

PROJETO DE EQUIPAMENTO PARA ESTUDO DE BOCAIS E ORIFÍCIOS PARA O LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA I DA UPM

Anna Paula Rodrigues de Abreu (IC) e Liliane Frosini Armelin (Orientadora)

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

Este estudo tem como objetivo projetar uma bancada experimental para estudo dos jatos de água através de orifícios e bocais, incorporar este equipamento à componente curricular que estuda condutos forçados denominada Hidráulica 1 e desenvolver um manual e orçamento para construção da bancada pela instituição. O projeto visa facilitar o acesso de alunos e professores ao aparato, já que atualmente necessita-se um deslocamento de alunos e professores ao laboratório de outra universidade. A bancada compreende o estudo e compreensão de carga, escoamento e desenvolvimento de jatos, medições de vazão, drenos e órgãos de descarga. Dentro desse contexto, o estudo se inicia através de uma investigação teórica da bibliografia na literatura conhecida vigente da área de hidráulica, assim como catálogos, normas e manuais pertinentes. Na sequência, desenvolve-se a concepção de funcionamento, materiais utilizados, estudo de viabilidade orçamentária, diretrizes seguidas para a idealização do projeto, assim como expor as questões seguidas de estética, espaço e melhor funcionamento das instalações destinadas à componente e sua parte aplicada. Finaliza-se o artigo com considerações sobre métodos e funcionamento da bancada, análise crítica dos materiais escolhidos, exposição de outras opções de materiais, divulgação da lista de contatos de fornecedores, assim como ideias de melhorias às apresentadas durante o artigo.

Palavras-chave: Bocais e orifícios, laboratório de hidráulica, projeto de bancada hidráulica.

ABSTRACT

This essay aims to design an experimental bench to study water jets through holes and nozzles, incorporate this equipment into the curriculum component that studies forced ducts called Hydraulics 1 and develop a manual and budget for the construction of the bench by the institution. The project aims to facilitate the access of students and teachers to the apparatus, since now a movement of students and teachers to the laboratory of another university is required. The workbench comprises the study and understanding of charge, flow and development of jets, flow measurements, drains and discharge organs. Withal, the study begins through a theoretical investigation in the current well-known hydraulics literature bibliography, as well as relevant catalogs, standards and manuals. After that, it develops the

conception of operation, materials used, budget feasibility study, guidelines followed for the idealization of the project, as well as exposing the issues followed by aesthetics, space and better operation of the facilities intended for the component. The article is concluded by considerations on bench methods and operation, critical analysis of the materials chosen, exposure of other material options, disclosure of the contact list of suppliers, as well as ideas of improvements.

Keywords: Orifices and Nozzles, Hydraulic laboratory, Hydraulic stand project.

1. INTRODUÇÃO

A hidráulica é uma parte muito importante de várias engenharias, mas principalmente da engenharia civil, que se ocupa do transporte de fluídos, sendo em escoamento em condutos forçados, como canos e tubulações, ou submetidos à pressão atmosférica, como córregos e canais, como meios de se escoar águas fluviais, pluviais e esgoto. A sua atividade também se relaciona intimamente com a engenharia ambiental. Um laboratório tem como principal função de aplicar os fundamentos teóricos aprendidos em aula, visualização dos conceitos e exemplificação de questões-problema vistos em obras hidráulicas. Neste estudo elaborou-se o projeto de bancada constituída de um reservatório retangular que possui em uma de suas paredes dispositivos que permitem o escoamento da água armazenada no seu interior, denominados orifícios e bocais. Estes dispositivos são muito utilizados na vida prática do engenheiro civil que se dedica à área de recursos hídricos com execução de projetos de reservatórios de retenção, eclusas para navegação fluvial, estações de tratamento de água, barragens hidráulicas, dentre outras. A bancada hidráulica em laboratório permite uma melhor compreensão destes elementos.

Existem em laboratórios de hidráulica, em cursos de engenharia ou tecnologia, bancadas destinadas ao estudo do escoamento através de orifícios e bocais, no entanto, a visualização é bastante prejudicada por causa dos materiais utilizados na sua confecção. Os reservatórios alimentadores destes dispositivos não permitem a visualização da variação do nível da água, o que dificulta o entendimento dos alunos em relação a ocorrência do escoamento permanente ou não permanente e também a influência das linhas de convergência na contração do jato que se forma.

Este estudo propõe uma nova abordagem nas aulas práticas e esta diz respeito a uma construção de bancada com materiais que permitem a visualização de todo o processo, melhorando o entendimento do assunto pelos alunos.

Um elemento de grande importância para a concepção desse trabalho foi a-bancada existente no Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo e bancada Armfield da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Tais aparelhos dirigiram a linha de concepção desse projeto, assim como outros fatores, nos quais: a limitação de espaço e altura do local de instalação da bancada, já que o futuro laboratório terá limitações e deverá comportar diversos outros elementos, sistema de abastecimento individual para cada equipamento, melhor visualização do funcionamento dos jatos, durabilidade, e, finalmente, fatores econômicos.

A necessidade de ampliação do espaço atual destinado à parte prática da componente curricular que estuda os escoamentos resultou no desenvolvimento de equipamentos de qualidade para compor o espaço e um dos importantes assuntos a ser abordado nesse

contexto é o escoamento através de orifícios e bocais, sendo com carga constante, ou com carga variável.

Desenvolveu-se uma concepção de equipamento versátil, viável física e economicamente, de fácil uso e compreensão por alunos e professores. A escolha dos materiais foi feita através de estudos prévios, a fim de proporcionar uma boa vida útil, facilidade na construção e manutenção preventiva periódica da bancada e principalmente, ter visual abrangente com o objetivo de facilitar o entendimento do escoamento não apenas nos bocais e orifícios mas também no reservatório de alimentação destes elementos.

