

VALIDAÇÃO DE SOFTWARE DE DINÂMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD) PARA ESTUDO DO TEMPO DE SUCCÃO EM SISTEMAS DE TANQUES EM VÁCUO

Matheus Dirceu Ferronato¹
Rodrigo Konrath²

RESUMO

O artigo apresenta um método de calcular o tempo de sucção de um fluido, por meio de um software CFD, com dados previamente adquiridos, como capacidade volumétrica, circuito de passagem do fluido e dados de operação da bomba de um implemento agrícola utilizado para irrigação e adubação do solo, sendo popularmente conhecido como tanque distribuidor na área agrícola. O tanque distribuidor possui uma bomba rotativa de deslocamento positivo, conhecida como bomba a vácuo compressor. Utilizamos dados do fabricante da bomba e dados de projeto do reservatório com o intuito de descobrir se o software CFD consegue um resultado preciso para uma suposta efetuação do projeto. Após os resultados obtidos na simulação testamos um tanque distribuidor na realidade com as mesmas características para validarmos o estudo, mostrando a variação de tempo entre os dois testes. O estudo valida o uso de uma ferramenta, software CFD, que aprimorar projetos, realiza testes e mudanças nos mesmos ao vincular informações específicas da área da engenharia a um modelo 3D.

Palavras-chave: Tempo de sucção; Software CFD; Bomba a vácuo compressor

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Pinto e Brito (2010) para a correta forma do procedimento de irrigação do solo ser realizada, é necessário equipamentos, acessórios específicos para o trabalho e ainda outros dados importantes, sendo esses o volume a ser aplicado no plantio, a capacidade volumétrica do reservatório, precisão do funcionamento e a mobilidade em si. Esses são parâmetros que envolvem a atividade, dentro de muitos outros.

Os distribuidores de adubo líquido são a classe de implementos agrícolas mais utilizadas no seguimento de adubação do solo. Relacionado ao funcionamento dos tanques, o tempo para o preenchimento do fluido no reservatório é uma característica importante na construção do equipamento, pois demanda uma bomba que consiga gerar certas características, afim de succionar o fluido.

O tempo necessário para a sucção de um fluido, a capacidade volumétrica e o quanto ele consegue ejetar são aspectos importantes a quais os clientes buscam quando necessitam adquirir um equipamento para a função de irrigação.

¹ Graduando em Engenharia Mecânica (UCEFF, 2023). E-mail: matheusxxe@hotmail.com

² UCEFF Faculdades. Mestre em Física – E-mail:konrath@uceff.edu.br

Neste artigo, focaremos apenas no tempo de sucção, pressão, capacidade volumétrica e circuito de passagem do fluido para validação do estudo, contando que se uma bomba não consegue realizar a sucção, não preencherá o volume do tanque, sendo assim, não efetuará a aspersão do fluido.

Os benefícios desse estudo englobam uma série de possíveis alterações de projetos, caso a validação do software CFD seja aprovada, como modificar o circuito de passagem do fluido, escolher outras variações de bomba a vácuo compressor, incluindo outros modelos de bomba para o efetuar o trabalho que o equipamento proporciona, isso tudo, utilizando apenas informações de projetos e simulações realizadas dentro do software CFD. Sendo desnecessário adquirir todos os componentes, montar o equipamento e em seguida descobrir os dados de forma prática para depois adicionar ao catálogo e manual de instruções. Apesar de ser a maneira mais confiável, não permite uma variação de testes de diferentes circuitos e bombas de forma a amplificar o leque de escolhas para o projeto em sua manufatura.

