



Éder Henrique Kleinpaul

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE RECALQUE DE
ÁGUA ATRAVÉS DE ENERGIA SOLAR**

Horizontina

2015

Éder Henrique Kleinpaul

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE RECALQUE DE ÁGUA
ATRAVÉS DE ENERGIA SOLAR**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Ademar Michels, Dr.

Horizontina

2015

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**Dimensionamento de um Sistema de Recalque de Água através de Energia
Solar**

Elaborada por:

Éder Henrique Kleinpaul

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 12/11/2015
Pela Comissão Examinadora**

**Prof. Dr. Ademar Michels
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Prof. Me. Anderson Dal Molin
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Prof. Dr. Adriano Roberto da Silva Carotenuto
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina
2015**

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho a todos os colegas professores e amigos que de alguma forma influenciaram em minha caminhada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

A meus pais que nunca mediram esforços para me proporcionar uma educação de qualidade.

A todos os educadores que contribuíram na minha formação acadêmica, sempre com respeito, ética e sabedoria. E a meu orientador, Dr. Ademar Michels, sempre atencioso quando solicitado.

“Sucesso é conseguir o que você quer.
Felicidade é gostar do que você conquistou”

Dale Carnegie

RESUMO

Com a existência de locais onde a energia elétrica ainda está distante, as fontes alternativas de energia são ótimas opções para serem utilizadas em sistemas de recalque de água, a qual pode ser utilizada para diversas finalidades, como abastecimento humano, irrigação de jardins e até lazer. Assim este trabalho tem como objetivo, o dimensionamento de um sistema de recalque de água que opere a partir de energia solar. Descrevendo a localização do poço e do reservatório e através de um levantamento bibliográfico, calculando as perdas de carga da tubulação para encontrar a altura manométrica, assim definindo a potência necessária para a bomba, o motor elétrico e o painel fotovoltaico. Avaliando os resultados obtidos, conclui-se que a pesquisa atingiu seu principal objetivo que é o dimensionamento do sistema de recalque, onde a potência necessária para um motor elétrico de 12 volts escoar 2000 litros de água em 6 horas por uma distância de 260 metros e 21,5 metros de altura manométrica é de 45 watts. A potência requerida para o painel fotovoltaico acionar este motor e carregar uma bateria de 60 amperes é de no mínimo 105 watts.

Palavras-chave:

energia solar – recalque de água – perdas de carga

ABSTRACT

With the existence of places where electricity is still distant, alternative energy sources (wind and solar), are great choices for use in water discharge systems, which can be used for various purposes such as human consumption, irrigation of gardens and even leisure. So this study aims, the dimensioning of a water pumping system from solar energy. Describing the location of the well and the reservoir, calculating the pressure loss of the pipe to find the gauge height. So defining the power required for the pump, the electric motor and the photovoltaic panel. Evaluating the results, it is concluded that the study reached its primary goal is the dimensioning of pumping system, where the power required for an electric motor of 12 V drain the water by a distance of 260 meters and 21.5 meters manometric height is 45 watts. The power required for the photovoltaic panel activate this engine and charge a battery of 60 amp is a minimum of 105 watts.

Keywords:

Solar energy – water pumping - pressure loss

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Insolação diária, média anual.....	16
Figura 2: Bomba de diafragma.....	18
Figura 3: Localização do poço e do reservatório.....	25
Figura 4: Croqui da instalação.	26
Figura 5: Poço localizado na Fahor.....	27
Figura 6: Roteamento da tubulação.....	28

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ângulo de inclinação recomendado.....	16
Quadro 2 - Bombas de deslocamento positivo.....	17
Quadro 3 – Diâmetro hidráulico para diferentes áreas transversais de condutos.....	19
Quadro 4 – Viscosidade cinemática da água.	21
Quadro 5 – Diagrama de Moody.	21
Quadro 6 – Coeficiente de forma (ks).	23
Quadro 7 – Fator de segurança para a potência do motor.....	24
Quadro 8 - Estimativa de custos da instalação	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 ENERGIA SOLAR.....	15
2.1.1 COLETORES SOLARES	15
2.1.2 INSOLAÇÃO.....	16
2.2 BOMBAS PARA RECALQUE DE FLUIDOS.....	17
2.2.1 BOMBAS DE DIAFRAGMA	18
2.3 VAZÃO E VELOCIDADE DE ESCOAMENTO	18
2.4 DIÂMETRO HIDRÁULICO.....	19
2.5 RUGOSIDADE DOS CONDUTOS.....	20
2.6 ESCOAMENTO LAMINAR E TURBULENTO.....	20
2.7 FATOR DE ATRITO.....	21
2.8 PERDA DE CARGA EM CONDUTOS	22
2.8.1 PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA	22
2.8.2 PERDA DE CARGA SINGULAR.....	22
2.9 POTÊNCIA MOTRIZ.....	23
3 METODOLOGIA	25
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	25
3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	26
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	27
4.1 PONTO DE SUCCÃO E RESERVATÓRIO	27
4.2 VAZÃO DE ESCOAMENTO	28
4.3 CONDUTOS DE SUCCÃO E DIÂMETRO HIDRÁULICO	28
4.4 VELOCIDADE DE SUCCÃO	29
4.5 COEFICIENTE DE ATRITO DO CONDUITO DE SUCCÃO	29
4.6 PERDA DE CARGA NA SUCCÃO	29
4.6.1 PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA	29
4.6.2 PERDA DE CARGA SINGULAR.....	30
4.6.3 ALTURA MANOMÉTRICA DE SUCCÃO	30
4.7 CONDUTOS DE RECALQUE E VELOCIDADE.....	30
4.8 COEFICIENTE DE ATRITO DOS CONDUTOS DE RECALQUE	30
4.9 PERDA DE CARGA NO RECALQUE	31
4.9.1 PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA	31
4.9.2 PERDA DE CARGA SINGULAR.....	31
4.9.3 ALTURA MANOMÉTRICA DE RECALQUE.....	31
4.10 ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL.....	31
4.11 POTÊNCIA MOTRIZ	32
4.12 POTÊNCIA DO MOTOR ELÉTRICO	32
4.13 POTÊNCIA DO PAINEL FOTOVOLTAICO	32
4.14 EQUIPAMENTOS DISPONÍVEIS COMERCIALMENTE	32
5 CONCLUSÕES	34
6 SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	35

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 36

1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial que contribui para a promoção do desenvolvimento e da qualidade de vida, porém é um recurso finito e vulnerável que deve ser utilizado racionalmente. O uso de fontes renováveis e de estratégias de uso racional de água em edificações é uma forma de amenizar os problemas de disponibilidade de água potável e diminuir a sua demanda. Dentre estas estratégias pode-se citar o aproveitamento de água pluvial, o reuso de águas cinzas e a instalação de componentes economizadores de água.

Com a existência de locais onde a energia elétrica ainda está distante as fontes renováveis de energia (eólica e solar), são ótimas opções para serem utilizadas em sistemas de recalque de água, a qual pode ser utilizada para diversas finalidades, como abastecimento humano, irrigação de jardins e até lazer. São sistemas que possibilitam uma fácil e rápida instalação por exemplo em pastagens, onde muitas vezes as redes de energia elétrica ficam distantes, e a sua implementação elevaria muito os custos.

A partir da contextualização descrita, expõe se a problemática a ser trabalhada, dimensionar um sistema para recalque de água, a partir de uma fonte natural localizada próximo a Faculdade Horizontina (FAHOR), utilizando energia solar. Este volume de água vai auxiliar no consumo diário, como nos sanitários e irrigação de jardins.