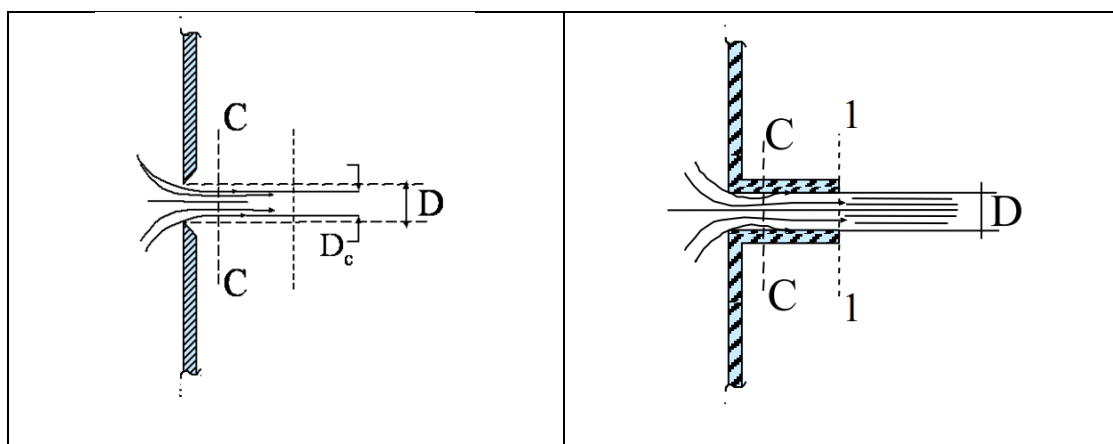
O modelo idealizado não poderia ser muito grande por causa da limitação de espaço, mas também não poderia ser muito reduzido para não limitar a precisão das medidas. Elaborar medidas no equipamento é fundamental para o processo de ensino e aprendizagem e esta dinâmica torna o processo muito mais interessante do que uma simples observação visual.

Dentro desse contexto, uma atenção especial será dada aos materiais que vão compor o equipamento. O reservatório será elaborado em material transparente para que possa ser observada a variação da linha da água, variável importante na determinação da vazão. A água utilizada no escoamento será reaproveitada e o seu descarte deve ocorrer apenas no final do semestre evitando a permanência de água estagnada por muito tempo desfavorecendo a proliferação de vetores que causam doenças.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Orifícios e bocais são utilizados para medir, controlar a vazão ou simplesmente como drenos. Orifício é uma abertura em uma parede ou no fundo de um tanque que contenha um fluido e que permita o escoamento deste. Quando a parede do reservatório é espessa ou quando um pequeno trecho de tubo é adicionado ao orifício, este conjunto é chamado de bocal (Figura 1).

Figura 1 – Corte longitudinal de orifício e bocal, respectivamente.



Fonte: PHD 2304 Hidráulica 2 – Laboratório – EPUSP

A primeira figura representa a seção transversão de um orifício vertical de parede fina, as partículas se originam de diversas direções, convergindo para a saída. Devido à componentes de velocidades que são paralelas entre si, o comportamento das partículas se dá através de trajetórias curvilíneas, pois não podem mudar de direção, causando uma contração após a borda interna da abertura. Essa seção contraída também se chama *vena contrata*, seção essa em que as partículas estão sensivelmente paralelas, sendo sua velocidade e pressão uniformes. A relação entre a seção de abertura do orifício e a vena contrata chama-se de Coeficiente de Contração, essa relação é importante e no caso de orifícios de parede fina, o valor é da ordem de 0,62.

O bocal (figura à direita) é um dispositivo que difere do orifício pela continuidade da superfície que circunda o jato, o escoamento se comporta da mesma forma que o orifício de parede espessa, já que após a contração devido às componentes de velocidade, juntamente com menor pressão uniforme, as partículas voltam a “colar” na superfície, restaurando a seção original da abertura.

Há uma problemática na determinação da vazão através de orifícios e bocais. Uma delas é que, se não considerados os efeitos de contração nem as perdas de carga, a equação de Bernulli seria funcional. Porém, na realidade, nenhum desses fatores podem ser negligenciados, havendo a necessidade de, através de aplicações e estudos práticos, determinar coeficientes de correção dos cálculos. Esses dois efeitos fazem com que a vazão real que sai pelo orifício seja em torno de 60% do que teoricamente passaria pelo orifício. Para a análise do escoamento através destes dispositivos é necessário basear-se em três princípios da física: Primeira lei da termodinâmica, conservação da massa e quantidade de movimento.

Também é preciso adotar algumas hipóteses simplificadoras:

- Escoamento não permanente,
- Fluido incompressível,
- Orifícios e bocais de pequenas dimensões,
- Pressão atmosférica na superfície livre do reservatório e na saída do jato,
- Pressão hidrostática no reservatório.

As partículas aproximam-se do orifício ou bocal descrevendo trajetórias convergentes fazendo com que o jato sofra uma contração em sua seção transversal.

Com base nas hipóteses adotadas, a primeira lei da termodinâmica fica reduzida à equação de Bernoulli, tem-se:

$$h = \frac{V_2^2}{2g} + \text{perdas} \quad (\text{Equação 1})$$

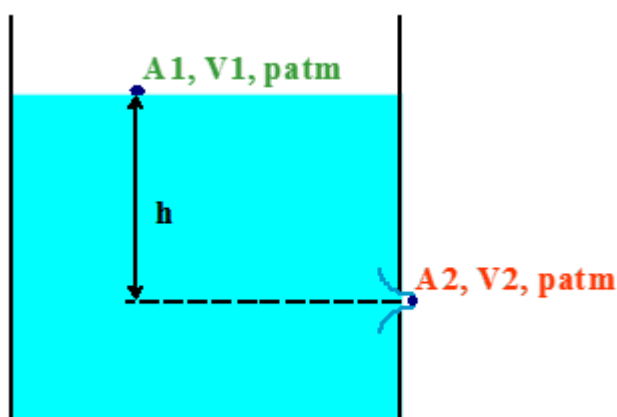
Sendo:

V_2 : velocidade do escoamento no ponto 2 (m/s).

h : Carga sobre o orifício ou bocal (m).

