	13,79	13,79	9,58	3,29	3,29	4,53	43,39	39,43	90,86
2	123,90	65,67	80,45	80,45	80,45	26,02	14,00	14,00	10,07	3,22	3,22	4,42	44,55	40,28	90,40
3	125,00	66,25	81,16	81,16	81,16	26,26	14,00	14,00	10,22	3,25	3,25	4,46	45,62	31,35	68,72

Tabela B7 – Valores médios obtidos durante o funcionamento da unidade de bombeamento.

Exp.	T (°C)	M (kg)	V (l)	Pe* mmHg	Ps1** (mmHg)	Ps2*** (kgf/cm ²)	Z (num.de dent.)	H (m)	VE4 (km/h)
1	27	31,00	31,20	95		0,52	38	7,0	9,75
2	27	39,00	40,00	96,5		0,50	38	7,0	9,50
3	27	36,70	37,00	97,5		0,55	38	7,0	9,50

*vacuômetro, ** Manómetro em U ***manômetro

Exp.	ν (m ³ /kg)	$\rho_{tab=1/}$ (Kg/m ³)	ρ_{real} (kg/m ³)	Pe* (Pa)	Ps1** (Pa)	Ps2*** (Pa)	V O2 (m/s)	$\omega_{vol.}$ (RPM)	ω_{vol} (rad/s)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	\dot{m} (kg/s)	t (s)
1	0,0010035	996,512	993,5897	12663,5	52653,50	50994.58	2,71	122,25	12,80	0,52	1,872	0,517	60
2	0,0010035	996,512	975,0000	12863,45	52386,90	49033.25	2,64	119,10	12,47	0,67	2,412	0,650	60
3	0,0010035	996,512	991,8919	12996,75	52653,50	53936.58	2,64	119.10	12,47	0,62	2,232	0,612	60

Exp	Força (N)						Rotação ω (rad/s)			Torque (Nm)			Potência (W)		η (%)
	F _{tb}	F _m	F _{C1=FC2}	F _{C2=FC3}	F _{C3=FC4}	F _p	ω_{O2}	ω_{O3}	ω_{O4}	T _{O2}	T _{O3}	T _{O4}	W _p	W _b	
1	144,80	76,75	94,01	94,01	94,01	30,42	12,80	12,80	10,22	3,76	3,76	5,17	52,85	39,37	74,50
2	144,06	76,36	93,54	93,54	93,54	30,26	12,47	12,47	9,34	3,74	3,74	5,14	48,05	37,31	77,65
3	144,80	76,75	94,01	94,01	94,01	30,42	12,47	12,47	9,10	3,76	3,76	5,17	47,05	37,31	79,29