



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

CAIO OKAMOTO LIMA

**DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UM PROTOTIPO DE UMA
UNIDADE DE BOMBEAMENTO DE LÍQUIDOS MULTIFUSO E MOVEL PARA O
LABORATÓRIO PILOTO DE QUÍMICA (LAQP)**

João Pessoa - Paraíba

2022

CAIO OKAMOTO LIMA

**DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UM PROTOTIPO DE UMA
UNIDADE DE BOMBEAMENTO DE LÍQUIDOS MULTÍUSO E MOVEL PARA O
LABORATÓRIO PILOTO DE QUÍMICA (LAQP)**

Trabalho Final de Curso apresentado a
Universidade Federal da Paraíba-UFPB, como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Vital de Souza Queiroz

João Pessoa - Paraíba

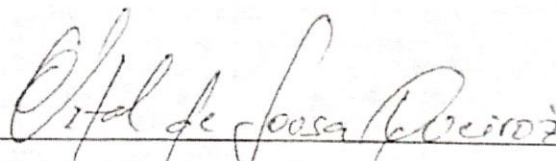
2022

CAIO OKAMOTO LIMA

**DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE UMA
UNIDADE DE BOMBEAMENTO DE LÍQUIDOS MULTÍUSO E MOVEL PARA O
LABORATÓRIO PILOTO DE QUÍMICA (LAQP)**

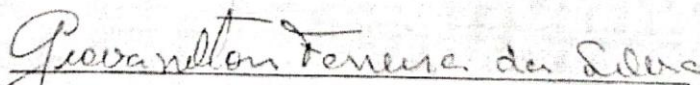
Trabalho Final de Curso apresentado à Universidade Federal da Paraíba como requisito necessário para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA:



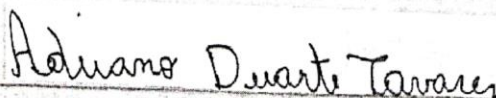
Prof. Dr. Vital de Souza Queiroz (UFPB/CT/DEQ)

(Orientador)



Prof. Dr. Giovanilton Ferreira da Silva (UFPB/CT/DEQ)

(Examinador)



Prof. Dr. Adriano Duarte Tavares (UFPB/CT/DEQ)

(Examinador)

Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

A Deus, por proporcionar o dom da vida e me segurar nos momentos mais difíceis.

Ao meu pai, Robério, que sempre foi fonte de inspiração para mim.

À minha mãe pelo carinho e amor.

Ao Prof. Vital que pela orientação, no decorrer desses anos, meu muito obrigado.

Aos professores Giovanilton e Adriano, por terem aceito o convite para fazer parte da banca examinadora desse trabalho.

“Se não puder voar, corra. Se não puder
correr, ande. Se não puder andar, rasteje, mas
continue em frente de qualquer jeito. ”

Martin Luther King

RESUMO

O laboratório piloto de química (LAPQ) durante a pandemia da COVID-19 prestou um importante serviço para a UFPB fabricando saneantes domo sanitários destinados para uso interno e para doações a pessoas com baixo poder econômico. Devido à alta demanda dos produtos, mais especificamente de álcool líquido e álcool gel, houve a necessidade de se trabalhar com grandes volumes, e isso impactou nas condições de trabalho, pois como o laboratório estava preparado apenas para trabalhar com a rotina normal, não existia um meio mecânico de transporte de líquidos, então os colaboradores tinham que transportar os líquidos em recipientes, e isso causou problemas de riscos ergonômicos e de perda. O risco ergonômico está associado ao levantamento de peso e postura inadequada quando se transportava os líquidos em recipientes e o problema de perda estava associado ao fato de que sempre ocorria pequenos derramamentos ao encher os recipientes e também quando os líquidos dos recipientes eram vertidos. O LAPQ possui uma capacidade de produção entre 1000L a 2000L por dia considerando uma jornada de trabalho de dois turnos, porém para atingir tal capacidade de produção de maneira eficiente e saudável para os colaboradores, foi observado a necessidade de um meio de transporte de líquidos mecânico, então a ideia foi de utilizar uma bomba hidráulica para resolver o problema, mas o laboratório possui duas salas de produção e haviam várias situações diferentes em que o problemas de transporte de líquido se apresentava e a ideia de instalar uma estação de bombeamento, como se faz normalmente, não era muito atrativa pois uma estação de bombeamento é fixa e geralmente serve apenas a um único propósito. Levando em conta o problema e as limitações da solução inicial, surgiu a ideia de um dispositivo móvel e multiuso para que fosse atendida as necessidades das duas salas de produção e das diferentes situações de transporte de líquidos. O dispositivo foi construído sem um projeto escrito prévio, foi construído apenas com conhecimento teórico científico sobre o assunto e intuição.

Palavras-chave: bomba hidráulica, saneantes, transporte de líquidos.

ABSTRACT

The pilot chemistry laboratory (LAPQ) during the COVID-19 pandemic provided an important service to UFPB by manufacturing household sanitizers intended for internal use and for donations to people with low economic power. Due to the high demand for products, more specifically liquid alcohol and alcohol gel, there was a need to work with large volumes, and this impacted working conditions, because as the laboratory was only prepared to work with the normal routine, there was no a mechanical means of transporting liquids, so employees had to transport the liquids in containers, and this caused ergonomic risk and loss problems. The ergonomic risk is associated with heavy lifting and poor posture when transporting liquids in containers and the loss problem was associated with the fact that small spills always occurred when filling the containers and also when the liquids from the containers were poured. The LAPQ has a production capacity between 1000L to 2000L per day, considering a two-shift workday, but to achieve such production capacity in an efficient and healthy way for employees, the need for a mechanical means of transporting liquids was observed. , so the idea was to use a hydraulic pump to solve the problem, but the laboratory has two production rooms and there were several different situations in which the liquid transport problem presented itself and the idea of installing a pumping station, as if normally, it wasn't very attractive as a pumping station is fixed and usually only serves a single purpose. Taking into account the problem and the limitations of the initial solution, the idea arose of a mobile and multipurpose device to meet the needs of the two production rooms and the different situations of liquid transport. The device was built without a previous written project, it was built only with scientific theoretical knowledge on the subject and intuition.