A equação 2 é reduzida da equação de Bernoulli, com a utilização das hipóteses simplificadoras e considerando um plano horizontal de referência coincidente com a saída de água através do orifício ou bocal.

Figura 2 – Escoamento através de um orifício em um reservatório



Fonte: Manual de Hidráulica, Azevedo Netto (1998)

As partículas fluidas procedentes dos mais diversos pontos do reservatório convergem-se ao se aproximarem do orifício ou do bocal. Isto obriga o jato formado a sofrer uma contração em uma seção transversal, ocorrendo um valor mínimo de área com pressão mais baixa, em uma posição em que os filetes são paralelos, denominada seção contraída, através desse parâmetro se encontra o coeficiente de contração C_c , relação entre a área da seção contraída do jato e a área da seção do orifício (Equação 2). Para orifícios de parede fina o valor teórico do C_c é de 0,62.

$$C_c = \frac{S_c}{S_o} \quad (\text{Equação 2})$$

O coeficiente de velocidade C_v (Equação 3) é definido como sendo a relação entre a velocidade média na seção contraída (velocidade real) e a velocidade teórica.

$$C_v = \frac{V_r}{V_t} \quad (\text{Equação 3})$$

A velocidade teórica é definida quando se considera o fluido ideal (sem viscosidade). O coeficiente de vazão é definido como sendo a relação entre a vazão real e a vazão teórica (Equação 4).

$$C_Q = \frac{Q_r}{Q_t} \quad (\text{Equação 4})$$

A vazão teórica é obtida multiplicando-se a área do orifício pela velocidade teórica (Equação 5).

$$QT = S_0 \sqrt{2gh} \quad (\text{Equação 5})$$

A vazão real (em laboratório) é obtida coletando-se um certo volume de líquido em um certo intervalo de tempo (com h constante).

3. METODOLOGIA

A metodologia consistiu na elaboração de pesquisa bibliográfica preliminar dos conceitos teóricos do processo, descritos por formulações simples. A pesquisa também envolveu o estudo de experiências que tiveram o objetivo de levantamento de coeficientes que corrigem as equações teóricas e da sua dependência do tipo e forma da abertura, além de a carga sobre o orifício ou bocal, dentre outros fatores.

Na sequência, procurou-se conhecer outros equipamentos em operação para investigar as vantagens e desvantagens de diferentes formatos, tamanhos e materiais, observação e utilização de bombas e outros equipamentos adjacentes e escolha do componente mais adequado para o funcionamento ideal da bancada. A intenção é basear o projeto no melhor arranjo, ou seja, um equipamento que seja robusto, versátil, viável física e economicamente, de fácil uso e compreensão por alunos e professores, executado com materiais duráveis, e, conseqüentemente, manutenção reduzida e funcionamento simples para medições coletadas fácil e rapidamente. Após as duas primeiras etapas, foi realizado o projeto básico com elaboração de desenhos, detalhes, lista de materiais e levantamento de custos.

3.1 Referenciais práticos

O equipamento do laboratório de hidráulica do Centro tecnológico de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo CTH-USP foi o ponto de partida na realização desta pesquisa por destacar-se durante tanto tempo no estudo do assunto (Figura X). O tanque é feito em ferro fundido, tem seção transversal quadrada (área em planta) de 1,0327m², de lados iguais a 1,016m, sua altura é estimada em 2,011m. Possui dois orifícios e dois bocais, uma harpa para cálculo da velocidade real e alcance do jato. Possui também um piezômetro para cálculo da carga H, através desta encontra-se a velocidade teórica.

Os bocais e orifícios são completamente fixados na bancada, o que não permite alteração das dimensões dos orifícios, impossibilita que estudos sejam feitos com novos diâmetros de orifícios nem bocais diferentes para o equipamento.

Figura 3 – Bancada de Orifícios e Bocais CTH-USP



Fonte: Anna Paula Abreu (2019)

O escoamento através dos bocais e orifícios acontece em escoamento não permanente pois a bancada trabalha com carga variável e por conta disso, os alunos tem que trabalhar com pequenos intervalos de tempo e dentro deste intervalo, com a vazão média. Existe uma grande dificuldade no entendimento deste conceito pois o nível da água dentro do reservatório não pode ser visualizado e consequentemente, o volume descarregado. Além do mais, o aluno tem dificuldade para relacionar o nível da água do reservatório com a indicação nos piezômetros.

Apesar da característica visual ser negativa para o processo de aprendizado, o equipamento funciona perfeitamente com resultados precisos e coeficientes experimentais muito próximos dos valores indicados na literatura.

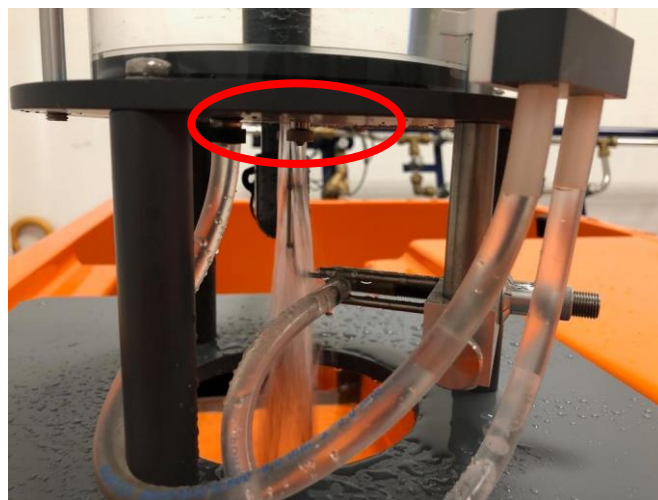
Outra bancada investigada foi a da marca Armfield (Figuras 4 e 5), denominada pelo fabricante como F1-17a, é um equipamento de porte pequeno, cilíndrico e transparente. Possui manômetros acoplados, um difusor interno e peças individuais que são acopladas no orifício inferior, sendo três orifícios e dois bocais.