1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo Pataki (2015), em locais onde não existem linhas de transmissão de energia elétrica próximas, a energia solar é uma das melhores opções. Um exemplo são os sistemas de bombeamento de água utilizados nas áreas rurais em pastagens. Estes sistemas são compostos por painéis solares para moverem simples bombas de água quando o sol está brilhando, sendo que no verão atingem sua maior produtividade exatamente quando esta aplicação se faz mais necessária. Nestes casos geralmente não são utilizadas baterias, já que a água pode ficar armazenada em tanques após seu funcionamento durante o dia. Sistemas mais completos podem incluir baterias, inversores e sistemas de rastreamento para seguir o sol.

Outra aplicação bem-sucedida do recalque de água com energia solar é na irrigação de plantas. A irrigação por gotejamento tem se mostrado extremamente eficiente, pois se consegue misturar fertilizantes e introduzir diretamente nas raízes das plantas. Assim estes sistemas podem funcionar perfeitamente longe de redes de energia elétrica, ser duráveis e imunes à escassez de energia elétrica ou combustíveis, (KOLHE, 2002).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral consiste em desenvolver teoricamente um sistema de recalque de água utilizando energia solar.

Para o desenvolvimento do objetivo geral serão necessários os objetivos específicos citados abaixo:

- determinar a altura manométrica do sistema.
- determinar a potência necessária para a bomba e o motor elétrico.
- determinar a potência do painel fotovoltaico para acionar o sistema.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ENERGIA SOLAR

Segundo Palz (1995), há menos de 200 anos, a população utilizava a energia solar como seu principal recurso energético, usando a madeira para aquecimento e os animais como meio de transporte, ambos proporcionados diretamente ou indiretamente pela energia sol. Com o início da industrialização na Inglaterra começou a se consumir um número maior de carvão, para a fabricação de diversos componentes industriais, assim se substituindo a energia do sol por recursos fósseis.

A radiação solar é a energia eletromagnética que se produz no sol e que, depois de atravessar a atmosfera incide sobre a superfície terrestre. A necessidade de quantificar essa energia para o dimensionamento das instalações solares deu lugar à constante solar, a qual indica a energia que incide fora da nossa atmosfera e cujo valor é de aproximadamente 1350 W/m^2 . Desta quantidade, 1000 W/m^2 alcançam a superfície terrestre, sobre a qual se colocam os painéis solares térmicos, em forma de radiação perpendicular ao plano da terra. Esta quantidade equivale, em termos energéticos aproximadamente um barril de petróleo. (BENITO, 2009).

2.1.1 Coletores solares

De acordo com Cometta (2004), os coletores solares estão disponíveis em grande variedade de tipos, mas a principal característica a ser levada em conta é a seletividade do revestimento. A superfície do coletor deve possuir uma grande capacidade de absorção da radiação solar e um baixo coeficiente de emissão dos raios caloríficos. De acordo com testes realizados pela NASA, os maiores rendimentos são alcançados por painéis revestidos com cromo negro sobre níquelado brilhante.

Para a utilização em habitações e pequenas empresas os painéis mais utilizados são os do tipo de baixa temperatura, os quais são subdivididos em dois tipos, são eles os planos com cobertura e os tubos de vácuo. Os planos com cobertura são os mais utilizados por terem sido os primeiros a serem introduzidos no mercado e também terem um menor custo. O funcionamento deste é baseado no princípio do corpo negro, que absorve a energia solar incidente. Já os tubos de vácuo possui um conjunto de tubos de vidro em vácuo com uma boa capacidade para a entrada da radiação solar. (BENITO, 2009).

Segundo Solarterra (s.d), para que os painéis fotovoltaicos consigam um maior aproveitamento da radiação solar incidente, eles devem estar com a sua parte frontal direcionada para o norte geográfico, e deverão estar inclinados em relação ao plano horizontal em um ângulo que varia de acordo com a latitude do ponto de instalação. A inclinação recomendada é conforme o quadro 1:

Latitude	Ângulo de inclinação
0 a 4 graus	10 graus
5 a 20 graus	latitude + 5 graus
21 a 45 graus	latitude + 10 graus
46 a 65 graus	latitude + 15 graus
66 a 75 graus	80 graus

Quadro 1 – Ângulo de inclinação recomendado. Fonte: Adaptado de Solarterra, s.d

2.1.2 Insolação

A insolação pode ser medida através de um heliógrafo, o disco solar permanece visível através das nuvens, ou enquanto o disco solar permanece visível através das nuvens. (PALZ, 1995).

A insolação diária (em horas), média anual para o Brasil pode ser conferida na figura 1:

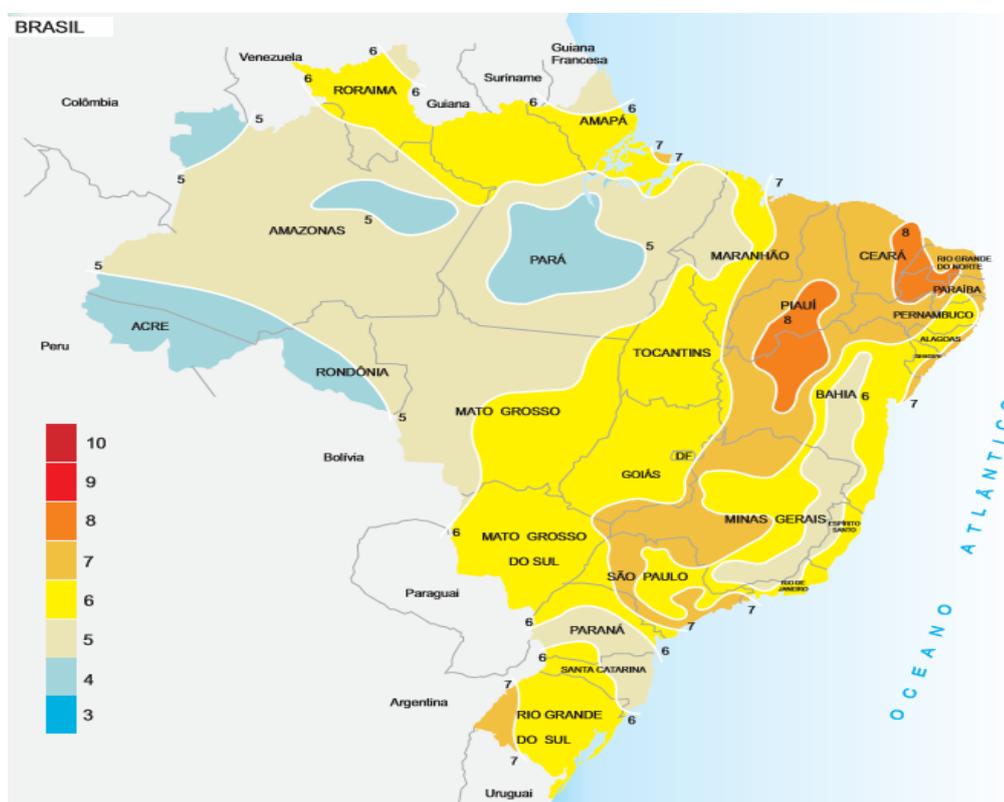


Figura 1: Insolação diária, média anual. Fonte: Atlas Solimétrico do Brasil, 2000 p. 89

2.2 BOMBAS PARA RECALQUE DE FLUIDOS

As bombas hidráulicas são equipamentos utilizados para mover ou elevar fluidos. Estas podem ser classificadas em dois tipos, as de deslocamento hidrostático ou positivas e as bombas de forças dinâmicas, como por exemplo as centrífugas. Suas aplicações veem primeiramente dos moinhos de vento para recalcar água, hoje em dia são utilizadas para irrigação, postos de gasolina, sistemas de ar condicionado, serviços marítimos, sistemas de pintura, etc. (TECHNICAL LEARNING COLLEGE, s.d).