Os tanques distribuidores são uma parte fundamental do processo de adubação do plantio, sendo assim, são muito utilizados nos setores agrícolas de nossa região. O artigo demonstrará um estudo que busca analisar um método de simulação para prever as características de trabalho do equipamento, a qual agregara diversas funções para a criação e alteração de projetos ligados a essa área. A pergunta consiste: **Os resultados obtidos durante os testes no software de simulação CFD, consistem com os dados adquiridos durante o teste prático?**

O objetivo do estudo sendo a validação do software, vai ser alcançado por meio de adquirir os resultados do simulador e comparar com os do teste prático, sendo esse último, o teste definitivo, a qual definirá a precisão do simulador.

O procedimento vai ser realizado por meio da montagem do volume e circuito a qual o fluido realizara seu percurso em software 3D e simular as condições a qual a bomba aplica quando está em funcionamento no modelo previamente descrito. Os dados aplicados foram adquiridos de acordo com especificações do fabricante.

Combinaremos os resultados com o de teste prático, realizado com um equipamento construído com as mesmas características a fim de determinar a precisão dos dados fornecidos pelo software.

A metodologia contida nesse artigo pode ser utilizada para aperfeiçoar sistemas similares à do que está em estudo, analisando os resultados obtidos durante os testes e utilizando diversas ferramentas contidas dentro do simulador para aperfeiçoar resultados e efetuar mudanças no projeto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo abordaremos os conceitos científicos relacionados aos objetos do estudo.

2.1 PRESSÃO

Segundo Pfeiffer (2013), pressão é uma relação entre força perpendicular e uniforme em uma determinada área de aplicação.

A fórmula a seguir demonstra essa ligação.

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

P – Pressão (Pa);

F – Força (N);

A – Área (m^2).

Na definição sobre vácuo, Moutinho *et al.* (1980), diz que o fenômeno é aferido a determinado volume quando sua densidade de partículas é menor do que a encontrada na atmosfera em pressão e temperatura consideradas normais.

Em um recipiente fechado as colisões entre as paredes do recipiente e as moléculas do gás que são devidas aos movimentos térmicos, geram a unidade chamada de pressão, que é igual em qualquer ponto do recipiente sem influências externas (Pfeiffer, 2013).

A pressão sempre tentará se igualar quando um ambiente de baixa pressão é conectado com um de alta, fazendo assim a transferência de moléculas para preencher o volume que está com pouca densidade de matéria, até que as pressões estejam em valores iguais. Resumindo a matéria será sugada pelo diferencial de pressão entre os dois espaços (Andersonprocess, 2021).

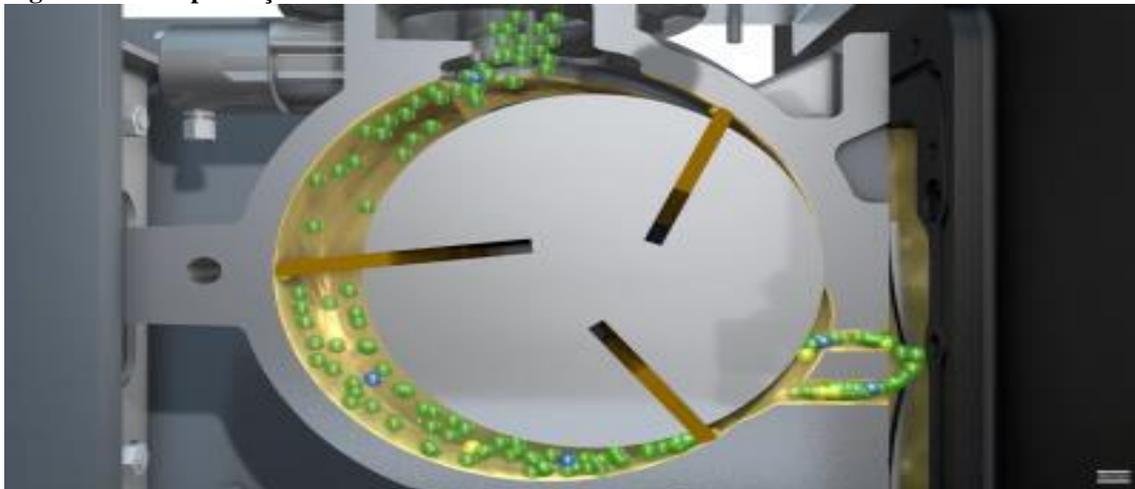
2.2 FUNCIONAMENTO DE UMA BOMBA A VÁCUO COM PALETAS

Bombas a vácuo são dispositivos mecânicos que realizam a operação de criar o vácuo em determinado volume, são capazes de atingir esse estado em um recipiente por forçar a exaustão das moléculas desse determinado espaço (Dvpbrasil, 2016).