Keywords: hydraulic pump, sanitizing, liquid transport

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – desenho esquemático da classificação dos tipos de movimento de fluido.	18
Figura 2 - Foto do equipamento montado visto de trás.....	32
Figura 3 – Foto do equipamento montado visto de frente.....	32
Figura 4 - Foto do equipamento montado visto de frente em cima do suporte.....	33
Figura 5 - Foto da haste de sucção e da mangueira de $\frac{3}{4}$ de polegada	33
Figura 6 – Foto da haste de sucção introduzida em uma “bobona” de 50 litros.	34
Figura 7– Foto do equipamento apoiado no chão.....	34
Figura 8- Foto do equipamento acoplado ao reator de 500 litros	35
Figura 9 - Foto do interior do reator de 500 litros.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tabela de materiais usados para a construção do dispositivo.....	29
--	----

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVO GERAL	12
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1. MECÂNICA DOS FLUIDOS E FENÔMENOS DE TRANSPORTE	13
2.2. DEFINIÇÃO DE FLUIDO	14
2.3. EQUAÇÕES BÁSICAS NO ESTUDO DA FLUIDO DINÂMICA	15
2.4. MÉTODO DE ANÁLISE – VOLUME DE CONTROLE E SISTEMAS	15
2.4.1. <i>Definição de sistema</i>	16
2.4.2. <i>Definição de volume de controle</i>	16
2.5. FLUIDO E O CONTÍNUO	16
2.6. DESCRIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS DE FLUIDOS	17
2.6.1. <i>Escoamentos Viscosos e Não viscosos</i>	18
2.6.2. <i>Fluxo Laminar e Turbulento</i>	18
2.6.3. <i>Escoamentos Compressíveis e Incompressíveis</i>	19
2.6.4. <i>Fluxos Internos e Externos</i>	19
2.7. HIDROSTÁTICA	19
2.8. FLUIDO EM MOVIMENTO	21
2.8.1. <i>Equação de Euler e equação de Bernoulli</i>	23
2.8.2. <i>Coefficiente de Energia Cinética para escoamento interno</i>	25
2.9. PERDA DE CARGA EM ESCOAMENTO INTERNO	26
2.10. PRINCIPAIS PERDAS: FATOR DE FRICÇÃO	26
2.10.1. <i>Escoamento laminar</i>	26
2.10.2. <i>Escoamento turbulento</i>	27
2.11. PERDAS MENORES	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1. MATERIAIS	29
3.2. PROJETO E MONTAGEM	29
3.2.1. <i>Projeto elétrico</i>	29
3.2.2. <i>Projeto Hidráulico</i>	30
3.2.3. <i>Montagem</i>	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5. CONCLUSÃO	36
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1. Introdução

O presente trabalho foi idealizado a partir de uma necessidade que surgiu dentro do LAPQ, uma das necessidades foi de resolver o problema de transporte manual de líquido, porém, a partir do momento em que o dispositivo foi posto para operar, foi observado o potencial no aumento da produtividade e capacidade produtiva do laboratório.

1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi de construir um aparato para transferir líquidos de maneira segura e que seja possível utiliza-lo em qualquer local do laboratório.

1.2. Objetivos Específicos

- Poder utilizar o aparelho acoplado em qualquer um dos reatores que o LAPQ possui.
- Aumentar a produtividade e a capacidade produtiva do LAPQ.
- Fazer a retirada de líquidos que estão armazenados em “bombonas” de 50 litros

2. Fundamentação teórica

2.1. Mecânica dos fluidos e fenômeno de transporte

Como o nome indica, a mecânica dos fluidos é o estudo dos fluidos em repouso ou em movimento. O assunto tem aplicações para uma ampla gama de assuntos tradicionais, como o projeto de sistemas de barragens, sistemas de distribuição de água, bombas e compressores, e a aerodinâmica de automóveis e aviões. A mecânica dos fluidos facilitou o desenvolvimento de novas tecnologias na área ambiental e energética, como a eólica em larga escala, turbinas e limpezas de derramamento de óleo. Avanços médicos na compreensão e tratamento de problemas de fluxo no sistema circulatório e respiratório têm sido auxiliados por aplicações de mecânica dos fluidos. A modelagem da circulação atmosférica e das correntes oceânicas que auxiliam na compreensão das mudanças climáticas é baseada em princípios da mecânica dos fluidos. Possivelmente, o maior avanço da mecânica dos fluidos nos últimos anos é a capacidade para modelar fluxos extremamente complexos usando software. A técnica conhecida como fluido computacional dinâmico (CFD) tem em seu cerne as relações básicas da mecânica dos fluidos.

Estas são apenas uma pequena amostra das áreas mais recentes da mecânica dos fluidos, mas ilustram como a disciplina ainda é altamente relevante e cada vez mais diversificada, mesmo que tenha milhares de anos.

A transferência de momento em um fluido envolve o estudo do movimento dos fluidos e das forças que produzem esses movimentos. Pela segunda lei do movimento de Newton, sabe-se que a força é diretamente relacionada com a taxa de tempo de variação do momento de um sistema. Excluindo as forças de ação à distância, como a gravidade, as forças que atuam em um fluido, como as resultantes de pressão e tensão de cisalhamento, podem ser o resultado de microscópicas (moleculares) transferência de impulso. Assim, o assunto em apreço, que é historicamente chamado de fluido mecânica, pode igualmente ser denominado transferência de momento.

A história da mecânica dos fluidos mostra a habilidosa combinação dos trabalhos analíticos em hidrodinâmica dos séculos XIX e XX com o conhecimento empírico em hidráulica que o homem coletou ao longo dos tempos. O acasalamento,

destas disciplinas desenvolvidas separadamente, foi iniciado por Ludwig Prandtl em 1904 com sua teoria da camada limite, que foi verificado por experimento. A mecânica dos fluidos moderna, ou transferência de momento, é tanto analítico e experimental.

2.2. Definição de fluido

Os fluidos tendem a fluir quando interagimos com eles, enquanto os sólidos tendem a se deformar ou dobrar. Os engenheiros precisam de uma definição precisa de um fluido: Um fluido é uma substância que se deforma continuamente sob a aplicação de uma tensão de cisalhamento (tangencial), não importa quão pequena seja a tensão de cisalhamento. Como o movimento do fluido continua sob a aplicação de uma tensão de cisalhamento, também podemos definir um fluido como qualquer substância que não pode sustentar uma tensão de cisalhamento quando em repouso.