As bombas hidráulicas operam de acordo com o princípio do deslocamento, onde através de câmaras seladas o fluido é transportado a partir da entrada da bomba para a saída. As câmaras seladas são as responsáveis por garantir que não ocorra nenhuma ligação entre a entrada e a saída. Elas compreendem um grande número de tipos, estas são fabricadas de acordo com os diferentes requisitos funcionais e hidráulicos, determinados pelo modo de operação, pressão necessária, capacidade de recalque, etc. Devido à grande diversidade nem todas as bombas podem satisfazer completamente os requisitos da aplicação (DTA, 2015).

Bombas de deslocamento positivo: Estas possuem folgas internas bem reduzidas, o que minimiza a quantidade de fluido que é perdido por vazamento interno, assim sendo mais eficientes que as de deslocamento dinâmico. Podem trabalhar com uma ampla gama de viscosidades, inclusive as mais altas. Enquanto as bombas de deslocamento dinâmico são mais usadas no bombeamento de líquidos, as bombas de deslocamento positivo possuem uma aplicação maior em sistemas hidráulicos, essa aplicação acontece devido a estas bombas proporcionarem uma vazão definida que não varia com diferença de pressão, além desta característica elas são indicadas para as aplicações que requeem um pressão elevada na linha de saída. (HENN, 2006)

As bombas de deslocamento positivo podem ser classificadas conforme o quadro 1:

Bombas de deslocamento positivo	bombas alternativas	de êmbolo ou pistão
		de diafragma ou membrana
	bombas rotativas	de engrenagens
		de parafuso
		de lóbulos
	de palhetas	

Quadro 2 - Bombas de deslocamento positivo. Fonte: Adaptado de Henn, 2006 p.402

2.2.1 Bombas de diafragma

É uma bomba alternativa onde o pistão é substituído para uma membrana (elemento elástico). Este elemento pode ser fabricado de borracha, plástico, metal ou qualquer material elástico, dependendo do fluido a ser recalçado, conforme figura 3.

Diferentemente das bombas de pistão, estas podem recalçar fluidos que contenham elementos sólidos abrasivos ou até líquidos corrosivos, pois não irão danificar a membrana como aconteceria nos pistões e êmbolos. Operam com vazões entre 0,2 e 300 m³/h e vazões médias de 0,1 a 40 Mpa, assim sendo muito utilizadas como bombas dosadoras de processo. Pode se controlar a vazão recalçada pela velocidade do motor de acionamento e pelo curso da membrana. (HENN, 2006).

O rendimento (η) deste tipo de bombas varia entre 0,65 a 0,85. (MACINTYRE, 1997).

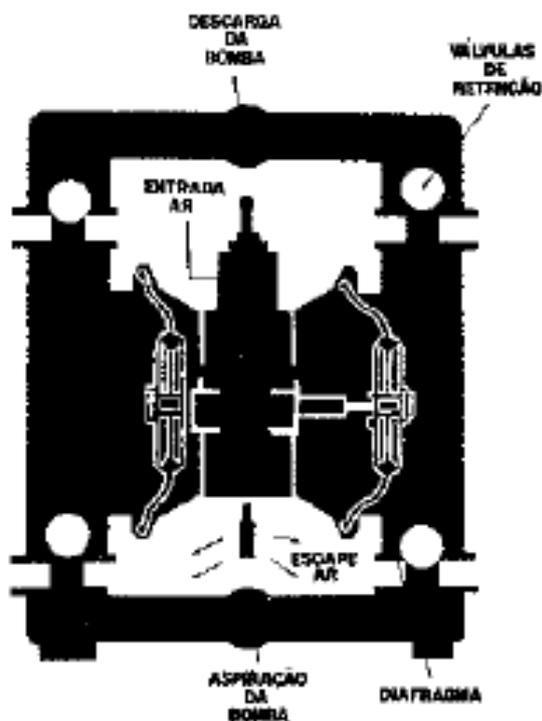


Figura 2: Bomba de diafragma. Fonte: Henn, 2006 p. 413

2.3 VAZÃO E VELOCIDADE DE ESCOAMENTO

Vazão corresponde ao volume de fluido que atravessa uma determinada seção de escoamento (conduto) em um determinado período de tempo, conforme a equação 1. (BRUNETTI, 2008).

$$Q = v \times A \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

Q = vazão (m³/s)

V = velocidade (m/s)

A = área (m²)

Segundo Schneider (sd), para o uso prático as velocidades mais econômicas são:

Velocidade de sucção ≤ 1,5 m/s com limite de 2,0 m/s.

Velocidade de recalque ≤ 2,5 m/s com limite de 3,0 m/s.

2.4 DIÂMETRO HIDRÁULICO

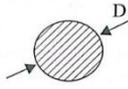
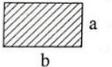
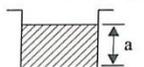
O diâmetro hidráulico é definido pela equação 2, e também pode ser correlacionado no quadro 3:

$$D_h = 4 \times R_h \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

D_h = diâmetro hidráulico (mm)

R_h = raio hidráulico (mm)

	A	σ	R _H	D _H
	$\frac{\pi D^2}{4}$	πD	$\frac{D}{4}$	D
	a^2	4a	$\frac{a}{4}$	a
	ab	2(a + b)	$\frac{ab}{2(a + b)}$	$\frac{2ab}{(a + b)}$
	ab	2a + b	$\frac{ab}{2a + b}$	$\frac{4ab}{2a + b}$
	$\frac{a^2 \sqrt{3}}{4}$	3a	$\frac{a \sqrt{3}}{12}$	$\frac{a \sqrt{3}}{3}$

Quadro 3 – Diâmetro hidráulico para diferentes áreas transversais de condutos. Fonte: Brunetti, 2008 p.164

2.5 RUGOSIDADE DOS CONDUTOS

As paredes internas dos condutos apresentam rugosidade ou conjunto de irregularidades que variam de acordo com o tipo de material e o tempo de utilização. A rugosidade absoluta é a altura média das irregularidades de uma superfície e geralmente é medida em mm, já a rugosidade relativa é o quociente da rugosidade absoluta pelo diâmetro interno do conduto, representada pela equação 3. (MACINTYRE, 1997)

$$\frac{\epsilon}{d} \quad \text{Eq. 03}$$

Onde:

ϵ = rugosidade absoluta (mm)

d = diâmetro interno do conduto (mm)

2.6 ESCOAMENTO LAMINAR E TURBULENTO

Segundo Brunetti (2008), o escoamento é denominado laminar quando as partículas do fluido se deslocam em lâminas individualizadas, sem que ocorra troca de massa entre elas. Já no escoamento turbulento, as partículas apresentam movimentos aleatórios, ou seja, a velocidade apresenta componentes transversais ao movimento geral do conjunto do fluido. Reynolds verificou que o fato do escoamento ser laminar ou turbulento depende do número adimensional obtido pela equação 4:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\mu} \quad \text{Eq. 04}$$

Onde:

Re = Número de Reynolds

v = velocidade média do fluido (m/s)

D = diâmetro do conduto

μ = viscosidade cinemática do fluido

No regime laminar o número de Reynolds é inferior a 2.320, se for igual a 2.320 é considerado Reynolds crítico. O regime turbulento ocorre acima do 4.000 e entre estes dois valores o escoamento pode ser tanto laminar quanto turbulento. (MACINTYRE, 1997).