O desenho de paletas rotatórias vedadas a óleo possui um rotor com paletas acopladas em vãos do mesmo, essas paletas se movem para dentro e fora do rotor devido a força centrífuga de movimento circular no rotor, o diâmetro interno da câmara da bomba é propositalmente feito

de forma com que o volume das áreas dentro da paleta se reduza ao se moverem por ela, assim o bombeamento é realizado, e o ar é jogado para o meio exterior (Andersonprocess, 2021).

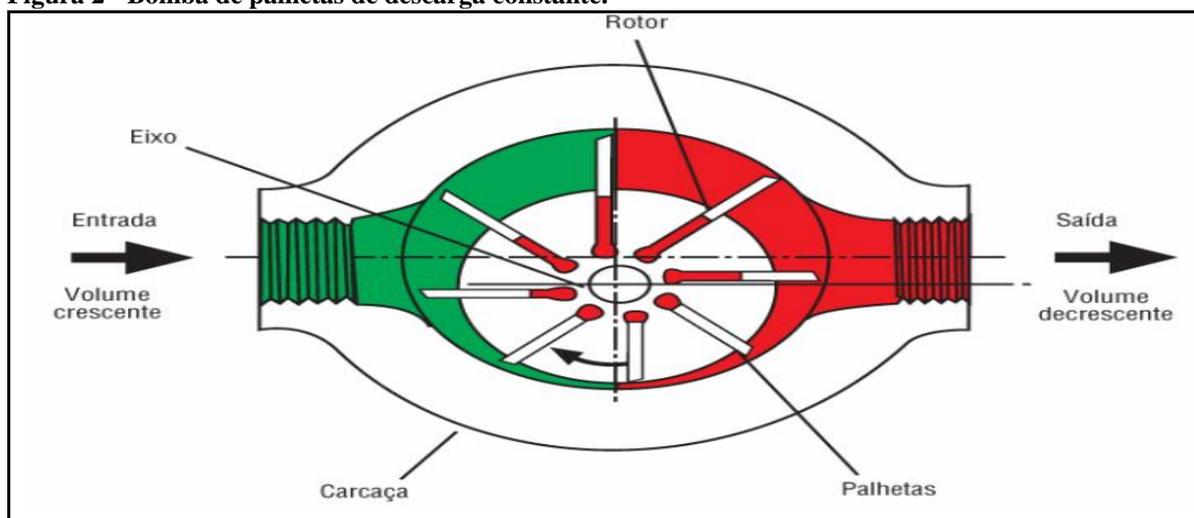
Figura 1 - Exemplificação do funcionamento interno da bomba.



Fonte: Anderson Process (2021).

As bombas com paletas possuem a característica de deslocamento positivo, a maneira como esse tipo de bomba funciona é em captar o gás de dentro do recipiente e mover pequenos volumes de gás isolado para a câmara principal da bomba e assim comprimir e expelir esses volumes para o exterior, sendo assim, ela trabalha também para expulsão do líquido via ar comprimido (Andersonprocess, 2021).

Figura 2 - Bomba de paletas de descarga constante.



Fonte: Parker (2009).

A energia que a bomba utiliza é mecânica, recebendo a transmissão por meio do seu eixo principal conectado a uma fonte primária, a qual gera energia por meio químico ou elétrico (Dvpbrasil, 2016).