Portanto, líquidos e gases (ou vapores) são as formas, ou fases, que os fluidos podem assumir. Queremos distinguir essas fases da fase sólida da matéria. Se colocarmos uma amostra de qualquer substância entre duas placas e depois aplicar uma força de cisalhamento F , cada um inicialmente se deformará, enquanto as placas continuaram em repouso (assumindo que a força não é grande o suficiente para ultrapassar seu limite elástico), um fluido continuará a deformar enquanto a força for aplicada.

Um fluido é definido como uma substância que se deforma continuamente sob a ação de uma tensão de cisalhamento. Uma consequência importante desta definição é que quando um fluido está em repouso, não pode haver tensões de cisalhamento. Tanto os líquidos quanto os gases são fluidos. Algumas substâncias, como o vidro, são tecnicamente classificados como fluidos. No entanto, a taxa de deformação no vidro em condições normais temperaturas é tão pequena que torna impraticável sua consideração como um fluido.

Um fluido em contato com uma superfície sólida não escorrega. Ele tem a mesma velocidade que aquela superfície por causa da condição de não escorregamento, que é um fato experimental muito importante.

A quantidade de deformação do sólido depende do módulo de rigidez do sólido e a taxa de deformação do fluido depende da viscosidade μ do fluido. Nos referimos aos sólidos como elásticos e fluidos como viscosos.

2.3. Equações básicas no estudo do fluido dinâmica

A análise de qualquer problema em mecânica dos fluidos inclui necessariamente a declaração das leis básicas que governam o movimento do fluido. As leis básicas, que são aplicáveis a qualquer fluido, são:

- A conservação da massa
- Segunda lei do movimento de Newton (também chamado de princípio do momento linear)
- O princípio do momento angular
- A primeira lei da termodinâmica
- A segunda lei da termodinâmica

Todas as leis básicas geralmente não são necessárias para resolver qualquer problema.

2.4. Método de análise – volume de controle e sistemas

O primeiro passo para resolver um problema é definir o sistema que você está tentando analisar. Em mecânica básica, fazemos uso extensivo do diagrama de corpo livre. Na mecânica dos fluidos, usaremos um sistema ou um volume de controle, dependendo do problema que está sendo estudado. Esses conceitos são idênticos aos usados em termodinâmica (sistema fechado e sistema aberto). Podemos usar tanto um quanto o outro para obter expressões matemáticas para cada uma das leis básicas. Na termodinâmica, aplicamos a conservação da massa e a primeira e a segunda leis da termodinâmica na maioria dos problemas. Em nosso estudo de mecânica dos fluidos, geralmente aplicaremos a conservação da massa e a segunda lei do movimento de Newton. Na termodinâmica nosso foco era energia, na mecânica dos fluidos serão principalmente forças e movimento. Nós devemos sempre estar cientes se estamos usando sistemas ou volume de controle porque, cada um leva a diferentes expressões matemáticas dessas leis.

2.4.1. Definição de sistema

Um sistema é definido como uma quantidade de massa fixa e identificável com os limites do sistema separando o sistema da vizinhança. Os limites do sistema podem ser fixos ou móveis. No estudo da mecânica de corpo sólido, é usado extensivamente o diagrama de corpo livre (abordagem de sistema). Isso era lógico porque você estava lidando com um corpo rígido facilmente identificável. No entanto, em fluidos mecânica normalmente nos preocupamos com o fluxo de fluidos através de dispositivos como compressores, turbinas, tubulações e bicos. Nesses casos, é difícil focar a atenção em um ponto fixo identificável de quantidade de massa. É muito mais conveniente concentrar a atenção em um volume no espaço através do qual o fluido flui, conseqüentemente, usamos a abordagem do volume de controle.

2.4.2. Definição de volume de controle

Um volume de controle é um volume arbitrário no espaço através do qual o fluido flui, o limite geométrico do volume de controle é chamada de superfície de controle. A superfície de controle pode ser real ou imaginária, pode estar em repouso ou em movimento. Para o volume de controle definido por esta superfície, poderíamos escrever equações para as leis básicas e obter resultados como a vazão na saída, dadas as vazões na entrada ou a força necessária para manter uma junção no lugar.

2.5. Fluido e o continuum

Estamos todos familiarizados com fluidos, como ar e água, e os experimentamos como sendo “suaves”, ou seja, como sendo um meio contínuo. A menos que usemos equipamentos especializados, não estamos cientes da natureza molecular dos fluidos. Esta estrutura molecular é aquela em que a massa não é continuamente distribuída no espaço, mas está concentrada em moléculas que são separadas por regiões relativamente grandes de vazios espaciais. Uma região do espaço “preenchida” por um fluido estacionário (por exemplo, ar, tratado como um único gás) parece um meio contínuo, mas se ampliarmos um cubo muito pequeno

dele, podemos ver que temos principalmente espaço vazio, com moléculas de gás espalhadas, movendo em alta velocidade. Observe que o tamanho das moléculas de gás é muito exagerado e que colocou se vetores de velocidade apenas em uma pequena amostra. Desejamos determinar o volume mínimo, δV , que um “ponto” deve ter para que possamos falar sobre propriedades de fluidos contínuos, como a densidade em um ponto. Em outras palavras, em que circunstâncias um fluido pode ser tratado como um continuum, para o qual, por definição, propriedades variam suavemente de ponto a ponto? Esta é uma questão importante porque o conceito de contínuo é a base da mecânica dos fluidos clássica.

O conceito de contínuo é a base da mecânica dos fluidos clássica. A suposição de continuum é válida no tratamento do comportamento de fluidos em condições normais. Só se deixa de ser considerado quando o caminho livre médio das moléculas torna-se da mesma ordem de grandeza que a menor dimensão característica significativa do problema. Isso ocorre em problemas especializados como gás rarefeito, como encontrado em voos para o alcance superior da atmosfera. Para esses casos especiais, devemos abandonar o conceito de um continuum em favor dos pontos de vista microscópicos e estatísticos.

Como consequência da suposição do contínuo, assume-se que cada propriedade do fluido tem um valor definido em cada ponto do espaço. Assim, as propriedades do fluido, como densidade, temperatura, velocidade e assim por diante, são consideradas funções contínuas da posição e do tempo. Suposição do continuum levou diretamente à noção de campo de densidade, outras propriedades do fluido também podem ser descritas por campos, como exemplo: o campo de velocidade e o campo de estresse.