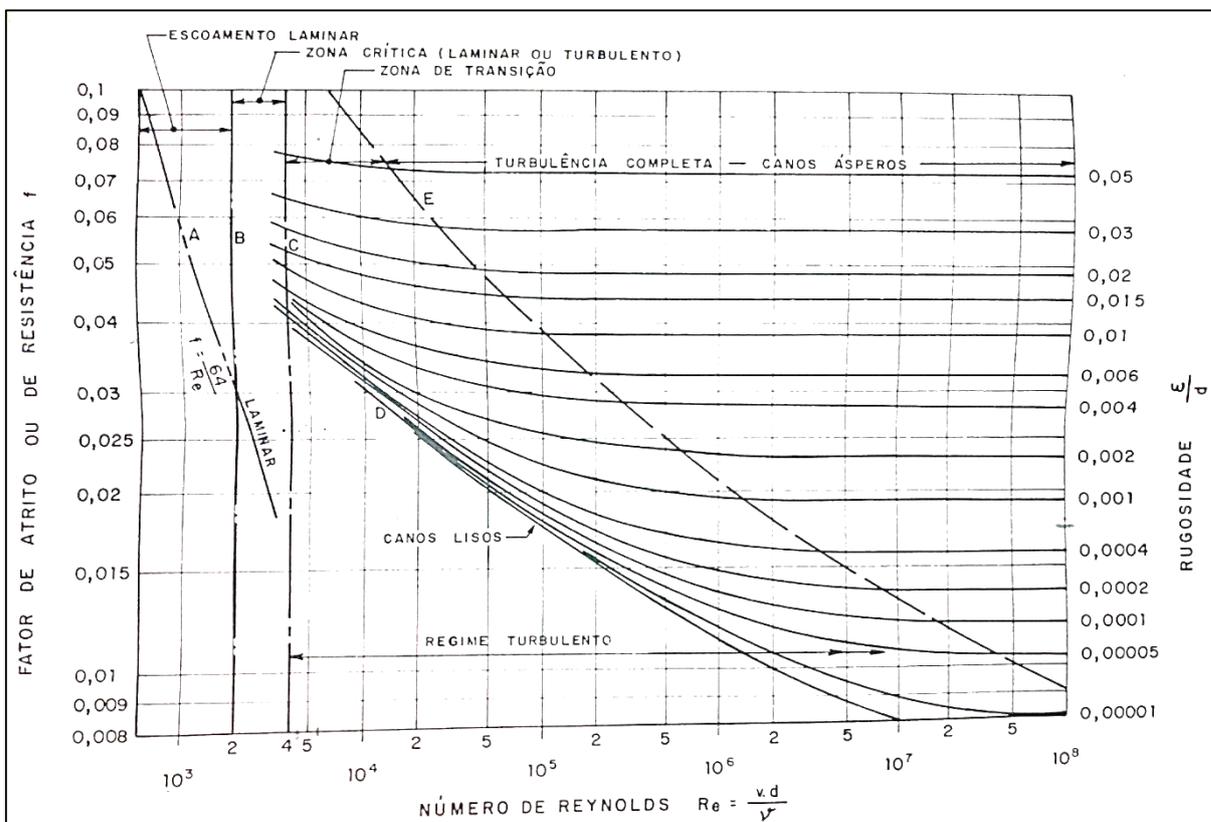
A viscosidade cinemática da água pode ser obtida no quadro 4:

Temperatura (°C)	Centistokes	Viscosidade cinemática (m ² .s)	Temperatura (°C)	Centistokes	Viscosidade cinemática (m ² .s)
0	1,79	0,000001792	20	1	0,000001007
2	1,76	0,000001763	22	0,96	0,00000096
4	1,56	0,000001567	24	0,92	0,000000917
6	1,47	0,000001473	26	0,87	0,000000876
8	1,38	0,000001386	28	0,84	0,000000839
10	1,3	0,000001308	30	0,83	0,00000083
12	1,23	0,000001237	32	0,77	0,000000772
14	1,17	0,000001172	34	0,74	0,000000741
15	1,12	0,000001127	36	0,71	0,000000713
16	1,11	0,000001112	38	0,69	0,000000687
18	1,06	0,000001059	40	0,66	0,000000713

Quadro 4 – Viscosidade cinemática da água. Fonte: Adaptado de Macintyre, 1997 p.639

2.7 FATOR DE ATRITO

O fator de atrito pode ser obtido a partir do número de Reynolds e da rugosidade relativa ou tipo de conduto, sendo relacionados no quadro 5.



Quadro 5 – Diagrama de Moody. Fonte: Macintyre, 1997 p. 647

2.8 PERDA DE CARGA EM CONDUTOS

A perda de carga entre dois pontos de um encanamento ou condutos pode ser descrita com um abaixamento de energia entre os respectivos pontos. Estas perdas podem ser divididas em perdas distribuídas e singulares. (BRUNETTI, 2008)

2.8.1 Perda de carga distribuída

A perda de carga distribuída ocorre ao longo dos condutos retos, de secção constante, pelo atrito das próprias partículas do fluído entre si, esta perda só se torna significativa quando os trechos forem relativamente longos, pois ela ocorre de forma distribuída ao longo deles, esta perda em metros pode ser encontrada pela equação 5. (BRUNETTI, 2008)

$$h_f = f \times \frac{L}{D_h} \times \frac{v^2}{2g} \quad \text{Eq. 05}$$

Onde:

h_f = perda de carga distribuída (m)

f = fator de atrito

L = comprimento do conduto (m)

v = velocidade do fluído (m/s)

D_h = diâmetro hidráulico (m)

g = gravidade (m/s^2)

2.8.2 Perda de carga singular

As perdas de carga singulares ocorrem em locais dos encanamentos onde o fluído sofre perturbações bruscas ou obstruções parciais, estas podem ser calculadas pela equação 6, e seu coeficiente de forma pode ser correlacionado com o quadro 6.

$$h_s = k_s \times \frac{v^2}{2g} \quad \text{Eq. 06}$$

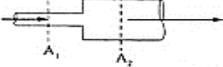
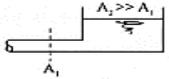
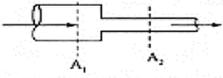
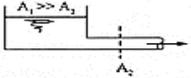
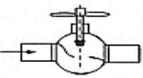
Onde:

h_s = perda de carga singular (m)

v = velocidade do fluído (m/s)

k_s = coeficiente de forma

g = gravidade (m/s^2)

Singularidade	Esquema	k_s
Alargamento		$(1 - A_1/A_2)$ (no caso, $v = v_1$)
Caso limite		1
Estreitamento		$\phi (A_1/A_2)$
Caso limite		0,5
Cotovelo a 90°		0,9
Válvula de gaveta		Totalmente aberta 0,2
Válvula tipo globo		Totalmente aberta 10
Válvula de retenção		0,5

Quadro 6 – Coeficiente de forma (k_s). Fonte: Brunetti, 2008 p. 185

2.9 POTÊNCIA MOTRIZ

É a potência fornecida pelo motor ao eixo da bomba, para o acionamento de bombas de êmbolo ou de turbo bombas é usada a equação 7. (MACINTYRE, 1997).

$$P_m = \frac{\gamma \times Q \times H_m}{75 \times \eta} \quad \text{Eq. 07}$$

Onde:

P_m = Potência motriz (CV)

Q = Vazão (m^3/s)

H_m = Altura manométrica total (m)

γ = Peso específico do líquido bombeado (kg/m^3)

Já a potência do motor deve prever uma margem de segurança, este valor geralmente é fornecido pelos fabricantes, em geral é recomendado o acréscimo conforme o quadro 7. (MACINTYRE, 1997).