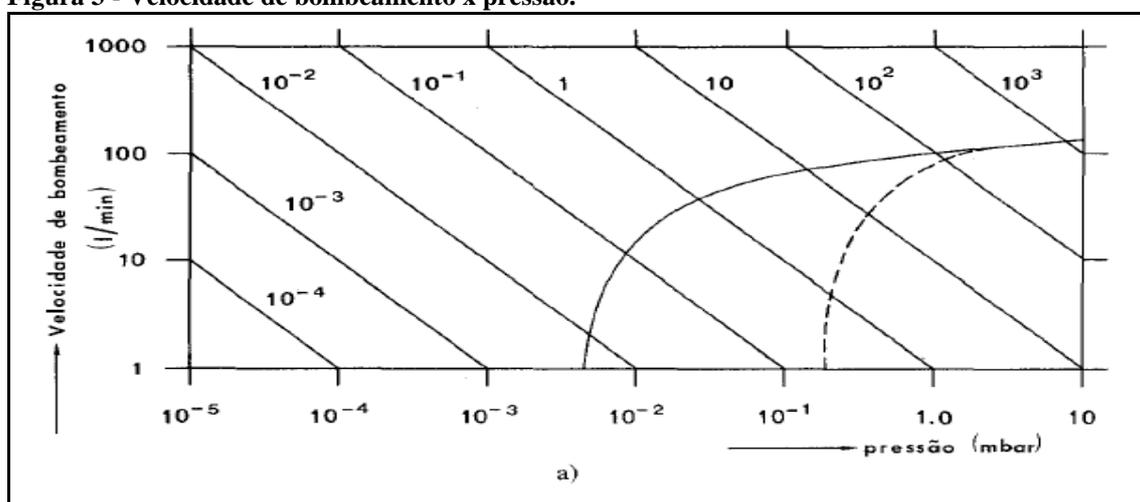
Nos ensinamentos de Moutinho *et al.* (1980), as bombas rotatórias não precisam de cuidados especiais quando estão em operação, a única advertência relatada e na questão do arranque para dar funcionamento ao rotor, a qual pelas condições iniciais, ainda estará sem calor e gerara uma quantidade de vácuo abaixo do esperado, na medida que o rotor aquece ele realiza a desgaseificação do óleo e a bomba passa a operar nas especificações.

2.3 PONTO DE OPERAÇÃO DAS BOMBAS ROTATIVAS

De acordo com Moutinho *et al.* (1980) bombas rotatórias possuem variações, podem ter um ou dois estágios, ser de palhetas rotatórios ou pistões entre inúmeras outras opções.

A operação da bomba é definida por sua curva de velocidade de bombeamento em função de sua pressão, uma medida comum para se expressar a velocidade de trabalho da bomba é em litros por minutos. A Figura 3, mostra um gráfico de uma bomba rotatória de paletas.

Figura 3 - Velocidade de bombeamento x pressão.



Fonte: Adaptado de Moutinho *et al.* (1980).