2.6. Descrição e Classificação de Movimentos de Fluidos

A mecânica dos fluidos é uma disciplina enorme e abrange tudo, desde a aerodinâmica de um supersônico avião para a lubrificação das articulações humanas pelo líquido sinovial. Precisamos quebrar a mecânica dos fluidos em proporções gerenciáveis. Os dois aspectos mais difíceis de uma análise de mecânica dos fluidos para lidar são: (1) a natureza viscosa do fluido e (2) sua compressibilidade. A teoria da mecânica dos fluidos tornou-se altamente desenvolvido há cerca de 250 anos e lidava com um fluido incompressível e sem atrito. Essa teoria levou ao famoso

resultado chamado paradoxo de d'Alembert. Todos os corpos não experimentam arrasto à medida que se movem através de tal fluido, o que não é consistente com o comportamento real. O primeiro significativo esforço para lidar com a natureza viscosa dos fluidos ocorreram no início de 1900 e levaram à classificação de fluidos com base na presença de efeitos viscosos e efeitos de compressibilidade. Também existem classificações em termos de se um fluxo é laminar ou turbulento e interno ou externo.

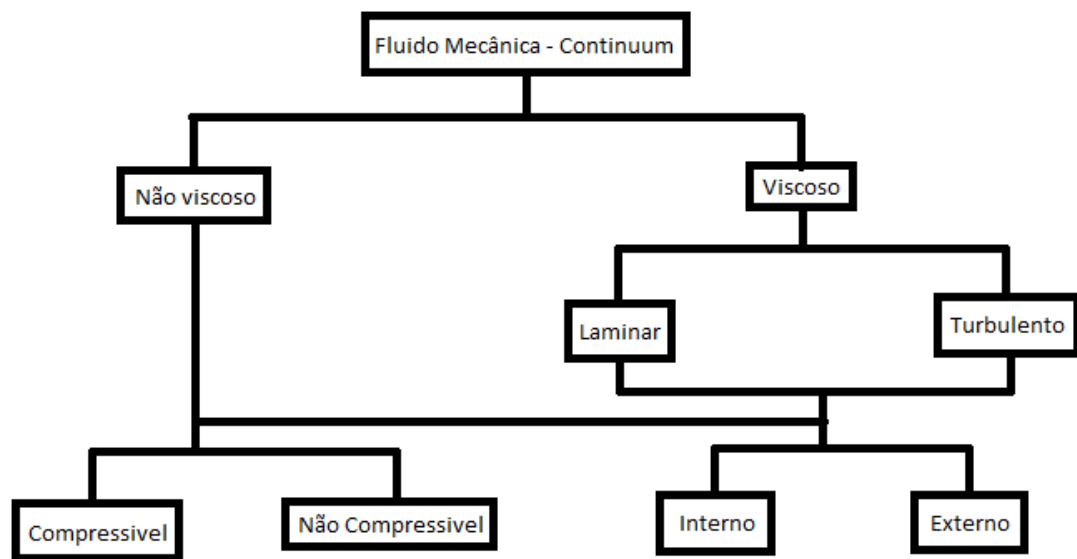


Figura 1 - Fonte Autor(2022)

2.6.1. Escoamentos Viscosos e Não viscosos

Um objeto em movimento através de um fluido experimenta gravidade e, além disso, uma força de arrasto aerodinâmico. A força é devida em parte ao atrito viscoso e em parte às diferenças de pressão acumuladas à medida que o fluido é forçado a sair. Podemos estimar se as forças viscosas, em oposição às forças de pressão, são insignificantes simplesmente calculando o número de Reynolds.

2.6.2. Fluxo Laminar e Turbulento.

Se você abrir uma torneira com um fluxo muito baixo, a água fluirá muito suavemente. Se você aumentar a vazão, a água sairá de forma agitada e caótica. Estes são exemplos de como um fluxo viscoso podem ser laminar ou turbulento, respectivamente. Um fluxo laminar é aquele em que as partículas de fluido se

movem em camadas lisas ou lâminas, um fluxo turbulento é aquele em que as partículas de fluido se misturam rapidamente à medida que se movem ao longo devido a flutuações de velocidade tridimensionais aleatórias.

2.6.3. Escoamentos Compressíveis e Incompressíveis

Escoamentos em que as variações de densidade são desprezíveis são denominados incompressíveis e aqueles em que as variações de densidade não são desprezíveis são chamados compressíveis. O exemplo mais comum de fluxo compressível diz respeito ao fluxo de gases, enquanto o fluxo de líquidos pode frequentemente ser tratado como incompressível.

2.6.4. Fluxos Internos e Externos

Escoamentos completamente delimitados por superfícies sólidas são chamados de escoamentos internos ou de tubos ou dutos. Fluir sobre corpos imersos em um fluido ilimitado são chamados de fluxos externos. Fluxos internos e externos pode ser laminar ou turbulento, compressível ou incompressível. O fluxo de água em uma tubulação é um exemplo de fluxo interno. Um exemplo de escoamento externo é o escoamento de um líquido sobre uma esfera.

2.7. Hidrostática

Dois tipos gerais de forças podem ser aplicados a um fluido: forças de corpo e forças de superfície. A única força de corpo que deve ser considerada na maioria dos problemas de engenharia é devido à gravidade. Não consideraremos as forças de corpo causadas por campos elétricos ou magnéticos. Vamos deduzir o que já sabemos da experiência cotidiana, que a pressão aumenta com profundidade. Para fazer isso, aplicamos a segunda lei de Newton a um elemento de fluido diferencial de massa $dm = \rho \cdot dV$, com lados dx , dy e dz . Para um elemento de fluido diferencial, a força de corpo é:

$$d\vec{F}_B = g \cdot dm = g \cdot \rho \cdot dV$$

onde g é o vetor de gravidade local, ρ é a densidade e dV é o volume do elemento. Em cartesianas coordenadas $dV = dx \, dy \, dz$, então

$$d\vec{F}_B = \rho \cdot g \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

Em um fluido estático não há tensões de cisalhamento, então a única força de superfície é a força de pressão. pressão é um campo escalar, $p = p(x,y,z)$, e em geral, esperamos que a pressão varie com a posição dentro do fluido.

A força de pressão resultante dessa variação pode ser encontrada somando-se as forças que atuam sobre as seis faces do elemento de fluido.