Potência motriz calculada	Acréscimo
Até 2 CV	50%
3 a 5 CV	30%
6 a 10 CV	25%
11 a 25 CV	15%
Acima de 25 CV	10%

Quadro 7 – Fator de segurança para a potência do motor. Fonte: Adaptado de Macintyre, 1997 p.69

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Para determinar a altura manométrica do sistema se fez necessário a medição da altura geométrica do terreno e a distância entre o poço e o reservatório, esta foi realizada através de um GPS marca e modelo Garmin 76CSx.



Figura 3: Localização do poço e do reservatório. Adaptado a: Here Maps 2015.

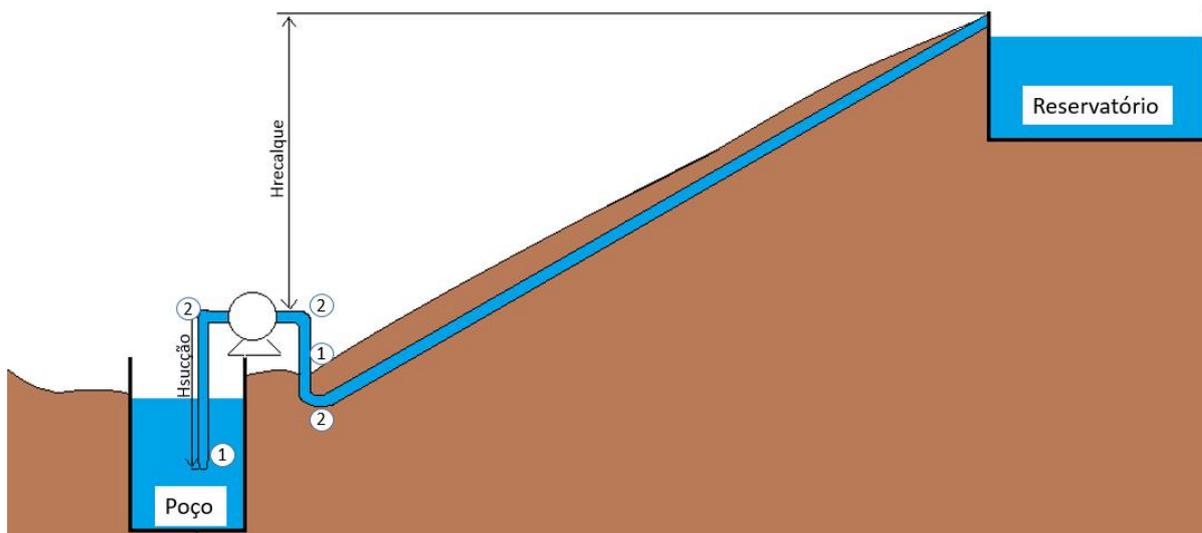


Figura 4: Croqui da instalação.

Onde:

1 = válvula de retenção.

2 = cotovelo 90°.

Através do levantamento bibliográfico foi possível definir a vazão e o diâmetro da tubulação para realizar os cálculos de perda de carga distribuída e singular da tubulação.

A partir dos valores da vazão, altura manométrica e do rendimento da bomba de diafragma, junto com as equações do levantamento bibliográfico se definiu a potência motriz necessária para a bomba e conseqüentemente a potência para o motor elétrico.

Com o valor da potência total consumida pelo sistema foi determinada a potência que o painel fotovoltaico precisa fornecer ao sistema.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Foi utilizado um GPS marca e modelo Garmin 76CSx para realizar as medições de distância e diferença de altura entre o poço e o reservatório.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 PONTO DE SUCÇÃO E RESERVATÓRIO

A água deverá ser recalçada a partir de um poço localizado na propriedade da Fahor (figura 8), com a utilização de um gps marca e modelo Garmin 76CSx foi medida uma distância de 260 metros em linha reta e a uma diferença de altura de 15 metros entre o ponto de sucção e o reservatório, conforme figura 9.



Figura 5: Poço localizado na Fahor.