Figura 4 – bancada Armfield F1-17^a



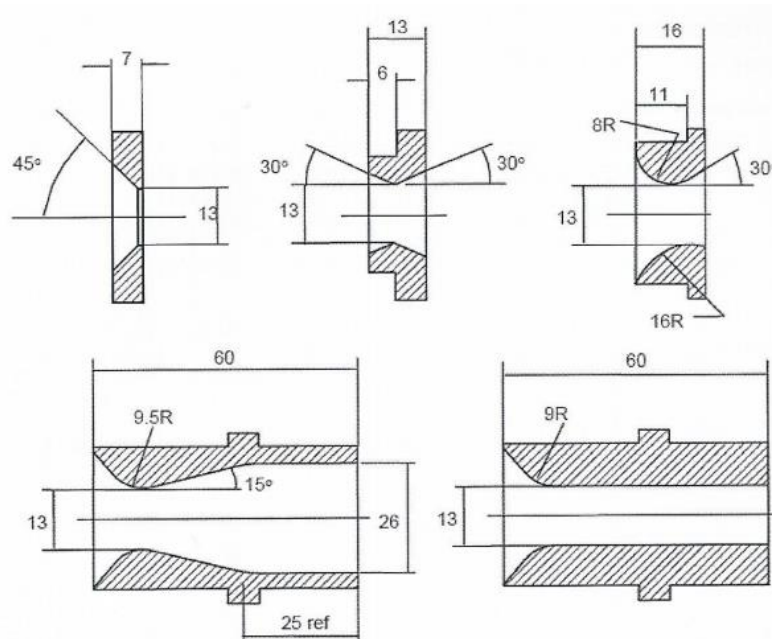
Fonte: Anna Paula Abreu (2019)

Figura 5 – detalhe da superfície inferior onde se acoplam os bocais e orifícios da bancada



Fonte: Anna Paula Abreu (2019)

As peças a serem acopladas apresentam características diferenciadas em relação às dimensões partindo no caso dos orifícios de um modelo mais simples para outro mais complexo, o mesmo ocorrendo para os bocais, conforme pode ser visualizado na figura 6.

Figura 6 – orifícios e bocais bancada Armfield F1-17^a (dimensões em mm)

Fonte: Instruction Manual Armfield F1-17a (2012)

A qualidade dos materiais utilizados neste equipamento é boa e o pequeno reservatório de material transparente facilita o entendimento, no entanto é uma bancada de dimensões muito reduzidas dificultando as medidas e perdendo em precisão pois, retorna erros muito grandes sendo usada somente para a visualização dos jatos, impossibilitando a obtenção de resultados realistas.

3.2 Elaboração do projeto básico

Após a pesquisa bibliográfica e o conhecimento de outros 2 equipamentos em operação, partiu-se para a elaboração do estudo de concepção. Este, consistiu na escolha do melhor arranjo hidráulico, menor ocupação de espaço e principalmente, uma melhor visualização do escoamento.

As características da concepção adotada foram disponibilizadas através de desenhos que contenham planta e elevações do tanque, instalação dos dispositivos (orifícios e bocais), entrada da água, saída da água, sistema de recirculação da água, indicação dos elementos utilizados como tubulações de sucção e recalque, a bomba hidráulica e conexões, além dos detalhes necessários para a montagem do sistema.

Concluindo, fez-se pesquisa sobre a composição e resistência dos tipos de materiais a serem utilizados e consulta de mercado com fabricantes especializados com casa material

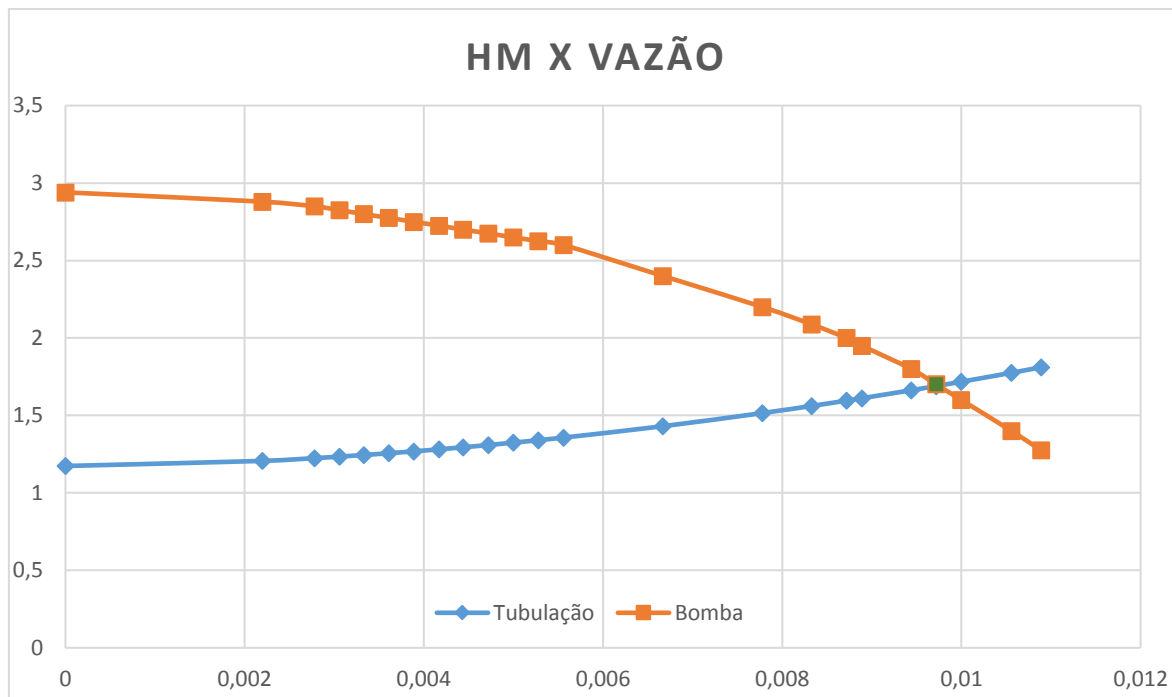
e elaboração da lista de materiais e os devidos custos. Requisitos fundamentais imprescindíveis, relacionados com a melhora do aprendizado, bem como a facilitação da mobilidade do equipamento dentro do laboratório, foram atendidos. São estes:

- ✓ Parte da superfície do reservatório em material transparente para visualização do nível variável de água e, conseqüentemente, a carga de água sobre o orifício ou bocal;
- ✓ Bomba individual;
- ✓ Roldanas Presença de dispositivo que permita o deslocamento da bancada dentro do laboratório permitindo a sua instalação em mais de um lugar;
- ✓ Bomba localizada o mais próximo do líquido a ser recalcado.
- ✓ Extremidade de montante da tubulação de sucção está localizada abaixo do nível mínimo do reservatório. Evitando a entrada de ar na bomba.

3.3 Dimensionamento da bomba

Devido ao sistema individual e a circulação da água do reservatório inferior para o tanque diversas vezes durante o dia, dimensionou-se uma bomba adequada para o projeto. Para isto, é necessário o gráfico da altura manométrica pela vazão da tubulação e a curva de funcionamento da bomba, fornecido pelo fabricante. A intersecção de ambas as curvas determina o ponto de funcionamento da bomba que deve, na medida do possível, corresponder ao ponto de ótimo rendimento da bomba e menor custo da tubulação. Através desse gráfico é que se determina se a bomba é adequada ou não para determinado projeto.

Figura 7 – Gráfico da altura manométrica versus curva característica da bomba

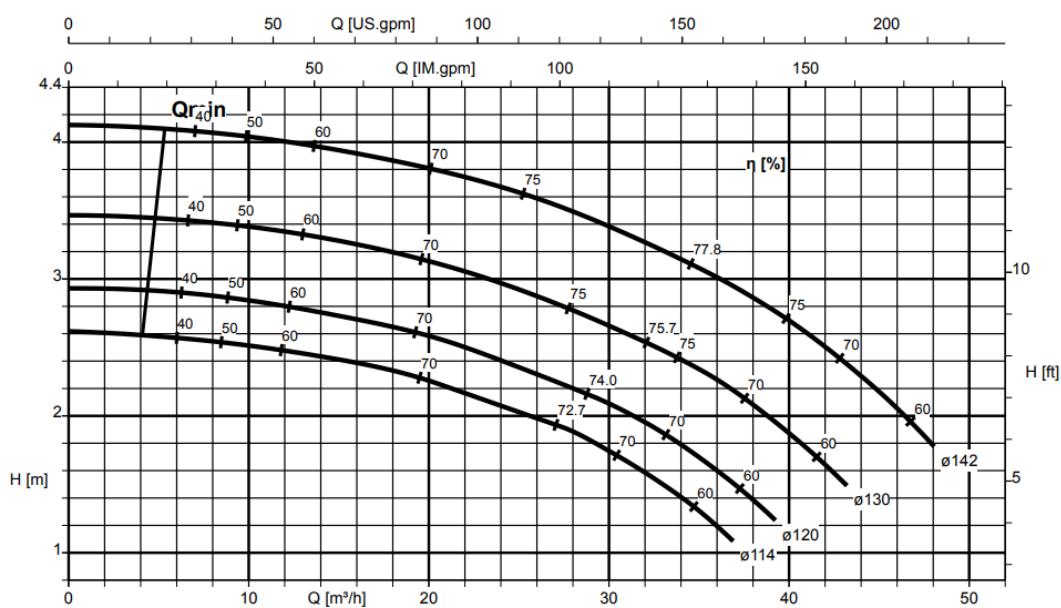


Fonte: Anna Paula Abreu (2019)

Ponto de funcionamento	Hm= 1,7m	Vazão= 0,01m³/h.
------------------------	----------	------------------

Figura 8 – Curva característica da bomba

Meganorm 080-050-125, n = 1.160 rpm

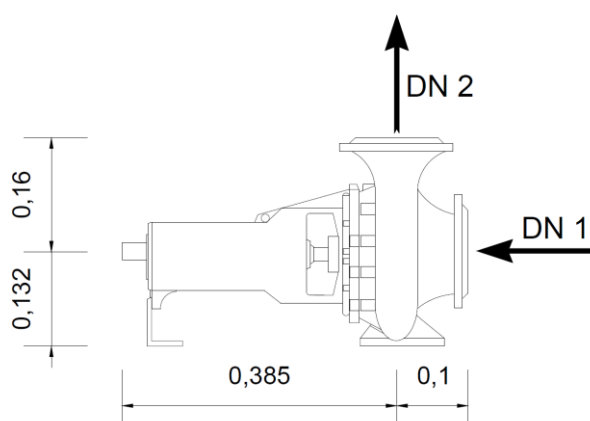


Fonte: Catálogo KSB Meganorm (2013)

A curva característica de uma bomba é a representação gráfica de funções que relacionam diversos parâmetros envolvidos em seu funcionamento. Geralmente os fabricantes fornecem três gráficos correspondentes. O da curva característica, o gráfico da variável N.P.S.H. e a curva de potência necessária em função da vazão de recalque (PORTO, 1999).

A marca escolhida, pela versatilidade e qualidade foi a KSB. A linha Meganorm compreende bombas pequenas e de alta qualidade, garantindo durabilidade, já que a bomba será usada inúmeras vezes ao dia. Porém, para que a bomba tenha sua melhor vida útil, é necessário que se tome medidas e cuidados e que se mantenha um programa de manutenção eletromecânica periódica, mais informações disponíveis no manual técnico do fabricante.