Seja a pressão p no centro, O , do elemento. Para determinar a pressão em cada um dos seis faces do elemento, usamos uma expansão em série de Taylor da pressão em torno do ponto O . A força de superfície pode ser escrita como

$$d\vec{F}_s = -\left(\frac{\partial p}{\partial x}i + \frac{\partial p}{\partial y}j + \frac{\partial p}{\partial z}k\right) \cdot dz \cdot dx \cdot dy = -\nabla p \cdot dz \cdot dx \cdot dy$$

Combinamos as formulações para forças de superfície e de corpo que desenvolvemos para obter o total força agindo sobre um elemento de fluido. Desta forma

$$dF = dF_s + dF_b = -\nabla p + \rho g \, dx \, dy \, dz = -\nabla p + \rho g \, dV$$

ou por unidade de volume

$$\frac{dF}{dV} = -\nabla p + \rho g$$

Para uma partícula de fluido, a segunda lei de Newton nos fornece $F = a \cdot dm = a \cdot \rho \cdot dV$. Para um fluido estático, $a = 0$. Assim

$$\frac{dF}{dV} = \rho \cdot a = 0$$

Substituindo $\frac{dF}{dV}$ da Eq. 3.2, obtemos

$$-\nabla p + \rho g = 0$$

Como a gravidade só induz aceleração na direção z , então $g_x = 0$ e $g_y = 0$, logo

A equação se reduz

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g = -\gamma$$

A equação descreve a variação de pressão em um fluido estático de acordo com relação pressão altura.

2.8. Fluido em movimento

Como foi comentado anteriormente, há dois tipos gerais de forças que podem ser aplicados a um fluido: forças de corpo e forças de superfície, porém, diferente de um fluido estatico em um fluido em movimento existe tensoes de cisalhamento, e as forças de superfície incluem forças normais e forças tangenciais (cisalhamento). Para ver em detalhes o que está acontecendo em um escoamento, precisamos de formas diferenciais das equações de movimento. Foi desenvolvido equações diferenciais para a conservação da massa e a segunda lei de Newton do movimento. Para desenvolver tais equações diferenciais, foi preciso analisar sistemas infinitesimais de volumes de controle. Uma equação desenvolvida a partir de tal análise foi a equação da continuidade que descreve a conservação de massa em um ponto no espaço em um determinado ponto no tempo.

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

$$\nabla \cdot \rho V + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

Outra equação diferencial, usada para analisar o movimento de fluidos, foi desenvolvida a partir da segunda lei de newton aplicado a um elemento de volume. A equação é,

$$dF = dm \frac{DV}{Dt} = dm \left[u \frac{\partial V}{\partial x} + v \frac{\partial V}{\partial y} + w \frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial V}{\partial t} \right]$$

A partir dessa equação diferencial é possível obter uma formulação da força dF e de suas componentes.

$$\rho g_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

$$\rho g_y + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} = \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

$$\rho g_z + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} = \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right)$$

Essas são as equações diferenciais de movimento para qualquer fluido que satisfaça a suposição do continuum. Antes que as equações possam ser usadas para resolver u , v e w , expressões adequadas para as tensões devem ser obtidas em termos dos campos de velocidade e pressão.

Para um fluido newtoniano, a tensão viscosa é diretamente proporcional à taxa de deformação de cisalhamento (taxa angular de deformação). para escoamento Newtoniano laminar unidimensional a tensão de cisalhamento é proporcional à taxa de deformação angular: $\tau_{yx} = \mu \frac{du}{dy}$. As tensões podem ser expressas em termos de gradientes de velocidade e propriedades do fluido em coordenadas retangulares.

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \text{(tensão de cisalhamento para uma face)}$$

$$\sigma_{xx} = -p - \frac{2}{3} \mu \nabla \cdot \vec{V} + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \text{(tensão normal para uma face)}$$

Se essas expressões para as tensões forem introduzidas nas equações diferenciais do movimento. Obtemos a equação de navier-stokes

$$\begin{aligned} \rho \frac{Du}{dt} &= \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{V} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \\ &\quad + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] \\ \rho \frac{Dv}{dt} &= \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(2 \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{V} \right) \right] \\ &\quad + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] \\ \rho \frac{Dw}{dt} &= \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] \\ &\quad + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(2 \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{V} \right) \right] \end{aligned}$$

As equações são bastante simplificadas quando aplicado a escoamento incompressível com viscosidade constante. Nestas condições, as equações reduzem para

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \end{aligned}$$

Esta forma das equações de Navier-Stokes é um dos mais famosos conjuntos de equações em mecânica dos fluidos, e tem sido amplamente estudado. Essas equações, com a equação de continuidade, formam um conjunto de quatro equações

diferenciais parciais não lineares copladas para u , v , w e p . Em princípio, essas quatro equações descrever muitos fluxos comuns. As únicas restrições são que o fluido seja newtoniano (com uma constant viscosidade) e incompressível.

2.8.1. Equação de Euler e equação de Bernoulli

A equação de Euler obtida a partir das equacoes de navier-stokes depois de desprezar os termos viscosos é

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = \rho \vec{g} - \nabla p$$

A equação acima expressa em coordenadas retangulares é

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} \\ \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} \\ \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned}$$

Para simplificar, considere o escoamento no plano yz mostrado. Queremos escrever as equações de movimento em termos da coordenada s , distância ao longo de uma linha de corrente, e a coordenada n , distância normal à linha de corrente. Ao longo de qualquer linha de corrente $V = V(s,t)$, e o material ou aceleração total de uma partícula de fluido nasentido de fluxo é dado por

$$a_s = \frac{DV}{Dt} = \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial s}$$

A equação de Euler na direção da corrente com o eixo z direcionado verticalmente para cima é então

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} - g \frac{\partial z}{\partial s} = \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial s}$$

Para fluxo estacionário, a equação de Euler na direção da corrente se reduz a

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} = g \frac{\partial z}{\partial s} - V \frac{\partial V}{\partial s}$$

A partir desta equação é possível obter a equação de Bernoulli para uma partícula de fluido se movendo a o longo da linha de corrente ds . Multiplicando a equação acima por ds temos,

$$\frac{dp}{\rho} + VdV + g dz = 0$$

Para o caso especial de escoamento incompressível, $\rho = \text{constante}$ e integrando ao longo de s , a equação acima torna-se a equação de Bernoulli.