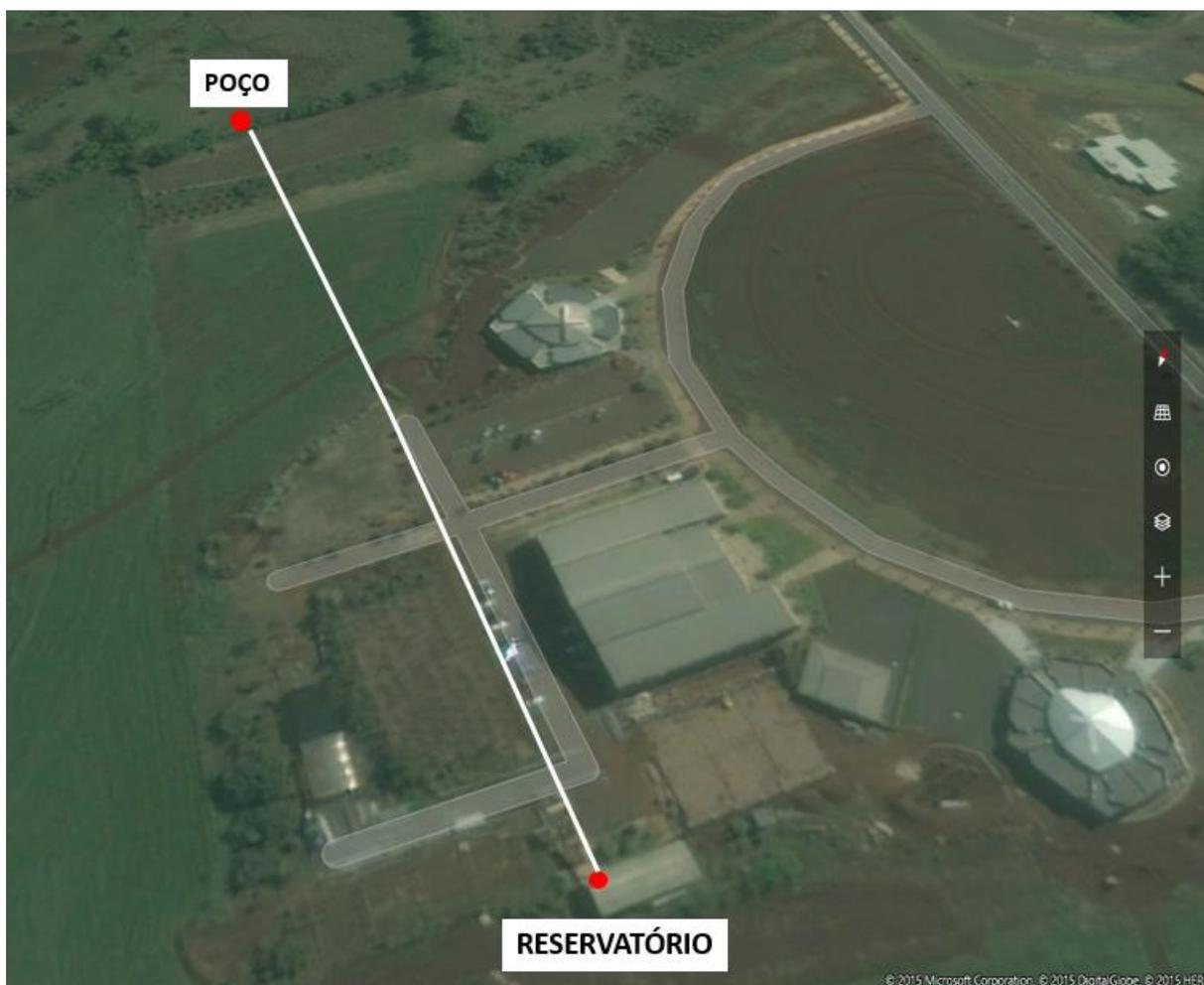


Figura 6: Roteamento da tubulação. Adaptado a: Here Maps, 2015.

4.2 VAZÃO DE ESCOAMENTO

De acordo com a figura 01 o tempo médio de insolação é de 6 horas diárias para Horizontina. Sabendo o volume de água no poço é de aproximadamente 2.500, iremos recalcar apenas 2.000 litros para evitar sujidades, assim podemos calcular a vazão para o sistema:

$$Q = \frac{2000\text{l}}{6\text{ h}} = 9,25 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,33 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 330 \frac{\text{l}}{\text{h}} = 5,5 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

4.3 CONDUTOS DE SUCÇÃO E DIÂMENTRO HIDRÁULICO

Aplicando a equação 01 podemos encontrar a área do conduto e conseqüentemente o seu diâmetro hidráulico. Conforme fabricante Schneider a velocidade recomendada na sucção é menor ou igual a 1,5 m/s.

$$9,25 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times A$$

$$A = 9,25 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$9,25 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 = \pi \times r^2$$

$$r = 5,42 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 5,42 \text{ mm}$$

O diâmetro interno encontrado para a tubulação de sucção é de 11 mm. Porém a tubulação de pvc mais próxima encontrada comercialmente é a de $\frac{3}{4}$ de polegada, conforme o anexo A, o que equivale a um diâmetro interno de 13,25 mm.

4.4 VELOCIDADE DE SUCÇÃO

Recalculando a velocidade de sucção com os condutos de pvc existentes comercialmente com 13,25 mm de diâmetro interno.

$$9,25 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = v \times 1,37 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$v = 0,675 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4.5 COEFICIENTE DE ATRITO DO CONDUTO DE SUCÇÃO

Através da equação 04 podemos determinar o número de Reynolds e posteriormente encontrar o fator de atrito.

$$Re = \frac{0,675 \text{ m/s} \times 0,0132 \text{ m}}{0,000000896 \text{ m}^2/\text{s}} = 10.000$$

Interpretando o diagrama de Moody, conforme o apêndice A, obtemos um fator de atrito (f) = 0,03

4.6 PERDA DE CARGA NA SUCÇÃO

4.6.1 Perda de carga distribuída

Através da equação 05 calcula-se a perda de carga distribuída. Considerando a distância entre o nível da água e a bomba é de 2 m.

$$h_f = 0,03 \times \frac{2 \text{ m}}{0,0132 \text{ m}} \times \frac{0,675^2 \text{ m/s}}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,10 \text{ m}$$

4.6.2 Perda de carga singular

Pela equação 06 calculamos a perda de carga distribuída, onde na tubulação de recalque teremos um cotovelo a 90 graus e uma válvula de retenção.

$$H_{s1} = \frac{0,9 \times 0,675^2 \text{ m/s}}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,02 \text{ m}$$

$$H_{s2} = \frac{0,5 \times 0,675^2 \text{ m/s}}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,011 \text{ m}$$

$$H_{st} = 0,02 \text{ m} + 0,011 \text{ m} = 0,031 \text{ m}$$

4.6.3 Altura manométrica de sucção

Somatório da coluna de líquido e das perdas de carga.

$$H_{total} = 0,031 \text{ m} + 0,10 \text{ m} + 2 = 2,13 \text{ m}$$

4.7 CONDUTOS DE RECALQUE E VELOCIDADE

Foram utilizados condutos comerciais de 20mm, onde seu diâmetro interno corresponde à 17 mm e a uma área de 0,000226 m², conforme anexo A.

$$9,25 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = v \times 0,000226 \text{ m}^2$$

$$v = 0,40 \text{ m/s} = \text{velocidade de recalque}$$

4.8 COEFICIENTE DE ATRITO DOS CONDUTOS DE RECALQUE

Através da equação 04 podemos determinar o número de Reynolds e posteriormente encontrar o fator de atrito.

$$Re = \frac{0,40 \text{ m/s} \times 0,017 \text{ m}}{0,000000896 \text{ m}^2/\text{s}^{-1}} = 7631,87$$

Interpretando o diagrama de Moody, conforme apêndice B obtemos um fator de atrito $(f) = 0,035$

4.9 PERDA DE CARGA NO RECALQUE

4.9.1 Perda de carga distribuída

Através da equação 05 calcula-se a perda de carga distribuída, onde a distância entre o poço e o reservatório é de 260 metros.

$$hf = 0,035 \times \frac{260\text{m}}{0,017\text{m}} \times \frac{0,40^2 \text{ m/s}}{2 \times 9,8 \text{ m}^2/\text{s}} = 4,36 \text{ m}$$

4.9.2 Perda de carga singular

Pela equação 06 calculamos a perda de carga singular. Os condutos de recalque possuem dois cotovelos a 90 graus e uma válvula de retenção.

$$Hs1 = \frac{0,9 \times 0,40^2 \text{ m/s}}{2 \times 9,8} \times 2 \text{ cotovelos} = 0,014\text{m}$$

$$Hs2 = \frac{0,5 \times 0,40^2}{2 \times 9,8} = 4,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$Hstotal = 4,08 \cdot 10^{-3} + 0,014 = 0,018\text{m}$$

4.9.3 Altura manométrica de recalque

Somatório da coluna de líquido e das perdas de carga.

$$Hman = 4,36\text{m} + 0,018\text{m} + 15 = 19,37\text{m}$$

4.10 ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL

A altura manométrica total é igual a soma das alturas manométricas de sucção e recalque.

$$Htotal = 19,37\text{m} + 2,13\text{m} = 21,50\text{m}$$

4.11 POTÊNCIA MOTRIZ

Com o valor da altura manométrica total podemos obter o valor da potência motriz pela equação 07, já o rendimento é utilizado para uma bomba de diafragma, a qual é mais utilizada comercialmente.

$$P = \frac{9,25 \cdot 10^{-5} \times 1000 \times 21,50}{75 \times 0,65} = 0,040 \text{ cv} = 30 \text{ W}$$

4.12 POTÊNCIA DO MOTOR ELÉTRICO

Conforme o quadro 07, para potências motrizes de até 2 cv deve-se acrescentar 50% na potência do motor elétrico.

$$P_{\text{motor}} = 30 \text{ W} \times 1,5 = 45 \text{ W}$$

4.13 POTÊNCIA DO PAINEL FOTOVOLTAICO

No sistema elétrico foi adicionado uma bateria 12 volts e 60 amperes, buscando um aumento de autonomia, assim quando as condições climáticas não forem favoráveis o sistema poderá recalcar água por até mais 16 horas, totalizando um volume de 5.280 litros de água. Considerando dois dias (12 horas de insolação plena) para uma carga completa da mesma, é necessária uma potência de 60 watts.