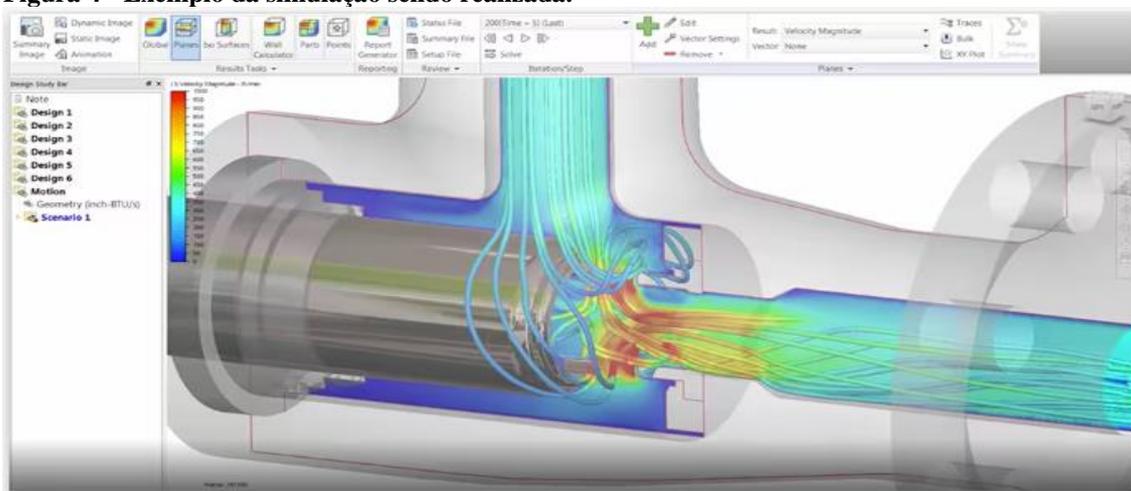
Seguindo, Silva (2021), bombas a vácuo compressor caracterizam-se por produzir uma variação no volume interno do recipiente o que acaba influenciando na pressão na qual o recipiente está sendo assim, se ligado com um ambiente externo acarretara na aspiração do fluido.

A vazão da bomba é proporcional ao tamanho volumétrico entre a voluta e o rotor, desconsiderando o volume das paletas e a velocidade a qual se movimenta o rotor.

2.4 INTRODUÇÃO AO METODO DE SIMULAÇÃO DE FLUIDOS

Computational fluid dynamics (CFD) ou dinâmica de fluidos computacional em português, é uma tecnologia computacional que permite por meio de cálculos e construção de um modelo 3D, aplicar a simulação de dinâmicas que apresentam escoamento com do fluxo do fluido, podendo assim fazer uma previsão de sua dinâmica de deslocamento (Rina Brasil Servicos Tecnicos Ltda, 2016).

Figura 4 - Exemplo da simulação sendo realizada.



Fonte: Autodesk (2020).

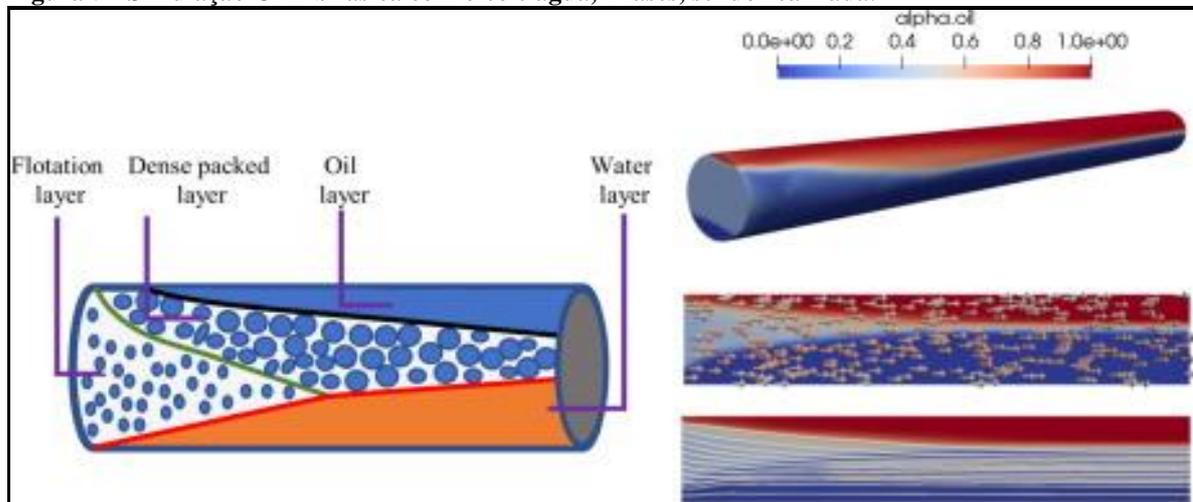
Segundo Rina brasil serviços técnicos Ltda (2016), alguns dos seus principais benefícios são a percepção e maior entendimento do sistema a ser estudado, pois em muitas máquinas não é possível analisar por exemplo um setor do equipamento funcionando, pois, sua desmontagem ou até mesmo corte de secção prejudicaria o fenômeno que está acontecendo.