$$\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{constante}$$

A equação de Bernoulli pode ser interpretada como equação de energia apesar de ter sido derivada a partir da segunda lei de Newton. É possível chegar a mesma equação aplicando a primeira lei da termodinâmica em um volume de controle e assumindo escoamento incompressível e $u_1 = u_2 = 1/r$, fazendo isso temos,

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 + \left(u_2 - u_1 - \frac{\delta Q}{dm} \right)$$

Note que se o termo $\left(u_2 - u_1 - \frac{\delta Q}{dm} \right) = 0$, a equação se torna idêntica a equação de Bernoulli. Pode parecer que precisávamos da restrição $\left(u_2 - u_1 - \frac{\delta Q}{dm} \right) = 0$, a relação entre a transferência de calor e a variação da energia térmica interna, para finalmente transformar a equação da energia na equação de Bernoulli. Realmente não é uma restrição porque para um fluxo incompressível e sem atrito sem forças de cisalhamento, a transferência de calor resulta apenas em uma mudança de temperatura e não afeta a pressão ou velocidade.

Para o escoamento estacionário, sem atrito e incompressível, é verdade que a primeira lei da termodinâmica reduz à equação de Bernoulli. Cada termo da equação tem dimensões de energia por unidade de massa e as vezes é comum fazer referencia aos três termos na equação como a energia de “pressão”, energia cinética e energia potencial por unidade de massa do fluido. Não é surpreendente que a equação contém termos de energia porque é usada a primeira lei da termodinâmica na sua dedução. Foi obtido os mesmos termos de energia da equação de Bernoulli, que derivamos da equação de momento (que envolve termos de força), ao integrarmos a equação de momento ao longo de uma linha de corrente (que envolve distância) obtemos termos de trabalho ou energia (trabalho sendo definido como força vezes distância). O trabalho da gravidade e forças de pressão leva a uma mudança de energia cinética (que veio da integração de momento sobre distância).

Neste contexto, podemos pensar na equação de Bernoulli como um balanço de energia mecânica, a energia mecânica (“pressão” + potencial + cinética) será constante. Devemos sempre ter em mente que, para que a equação de Bernoulli seja válida ao longo de uma linha de corrente, é necessário um regime de fluxo

permanente e incompressível. As duas propriedades do escoamento, compressibilidade e atrito, são o que “ligam” termodinâmica e energia mecânica. Se um fluido é compressível, quaisquer mudanças de pressão induzidas pelo fluxo irão comprimir ou expandir o fluido, realizando trabalho e alterando a energia térmica da partícula. Fricção como sabemos da experiência cotidiana, sempre converte energia mecânica em energia térmica. Sua ausência, portanto, quebra a ligação entre as energias mecânica e térmica, e elas são independentes. Em resumo, quando as condições são satisfeitas para que a equação de Bernoulli seja válida, podemos considerar separadamente a energia mecânica e a energia térmica interna de uma partícula de fluido, e quando não forem satisfeitas, haverá uma interação entre essas energias e a equação de Bernoulli torna-se inválida e devemos usar a primeira lei da termodinâmica completa.

2.8.2. Coeficiente de Energia Cinética para escoamento interno

O coeficiente de energia cinética, α , é definido de tal forma que o produto do coeficiente e a energia cinética com base na velocidade média é igual à energia cinética real.

$$\alpha = \frac{\int_A \rho V^3 dA}{\dot{m} \bar{V}^2}$$

Podemos pensar em α como um fator de correção que nos permite usar a velocidade média V na equação da energia para calcular a energia cinética em uma seção transversal. Para fluxo laminar em um tubo, $\alpha = 2/3$.

No escoamento turbulento em tubo, α pode ser calculado pela seguinte equação

$$\alpha = \left(\frac{U}{\bar{V}}\right)^3 \frac{2n^2}{(3+n)(3+2n)}$$

α é razoavelmente próximo da unidade para números de Reynolds altos. O resultado geral é que na faixa realista de n , de $n = 6$ a $n = 10$ para números de Reynolds altos, α varia de 1,08 a 1,03; para o perfil de potência de um sétimo $n = 7$, $\alpha = 1,06$.

2.9. Perda de Carga em escoamento interno

O termo $\left(u_2 - u_1 - \frac{\delta Q}{dm}\right)$ é igual à diferença de energia mecânica por unidade de massa entre seções e ela representa a conversão (irreversível) de energia mecânica, na seção, para energia térmica indesejada ($u_2 - u_1$) e perda de energia via transferência de calor ($-\delta Q/dm$). Nós identificamos esse grupo de termos como a perda total de energia por unidade de massa e ele é designado pelo símbolo h_{IT} . Então ficamos com a seguinte equação de energia utilizando a definição de a.

$$\left(\frac{p_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2} + g z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2} + g z_2\right) = h_{IT}$$

A perda de carga total, h_{IT} , é considerada como a soma das principais perdas, h_l , devido aos efeitos de atrito em escoamentos totalmente desenvolvidos em tubos de área constante e perdas menores, h_{lm} , resultante de entradas, acessórios, mudanças de área e etc. Consequentemente, consideramos as perdas maiores e menores separadamente.

2.10. Principais Perdas: Fator de Fricção

A perda de carga principal pode ser expressa como a perda de pressão em um escoamento totalmente desenvolvido através de um tubo horizontal de área constante.

2.10.1. Escoamento laminar

Para o escoamento laminar a queda de pressão pode ser calculada analiticamente para um fluxo desenvolvido em um tubo horizontal, e é calculada pela seguinte equação

$$h_l = \left(\frac{64}{Re}\right) \frac{L}{D} \frac{V^2}{2}$$

2.10.2. Escoamento turbulento

Para o escoamento turbulento não podemos avaliar analiticamente a queda de pressão, devemos recorrer a resultados de experiências e usar a análise dimensional para correlacionar os dados experimentais. Para determinar a perda de carga para escoamento turbulento totalmente desenvolvido com condições conhecidas, o número de Reynolds é avaliado primeiro. A rugosidade é obtida a partir de dados tabelados. Então o fator de atrito, f , pode ser lido a partir da curva apropriada no diagrama de Moody nos valores conhecidos de Re e D . Finalmente, a perda de carga pode ser encontrado usando a seguinte equação,

$$h_l = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2}$$

Existem correlações empíricas que foram ajustadas aos dados

Como a equação de Colebrook e a equação de Haaland. Essas correlções possuem restrições em relação ao número de Reynolds, porém são dados calculados e não lidos em gráficos.