Assim a potência total necessária para o painel fotovoltaico é de 105 W/h, com uma tensão de 12 volts para que o sistema opere corretamente. A sua inclinação conforme o quadro 1 deve ser a latitude do ponto de instalação (latitude de Horizontina = 27 graus), mais 10 graus, totalizando uma inclinação de 37 graus em direção ao norte geográfico.

4.14 EQUIPAMENTOS DISPONÍVEIS COMERCIALMENTE

Bombas disponíveis comercialmente, que trabalham em uma tensão elétrica de 12 volts e corrente contínua, recalando a água à 21,5 metros de altura manométrica com uma vazão de 5,6 l/min, consumindo em torno de 4,3 amperes de corrente, chegam a uma potência de 51,6 watts. Já os painéis fotovoltaicos podem ser encontrados facilmente na potência de 140 watts.

No quadro 08 podemos verificar a estimativa de custos para a instalação do sistema:

Item	Quantidade	Custo por unidade	Custo total
Conduitos 20mm - 3m	87	R\$ 7,50	R\$ 652,50
Conduitos 3/4 - 3m	1	R\$ 27,90	R\$ 27,90
Bomba 12 V	1	R\$ 380,00	R\$ 380,00
Painel fotovoltaico - 140 W	1	R\$ 900,00	R\$ 900,00
Controlador de carga - 10 A	1	R\$ 190,00	R\$ 190,00
Bateria 60 A	1	R\$ 370,00	R\$ 370,00
		TOTAL	R\$ 2.520,40

Quadro 8 - Estimativa de custos da instalação

5 CONCLUSÕES

Através das medições realizadas e dos cálculos realizados a partir da pesquisa bibliográfica, podemos verificar que a perda de carga nas tubulações de sucção com diâmetro comercial de $\frac{3}{4}$ de polegada, e recalque com 20 mm chega a 4,5 metros de altura, este valor somado a diferença de altura entre o nível de água do poço e o reservatório chega a 21,5 metros (altura manométrica).

Para elevar a água a esta altura manométrica, a potência motriz necessária para uma bomba de diafragma com rendimento aproximado de 65 %, é de 30 watts. Para a potência necessária para o motor elétrico acionar a bomba, é acrescentado um valor de 50% para potências inferiores a 2 cv, assim o motor elétrico deve possuir uma potência mínima de 45 watts para recalcar 2000 litros de água em 6 horas, à uma altura de 21,5 metros.

Para um melhor funcionamento em períodos chuvosos e nublados, deve-se adicionar uma bateria de 60 amperes, permitindo que o sistema funcione por até 16 horas sem que haja insolação sobre o mesmo. Somando a potência necessária para acionar a bomba e para carregar uma bateria de 60 amp em 12 horas, a potência mínima requerida para o painel fotovoltaico é de 105 watts, operando em uma tensão de 12 volts, inclinado à 37 graus em direção ao norte geográfico.

6 SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar um estudo através da coleta de dados, buscando definir a quantidade de água utilizada diariamente nos banheiros e para a irrigação dos jardins na Fahor. Deve-se também medir a vazão fornecida pelo poço, para assim poder definir com precisão a quantidade de água a ser recalcada diariamente.

Projetar um direcionador para os painéis fotovoltaicos, visando movimentar os painéis de acordo com a posição do sol, para buscar um maior aproveitamento da luz solar.

Elaborar um estudo de viabilidade econômica, comparando as fontes renováveis de energia com as convencionais (elétrica da rede pública ou combustíveis).

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENITO, Tomás Perales. **Práticas de Energia Solar Térmica**. São Paulo: Publindústria Edições Técnicas, 2009.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos Fluidos**. 2. Ed. São Paulo: Pearson Prentice, 2008.

CEPEL. **Atlas Solimétrico do Brasil**. Disponível em: < http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf>. Acesso em: 20 outubro 2015.

COMETTA, Emilio. **Energia Solar**. Utilização e Empregos Práticos. São Paulo: Hemus Livraria, 2004.

DTA. **Hydraulic Pumps**. Disponível em: < <http://dta.eu/hydraulics/hydraulic-pumps/>>. Acesso em: 02 maio 2015.

HENN, Érico Antônio Lopes. **Máquinas de Fluido**. Santa Maria: UFSM, 2001.

_____. **Máquinas de Fluido**. 2. Ed. Santa Maria: UFSM, 2006.

KOLHE, Mohanlal. **Economic viability of stand-alone solar photovoltaic system in comparison with diesel-powered system for India**. Disponível em: < <http://web.stanford.edu/group/solarbenin/references/Kolhe-2002-Solar-v-Diesel.pdf>>. Acesso em: 04 maio 2015.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. 2.Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A, 1997.

PALZ, Wolfgang. **Energia Solar e Fontes Alternativas**. São Paulo: Hemus Editora Limitada, 1995.

PATAKI, George E. **An Introduction to Solar Energy Application for Agriculture**. Disponível em: < <http://www.matchinggrants.org/global/pdf/doc122-87.pdf> >. Acesso em: 02 maio 2015.

SCHNEIDER, Motobombas. **Manual Técnico**. Disponível em: < <http://wiki.sj.cefetsc.edu.br/wiki/images/a/af/Schneider.pdf> >. Acesso em: 21 outubro 2015.

SOLARTERRA. **Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: < <https://mbecovilas.files.wordpress.com/2011/06/energia-solar-fotovoltaica.pdf>>. Acesso em: 21 outubro 2015.

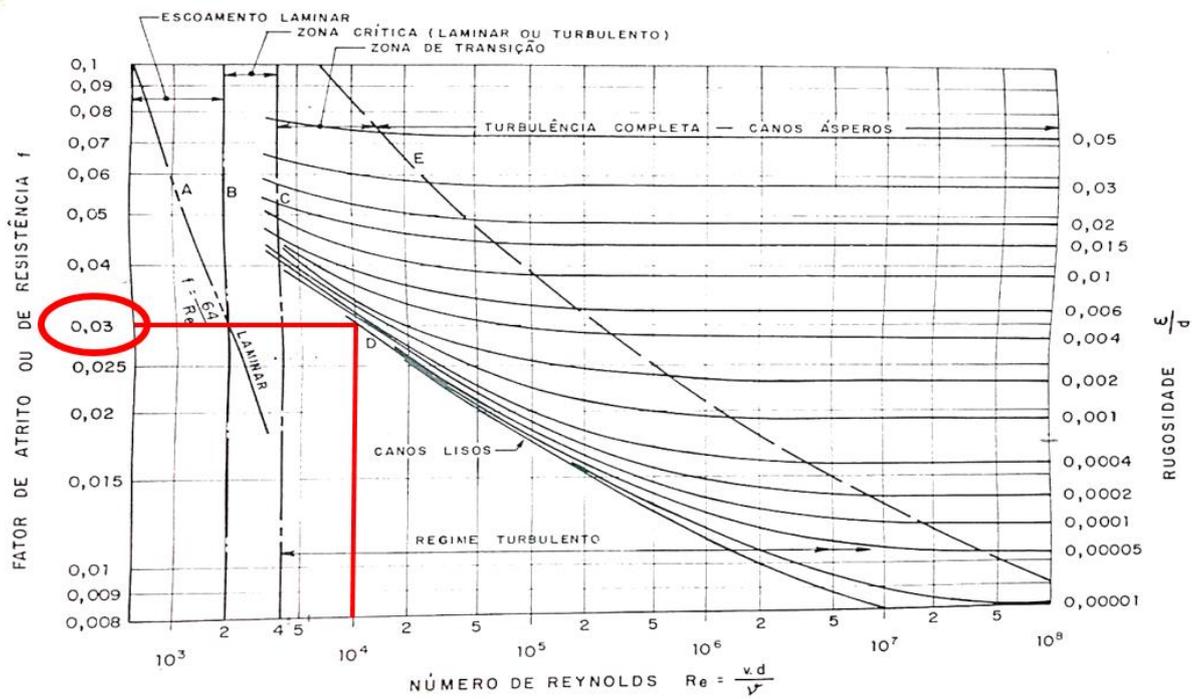
SHURFLO. **Product Dara Sheet**. Disponível em: < http://realgoods.com/downloads/dl/file/id/238/shurflo_8000_443_136_datasheet.pdf>. Acesso em: 21 outubro 2015.