Figura 9 - Esquema da bomba (Medidas em metros)



Fonte: Manual técnico KSB Meganorm (2019)

KSB Meganorm 080-50-125	n= 1160 rpm	DN ₁ = 80mm	DN ₂ = 50mm
-------------------------	-------------	------------------------	------------------------

3.4 A bancada

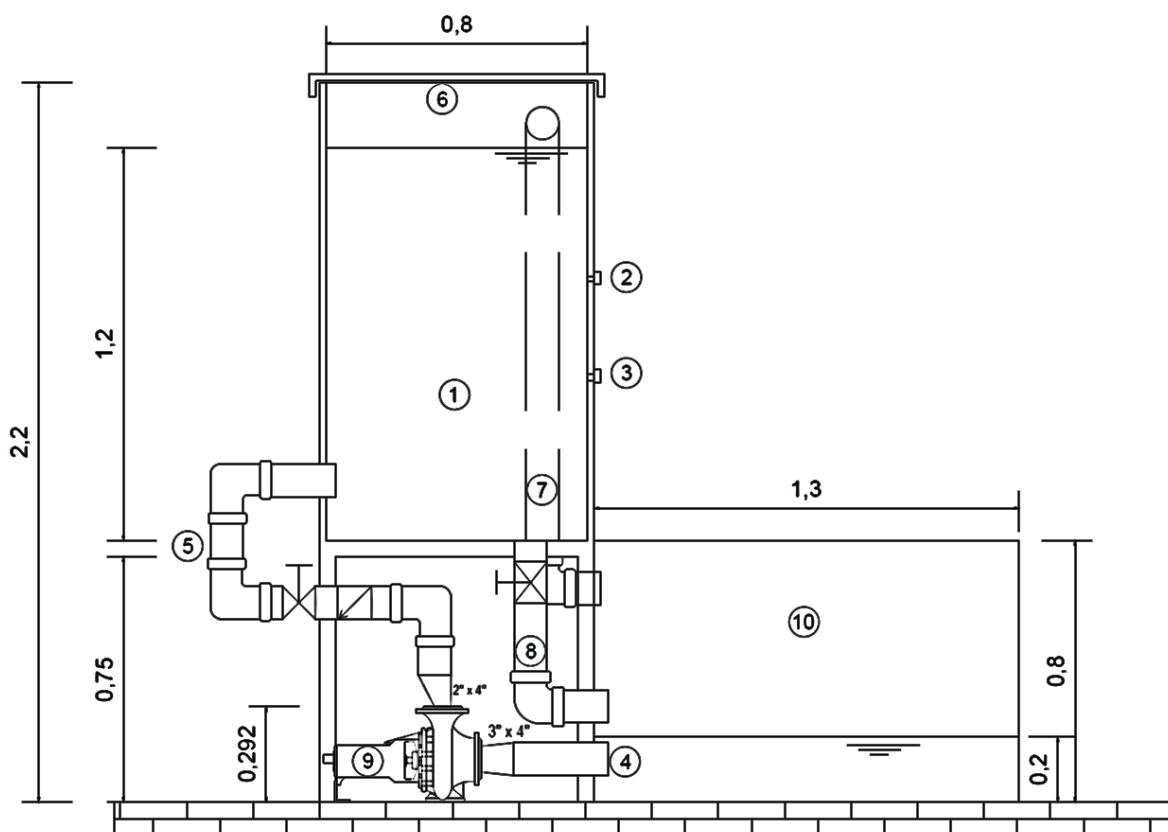
A bancada possui três partes principais: o tanque superior, que comportará um volume total de 768 litros. O reservatório inferior, que armazenará a água a ser utilizada durante os experimentos, garantindo a recirculação da água e a reutilização da bancada quantas vezes forem necessárias, terá capacidade de 1050 litros, respeitando o bordo livre de 10 centímetros e volume morto com altura de 20 centímetros para garantir funcionamento afogado da bomba. A tubulação adjacente será de tubo DEFoFo MPVC de 100mm de diâmetro interno.

Os elementos que sustentam a bancada serão em chapas de aço galvanizado com 3mm de espessura e soldados. A tampa será em aço galvanizado, sendo instalada com duas dobradiças rebitadas a 10 centímetros da borda da chapa superior. A tampa e a base superior

servirão como reforço nas paredes de acrílico de sustentação dos 768 litros, o volume quando o tanque estiver cheio.

O tanque em acrílico será fixado com silicone para aquário (especificado mais adiante). A área de contato deve estar seca, limpa, livre de pó ou óleos. As juntas deverão ter dimensões mínimas maiores que 6x6mm. A tampa e base desse tanque será de aço galvanizado e suas juntas soldadas. Diferentemente, o reservatório inferior será composto de 5 chapas de alumínio liso, liga 1100 h14. Todas as chapas metálicas tem espessura de 3mm. Uma tampa não foi contemplada para o reservatório inferior.

Figura 10 – Vista lateral da bancada (Medidas em metros)

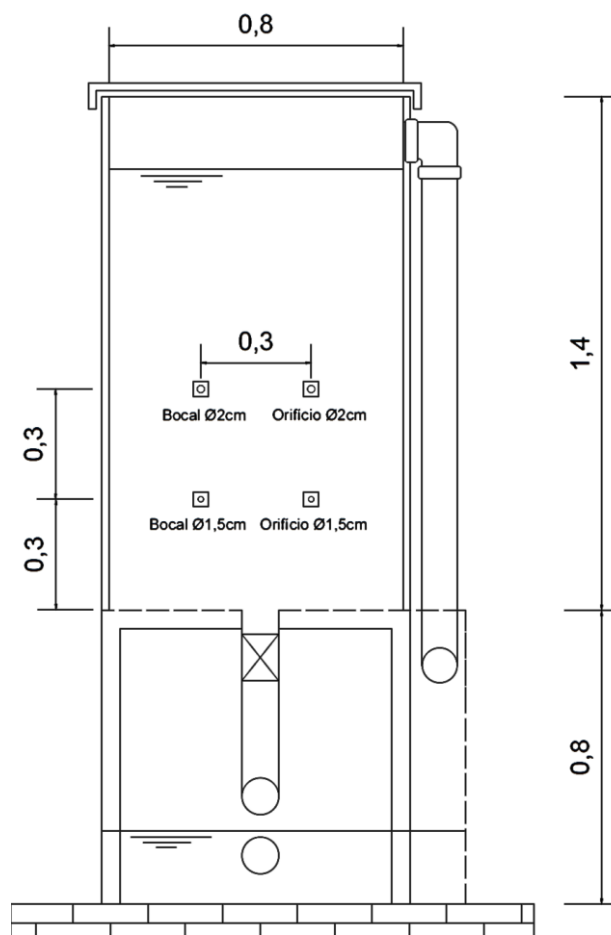


Fonte: Anna Paula Abreu (2019)