2.11. Perdas Menores

Um sistema de tubulação normalmente tem uma variedade de conexões, curvas ou mudanças abruptas na área. Perdas de cargas adicionais são encontradas, principalmente, como resultado da separação do fluxo. A energia eventualmente é dissipada pela mistura violenta nas zonas separadas. Estas são chamadas de perdas menores, embora possam ser maiores do que a perda de atrito do tubo, especialmente para tubos curtos. As perdas menores são computadas como,

$$h_{lm} = K \frac{V^2}{2},$$

onde o coeficiente de perda, K , é determinado experimentalmente ou às vezes com software CFD para cada situação. Para escoamento através de curvas e conexões de tubos, o coeficiente de perda, K , varia com o tamanho do tubo (diâmetro) da mesma maneira que o fator de atrito, f , para escoamento através de um tubo reto.

As situações mais comuns relacionadas a perdas menores são

- a) Entradas e saídas
- b) Ampliações e contrações
- c) Curvas de Tubulação

d) Válvulas e Conexões

2.12. Determinando a Potencia de uma bomba

Para determinar a potência necessária de um bomba hidráulica em um sistema de bombeamento, é necessário realizar um balanço de energia no sistema e incluir a bomba como um componente que fornece energia ao sistema, também é necessário calcular todas as perdas de cargas menores e principais que existe antes e depois da bomba. Fazendo isso obtemos a seguinte equação.

$$h_{IT} - \left(\frac{p_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right) + \left(\frac{p_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) = \Delta h_{bomba}$$

$$\Delta h_{bomba} = \frac{\nabla p_{bomba}}{\rho}, \text{ multiplicando por } \dot{m} = \rho Q$$

$$\dot{W}_{bomba} = Q \Delta p_{bomba}$$

Também é necessário saber a eficiência da bomba em para poder incluir dos cálculos de determinação de potência. A potência da bomba normalmente é fornecida pelo fabricante, com posse desse dado, basta apenas dividir a potência calculada pela eficiência da bomba. A eficiência da bomba é dada pela seguinte equação.

$$\varepsilon = \frac{\dot{W}_{bomba}}{\dot{W}_{entrada}}$$

onde $\dot{W}_{pump}$ é a potência que chega ao fluido e $\dot{W}_{in}$ é a potência de entrada (geralmente elétrica) para a bomba.

3. Materiais e Métodos

Para projetar e construir o aparato móvel de bombeamento de fluido líquido não foi necessário realizar cálculos de perdas de cargas ou balanços de massa, pois as dimensões que o problema apresentava eram pequenas, foi necessário apenas conhecimento sólido em fluidodinâmica e conhecimento prático em montagem de sistemas de bombeamento de líquidos. O sistema de bombeamento foi desenvolvido para ser acoplado em todos os reatores do LAPQ como também realizar retirada

de líquidos de tanques de 50 litros, 100 litros e 200 litros que o LAPQ possui. O aparato também foi projetado para operar na configuração afogada e não afogada.

3.1. Materiais

1 Bomba ½ CV monofásica	4 metros de mangueira de plástico transparente 1.1/4 de polegada
4 metros de mangueira de plástico transparente ¾ de polegada	1 metro de tubo de pvc soldável 1 polegada
1 metro de tubo de pvc soldável 3/4 polegada	2 metros de mangueira de piscina
1 válvula de pé de poço	2 disjuntores
1 tomada com 3 pinos	1 caixa de disjuntor
1 chave de partida	30 centímetros de eletroduto corrugado conduíte
2 metros de cabo pp 3 vias de fio de cobre 1,5mm	6 união rosca de pvc
5 conexão de pvc	1 conexão T de pvc
1 válvula de registro ¾ polegada	1 válvula de registro 1 polegada
1 válvula de registro 1.1/4 polegada	1 válvula de retenção ¾ de polegada
1 válvula de retenção 1 polegada	1 redução 1x3/4
1 redução 1x1.1/4	1 placa de madeira 50cm x 50cm
2 conexões de mangueira comum	2 conexões de mangueira de piscina

Tabela 1

3.2. Projeto e Montagem

3.2.1. Projeto elétrico

A bomba hidráulica veio apenas com os fios desencapados para serem ligados à energia. Foi decidido usar um disjuntor para proteger o motor da bomba de qualquer oscilação na rede de energia e uma chave de partida para proteger a rede de qualquer distúrbio que a partida do motor possa causar na rede elétrica e também aumentar a vida útil do equipamento. Foi utilizados dois disjuntores feitos para serem ligados ao mesmo tempo, um está ligado ao fio fase e o outro ao fio neutro, como não sabíamos se as tomadas estão sempre instaladas seguindo o padrão, preferiu-se fazer desse jeito porque é uma maneira de evitar um possível funcionamento do equipamento com o neutro interrompido. O problema de um motor elétrico trabalhar com neutro interrompido é que ele se torna uma fonte de tensão e pode sobrecarregar a rede do local, levando a possíveis danos a outros

equipamentos eletricos ligados a rede. A chave de partida além de propiciar uma partida segura para o equipamento ela permite que a ação de ligar e desligar consecutivamente o equipamento seja menos danosa para o motor eletrico. Foi decidido usar um cabo pp com 3 fios de cobre de 1,5mm porque esses cabos sao encapados com um plastico flexivel e resistente para evitar qualquer contato com algum liquido. Alem do uso de um cabo resistente foi decicido utilizar um eletroduto para mais segurança, pois os orificios, da caixa de disjuntor e da chave de partida, por onde os fios eletricos passam ficam abertos para o ambiente.

3.2.2. Projeto Hidráulico

Os acessórios utilizados para o bombeamento foram projetados de forma que o aparato tivesse liberdade de mobilidade, não so o aparato em si mas tambem os dutos de descarga e sucção.

O duto de sucção foi desenhado para ser acoplado diretamente aos reatores ou a uma haste de sucção que é usada para fazer a retirada de liquidos de tanques. Foi construido utilizando a mangueira de piscina, porque é um material que resiste a deformação, caso fosse usada uma mangueira comum, a força de sucção poderia fazer com que a mangueira “murchasse”, causando uma restricao parcial ou completa do fluxo. Nas duas extremidades da mangueira de piscina foi colocado uma conexao para mangueira conectada a uma união rosca. Uma extremidade é rosqueada na bomba enquanto a outra pode ser rosqueada na haste de sucção ou em algum dos reatores. A haste sucção foi montada com a valvula de pé de poço para que fosse possivel fazer a escorva da bomba para quando ela fosse operada de modo não afogada.