TECHNICAL LEARNING COLLEGE. **Pumps and Motors**. Disponível em: <
<http://www.abctlc.com/courses/PUMPSMOTORS.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2015.

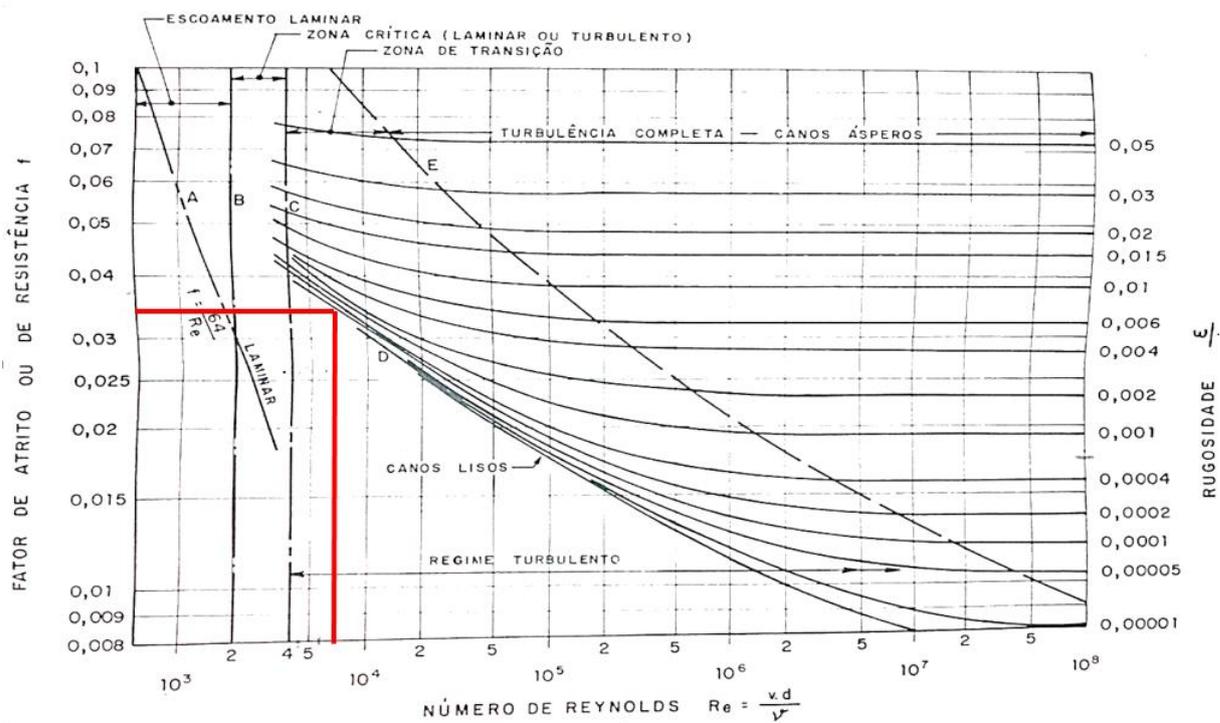
TIGRE. **Tubo Soldável 6 m**. Disponível em: <
http://www.tigre.com.br/pt/produtos_unico.php?rcr_id=4&cpr_id=7&cpr_id_pai=4&lnh_id=1&prd_id=792>. Acesso em: 28 outubro 2015.

_____. **Tubo Rosqueável 6 m**. Disponível em: <
http://www.tigre.com.br/pt/produtos_unico.php?rcr_id=4&cpr_id=7&cpr_id_pai=4&lnh_id=2&prd_id=690>. Acesso em: 28 outubro 2015.

APÊNDICE A – FATOR DE ATRITO NA TUBULAÇÃO DE SUCÇÃO



APÊNDICE B – FATOR DE ATRITO NA TUBULAÇÃO DE RECALQUE



ANEXO A – CONDUTOS DE PVC COMERCIAIS ROSQUEÁVEIS

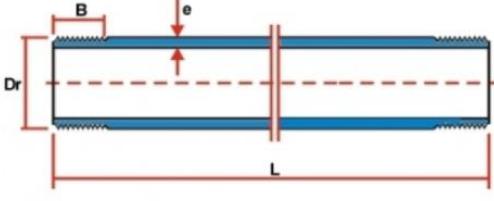


Diagrama de um tubo rosqueável de PVC. O tubo é mostrado em uma perspectiva lateral com dimensões indicadas: B (largura da rosca), Dr (diâmetro externo), e (espessura da parede) e L (comprimento total).

Bitola	Dr	B	e	L
1/2"	1/2	13,2	2,6	6000
3/4"	3/4	14,5	2,9	6000
1"	1	16,8	3,5	6000
1.1/4"	1.1/4	19,1	3,7	6000
1.1/2"	1.1/2	19,1	4,0	6000
2"	2	23,4	4,7	6000
2.1/2"	2.1/2	26,7	4,7	6000
3"	3	29,8	4,8	6000
4"	4	35,8	5,0	6000
5"	5	40,1	5,5	6000
6"	6	40,1	5,0	6000

Fonte: TIGRE, Tubo Rosqueável 6m, 2015.

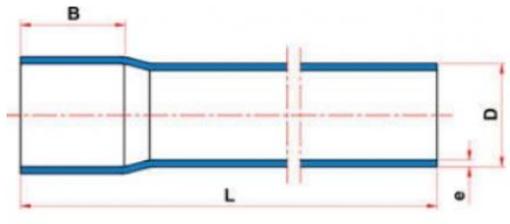


Diagrama de um tubo soldável de PVC. O tubo é mostrado em uma perspectiva lateral com dimensões indicadas: B (largura da rosca), D (diâmetro externo), L (comprimento total) e e (espessura da parede).

Bitola	B	D	L	e
20	32	20	6000	1,5
25	32	25	6000	1,7
32	32	32	6000	2,1
40	40	40	6000	2,4
50	50	50	6000	3,0
60	60	60	6000	3,3
75	70	75	6000	4,2
85	77	85	6000	4,7
110	91	110	6000	6,1

Fonte: TIGRE, Tubo Soldável 6m, 2015.