Legenda		
Nº	Peça	Material
1	Tanque	Acrílico
2	Orifício/Bocal d=2,0cm	Aço galvanizado
3	Orifício/Bocal d=1,5cm	Aço galvanizado
4	Tubulação de sucção	MPVC Defoyo (100mm)
5	Tubulação de recalque	MPVC Defoyo (100mm)
6	Tampa	Alumínio
7	Tubulação escape	MPVC Defoyo (100mm)
8	Tubulação de descarga	MPVC Defoyo (100mm)

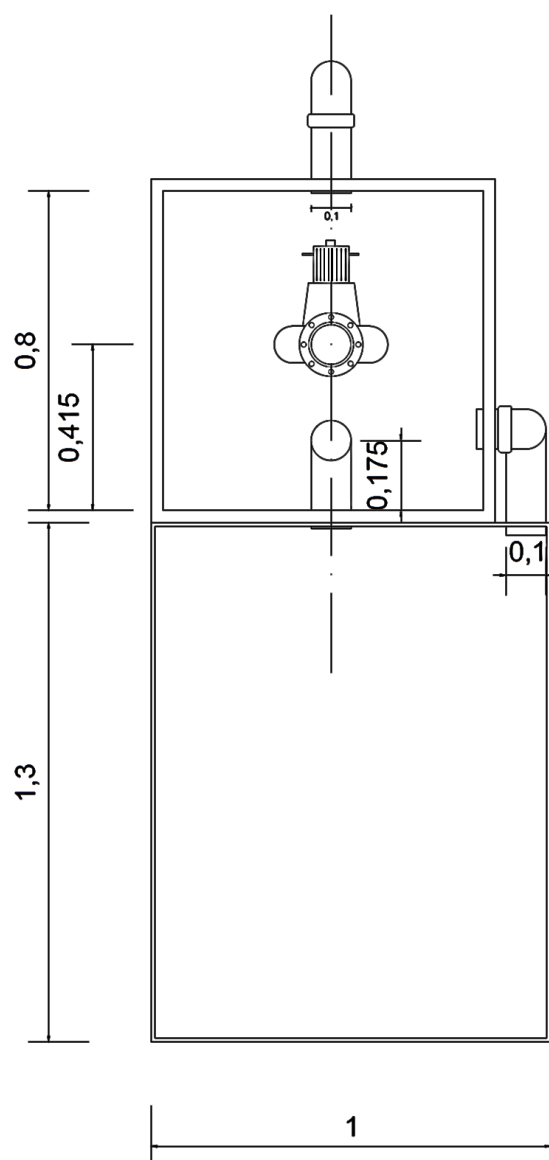
9	Bomba Hidráulica	Ferro fundido
10	Reservatório inferior	Aço galvanizado

Figura 11 – Vista frontal da bancada (Medidas em metros)



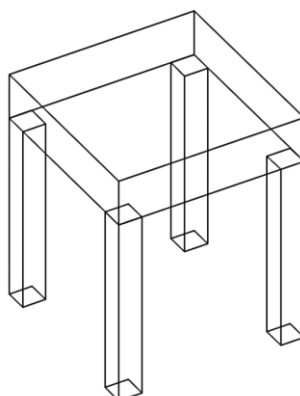
Fonte: Anna Paula Abreu (2019)

Figura 12 – Vista superior da bancada (Medidas em metros)



Fonte: Anna Paula Abreu (2019)

Figura 13 – Detalhe esquemático do suporte da bancada



Fonte: Anna Paula Abreu (2019)

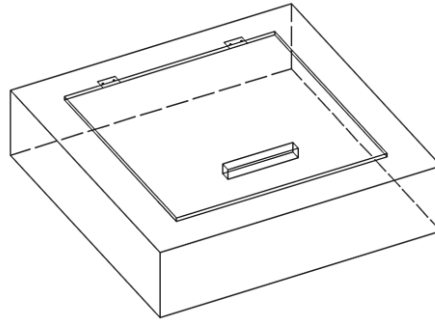
Elementos:

4 faces laterais de 20x80cm

1 fundo de 80x80cm

4 hastes de apoio (H=80cm, L=10cm)

Figura 14 – Detalhe esquemático da tampa da bancada



Fonte: Anna Paula Abreu (2019)

Elementos:

4 faces laterais de 20x80cm

1 chapa de 80x80cm com abertura centralizada de 60x60cm

1 tampa

1 puxador

2 dobradiças de metal

3.5 Tubulação

A tubulação de DEFOFO MPVC fornece elevada resistência a impactos que serão causados a longo prazo com a vibração da bomba - devido ao composto modificador de impacto que é adicionado ao PVC. Dentre os benefícios do material estão: a maior produtividade, a praticidade da junta, facilidade de aquisição, anel já incorporado ao produto, eliminando-se necessidade de estoque de anel, fácil instalação e melhor desempenho hidráulico decorrente ao material da superfície interna lisa.

3.6 Orifícios e Bocais

Idealizados em aço galvanizado, que possui alta resistência, durabilidade e economia. Os orifícios apresentam uma aresta viva, para simular a parede delgada (Figura 15). Já os

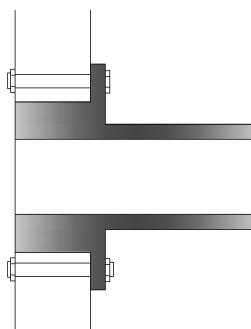
bocais (Figura 16), fixos na estrutura de acrílico, conferem a espessura necessária para que o escoamento se comporte adequadamente.