Além da previsão, possui uma infinidade de testes que podem ser realizados, como teste de materiais ou mudança do comportamento do fluido e também sua propriedade, com a análise feita e seus resultados obtidos pode se até mesmo ter uma mudança no projeto beneficiando sua eficiência e reduzindo o seu custo final.

De acordo com Jles (2023), o método CFD é baseado nas leis fundamentais da mecânica, as quais regem equações de dinâmica dos fluidos e modelagem para solucionar o problema do teste físico. No momento em que é formulado, os recursos de computação usam

métodos numéricos para resolver os parâmetros selecionados e entregar os resultados a qual se define a pesquisa.

Figura 5 - Simulação CFD bifásica com óleo e água, 4 fases, sendo realizada.



Fonte: Sciencedirect (2023).

As simulações são baseadas no método de Navier-Stokes, usadas para descrever temperatura, pressão, velocidade e densidade de um fluido em movimento. A entrega de dados a quais se possam ser confiados dependem da fidelidade da modelação 3D e também caracterizar as incertezas a quais o estudo pode conter a fim de conciliar o máximo de informação possível para um melhor resultado (Jles, 2023)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este é um estudo de caso, de abordagem quantitativa. O equipamento estudado, representado pela Figura 6, será testado na cidade de Xanxerê, Santa Catarina.

Figura 6 - Equipamento para o teste do estudo.



Fonte: Autoria própria (2023).

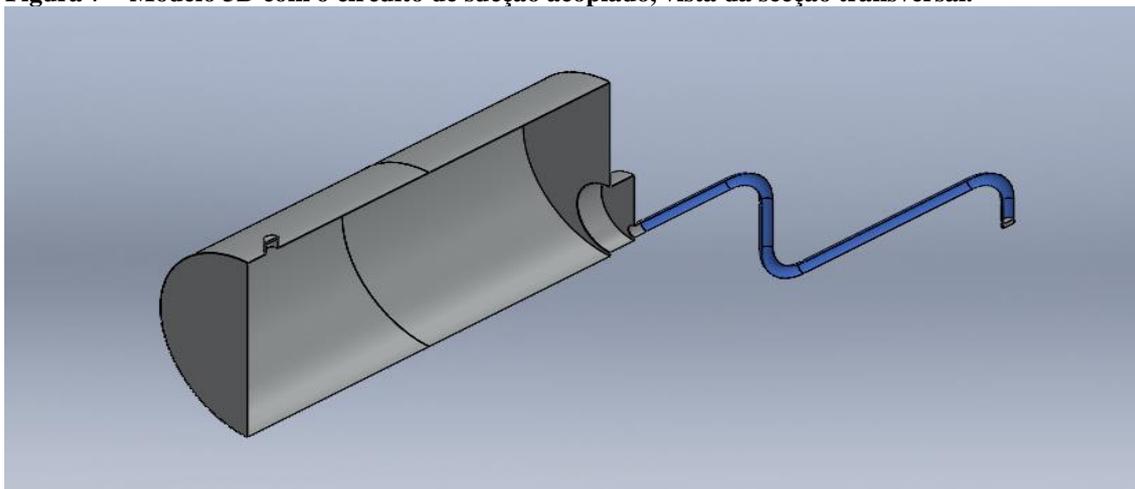
O objeto de análise desse estudo foi um implemento agrícola, da classe dos tanques distribuidores, podendo ser utilizado tanto para captação de água assim como outros fluidos.