O duto de descarga possui duas configurações, uma com a mangueira de plastico transparente de $\frac{3}{4}$ de polegada que possui quatro metros de comprimento e sai apontando para uma direção perpendicular a direção do ponto de descarga da bomba, e outra configuração com dois metros de mangueira de plastico transparente $1\frac{1}{4}$ de polegada com a saida apontada no sentido e direção iguais ao ponto de descarga da bomba. No ponto de descarga da bomba foi colocado uma sistema de dutos utilizados para ajudar na escorva da bomba. As mangueiras de descarga se conectam a bomba da mesma maneira que os dutos de sucção, porem nas mangueiras de descarga foi colocado uma valvula de nao retorno logo a pós a união

rosca para evitar derramamento de líquido quando a mangueira fosse desacoplada. Foi colocado registros nas duas mangueiras para que fosse possível realocar a mangueira sem que ela derramasse líquido pelo chão durante a mudança de posição.

3.2.3. Montagem

Primeiramente a bomba foi fixada em uma base de madeira com uma placa lateral de madeira usada pra dar suporte ao duto de descarga. A base pode ser apoiada diretamente no chão para quando ela fosse operada de forma afogada ou pode ser encaixada em um suporte alto para que possa ser operada de forma não afogada. Em seguida foi realizada toda a instalação elétrica. Os disjuntores foram colocados em uma caixa para disjuntores e fixados na parte de trás da placa de madeira de suporte dos dutos de descarga, a chave de partida também foi fixada nesta placa de madeira, após concluir a instalação elétrica a bomba foi ligada sem os acessórios hidráulicos, apenas para averiguar se a instalação foi bem feita e se a bomba está funcionando. Em seguida o próximo passo foi montar todos os acessórios hidráulicos. Os acessórios hidráulicos foram montados sem muitos problemas, pois o trabalho foi apenas conectar os dutos, as conexões, as válvulas, os registros e as mangueiras. Um cuidado especial foi dado aos dutos de sucção, pois numa primeira tentativa de funcionamento após a montagem, foi detectado ar nos dutos de descarga evidenciando uma vedação ineficiente no duto de sucção. Para resolver o problema, a seção do duto de sucção onde havia esse vazamento de vácuo foi envolvida em câmara de ar de bicicleta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO



Figura 2 - Fonte Autor (2022)

Na figura 1 podemos ver a montagem completa da parte elétrica, é possível verificar que não existe ponto aberto para o ambiente devido ao uso do eletro dutos.



Figura 3 - Fonte Autor (2022)

Na figura acima podemos observar a bomba com o duto de sucção e a mangueira de $\frac{3}{4}$ de polegada conectados, também é possível ver o sistema de duto que auxilia o processo de escorva da bomba.



Figura 4 - Fonte Autor (2022)

A figura acima mostra a configuração onde a bomba está operando de forma de não afogada em cima do suporte.



Figura 5 - Fonte Autor (2022)

Na ilustração acima podemos ver a bomba operando de forma não afogada utilizando a haste de sucção e a mangueira de $\frac{3}{4}$ de polegada. No caso a bomba está fazendo apenas a recirculação do líquido que está dentro do recipiente.



Figura 6 - Fonte Autor (2022)

Na figura acima podemos ver a bomba transferindo líquido do tambor fechado de cinquenta litros para o tambor aberto de cem litros utilizando a haste de sucção.



Figura 7 - Fonte Autor (2022)

Na ilustração acima é possível ver a bomba apoiada no chão operando em modo afogada e acoplada ao reator de quinhentos litros do LAPQ. Também é possível ver a mangueira de 1.1/4 de polegada acoplada.



Figura 8 - Fonte Autor (2022)

Na figura acima podemos observar a bomba operando em conjunto com o reator, no caso a bomba está reciclando o conteúdo do reator.



Figura 9 - Fonte Autor (2022)

Na figura acima podemos observar a bomba reciclando o conteúdo do reator com o agitador ligado.

5. CONCLUSÃO

O aparato de transferência de líquido funcionou muito bem. Após os testes feitos com água, o aparato foi testado com detergente, desinfetante, e água sanitária. Foi possível utilizá-lo durante o processo de produção proporcionando um efeito de mistura. No teste feito com detergente o aparato foi capaz de transferir 400 litros de detergente em apenas 30 minutos, enquanto que os testes feitos com desinfetante e água sanitária levaram apenas 15 minutos para transferir a mesma quantidade, a diferença de tempo pode ser explicada pela diferença de viscosidade dos líquidos. Com base nos tempos obtidos e pela própria experiência, é possível dizer que o equipamento acoplado ao reator de 500 litros tem capacidade de produzir 2400L de detergente, desinfetante e água sanitária em dois turnos de um dia.

Um único problema que ocorreu foi com o bombeamento de água sanitária, pois após o uso foi observado um ataque químico aos componentes da bomba., porém esse problema pode ser facilmente resolvido com uma troca de equipamento, o ideal seria selecionar uma bomba capaz de trabalhar com qualquer produto químico.

O equipamento também se mostrou muito eficiente e eficaz na transferência de fluido de recipientes fechados, pois água sanitária que se trabalha no LAPQ vem em volumes grandes e é difícil de se trabalhar por causa do peso, muitas vezes ao manusear o recipiente alguns respingos acabavam caindo nas vestimentas dos alunos e no chão causando danos as vestimentas e desperdiçando produto, depois que o aparato começou a ser usado nenhum desses acidentes e desperdícios voltou a ocorrer.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

W. MITCHELL, John; W. FOX, Robert. Fox and Mcdonald's Introduction to Fluid Mechanics. 10^a. ed. Hoboken: Wiley, 2020. 609 p. v. 1. ISBN 9781119616566.

BYRON BIRD, R.; STEWART EDWIN, E.; LIGHTFOOT EDWIN, N. Transport Phenomena. 2^a. ed. United States of America: Wiley, 2001. 914 p. v. 1. ISBN 0471410772.

R. WELTY, James; L. RORRER, Gregory; G. FOSTER, David. Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfers. 6^a. ed. United States of America: Wiley, 2013. 770 p. v. 1. ISBN 978047050481.