Figura 15 – Corte esquemático do orifício circular



Fonte: Anna Paula Abreu (2019)

Figura 16 – Corte esquemático do bocal circular



Fonte: Anna Paula Abreu (2019)

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho foram o projeto da bancada ideal demonstrada na metodologia e o custo dos materiais necessários para a sua construção demonstrados no orçamento (Quadro 1)

Quadro 1 – Lista e custo dos materiais necessários para a construção da bancada experimental.

Produto	Valor unitário	Unid	Qtd	Valor total
Conjunto Meganorm 080-050-125 + Motor Weg IR2 0,5CV 6P Trifásico + base perfilada e acoplamento. Grupo Buscarioli - (11) 2618-3611 vendas5@buscarioli.com.br	R\$ 4647,00	un	1	R\$ 4647,00
Placa de Acrílico (10mm) 1,40x0,80m Central do Acrílico - (11) 2425-6500	R\$1978,44	un	2	R\$3956,88
Placa de Acrílico (5mm) 1,40x0,80m Central do Acrílico - (11) 2425-6500	R\$989,22	un	2	R\$1978,44

Placa de Poliestireno (5mm) 1,40x0,80m Central do Acrílico - (11) 2425-6500	R\$205,8	un	2	R\$411,60
Orifício/Bocal d=1,5cm	-	un	-	-
Orifício/Bocal d=2,0cm	-	un	-	-
Tubulação MPVC DEFoFo (6m) www.lojamer.com.br	R\$276,08	m	1	R\$276,08
Cotovelo 90° MPVC DEFoFo www.lojamer.com.br	R\$78,00	un	6	R\$468,00
Válvula de retenção leve contato@madeiramadeira.com.br	R\$628,07	un	1	R\$628,07
Registro de gaveta 4" Acquafort - (41) 3247-1199	R\$ 681,24	un	2	R\$1362,48
Redução 4"x2" PVC www.lojamer.com.br	R\$4,60	un	1	R\$4,60
Redução 4"x3" PVC www.lojamer.com.br	R\$ 14,50	un	1	R\$ 14,50
Chapas de alumínio liso, liga 1100 h14 (3mm)www.kortinox.com.br - (11) 2769-5917	R\$1612,00	un	1	R\$1612,00
Dobradiça para Porta em Ferro com Pino Reversível 2.1/2" Galvanizado www.cec.com.br	R\$9,99	un	2	R\$19,98
Chapa 304 80x80cm (3mm) www.mundinox.com.br	R\$385,00	un	4	R\$1540,00
Tubo Quadrado Metalon 10x10cm (3mm) Fina Quente (6mts)	R\$348,32	un	1	R\$348,32
Total				R\$17267,95

Fonte: Anna Paula Abreu (2019)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O valor total do material a ser utilizado no projeto é de, aproximadamente, R\$17300,00. A bancada foi pensada para ser de fácil compreensão dos alunos, de aspecto agradável para o laboratório, economicamente viável, duradoura e de fácil execução. Outras possibilidades de materiais também são consideradas possíveis, como o poliestireno ao acrílico, que chega a ser 10x mais barato. A tubulação de MPVC DEFoFo também é uma escolha de altíssima qualidade, podendo ser, de forma conveniente, substituída por outro. A mão-de-obra, soldas e silicones não foram incluídos no orçamento.

Já a bomba, por exemplo, foi dimensionada para uma vazão um pouco maior da que realmente vai ocorrer, sendo uma menor mais adequada para a altura manométrica de 1,7m e vazão de 0,1m³/h. De acordo com a curva de funcionamento da mesma, a vazão mínima adequada para seu funcionamento é de, aproximadamente, 6m³/h. O procedimento de escolher uma bomba maior ocorreu com o objetivo de conferir uma maior versatilidade ao equipamento, o que não necessariamente deva ser implantado na ocasião de sua execução.

A bancada ficará muito mais interessante com a instalação de um piezômetro e uma régua para visualização da altura da água no reservatório, que é a carga, valor utilizado nas equações teóricas aprendidas em aula, como, por exemplo, no cálculo da vazão real. Uma estrutura presente na bancada do CTH-USP, a harpa, facilita os cálculos da distância do jato, assim como melhor precisão na cronometragem, consistindo em duas hastes paralelas projetadas para a frente do tanque inclinadas a um ângulo de 45°, com fios de nylon distanciados igualmente. Destaca-se, também, a importância de se evidenciar as cotas dos orifícios.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16198: Medição de vazão de fluidos em condutos fechados**. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2013.

BOMBA PADRONIZADA PARA USO GERAL KSB MEGANORM. **Catálogo de curvas características**. 2013.

HOUGHTALEN, R. J.; HWANG, Ned H. C.; OSMAN AKAN, A. **Engenharia Hidráulica**. 4ª Edição. São Paulo: Pearson, 2012.

NETTO, JOSÉ M. DE AZEVEDO. **Manual de Hidráulica**. 8ª edição. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

ARMFIELD, Instruction Manual Armfield F1-17a. **Flow through an Orifice Apparatus**. New Jersey: November, 2012.

NEVES, E.T. **Curso de Hidráulica**. Rio de Janeiro: Globo, 1979.

BAPTISTA, M; LARA M. **Fundamentos da Engenharia Hidráulica**. 4ª Edição. Belo Horizonte: UFMG, 2016.

CARVALHO, D. F. **Instalações Elevatórias: Bombas**. 2ª Edição. Minas Gerais: FUMARC - Fundação Mariana Resende Costa, 1977.

LENCASTRE, A. **Manual de Hidráulica Geral**. São Paulo: Edgard Blücher, 1972. 411p.

PORTO, R. de M. **Hidráulica Básica**. 4ª Edição. São Carlos: EESC/USP, 2006.

Contatos: annapaulaabreu@outlook.com; liliane.armelin@mackenzie.br.