O tanque em si é feito de aço carbono com baixa porcentagem do mesmo, chamado de aço doce, estrutura metálica feita com material laminado a quente e depois calandrado. É equipado com uma bomba a vácuo compressor, similar a apresentada nesse estudo e possui um armazenamento de 5.200l.

A bomba teve seu modelo e seu pontos de vácuo e pressão analisados. Com os seus dados coletados de acordo com teste feitos pelo fabricante, conseguimos os parâmetros para fazer a inserção dessas unidades no software de simulação.

A primeira etapa para realização do estudo quantitativo abordado nesse artigo, foi a construção do modelo no software 3D contendo todas as principais características do projeto como capacidade volumétrica, formato geométrico do tanque e circuito de sucção, com as devidas medidas aplicadas, sendo um modelo muito próximo do real quando comparado com o equipamento no teste real. A Figura 7 demonstra o modelo citado previamente, com um corte na secção transversal para vista do interior.

Figura 7 – Modelo 3D com o circuito de sucção acoplado, vista da secção transversal.



Fonte: Autoria própria (2023).

O circuito de sucção continha 8 metros no total, sendo 4 metros inseridos dentro do fluido, no desenho consta apenas os 4 metros que ficaram de fora, pois, o nível de água estará dentro da metade do mangote, sendo insignificante para o cálculo na simulação.

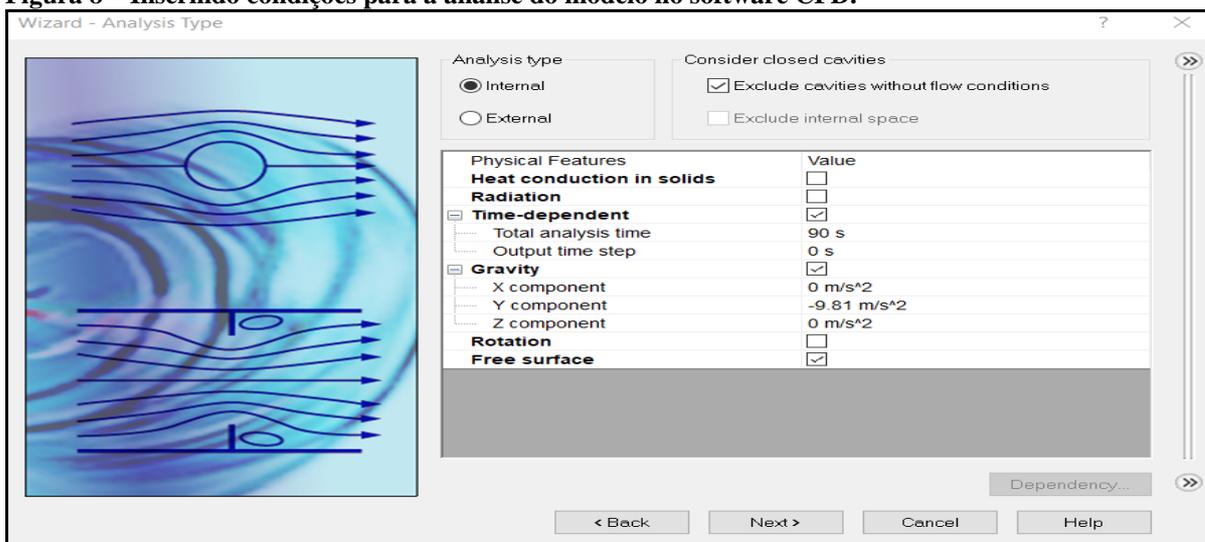
O circuito apresenta 3 metros na horizontal e 1 metro na vertical com 3 curvas no raio de 0,30 metros, sendo a dimensão do circuito de 0,1016 metros de diâmetro interno e 0,03 metros de parede, no material de PVC flexível junto com anéis de PVC rígido.

Na simulação foi acrescentado nos dados do projeto uma rugosidade básica do PVC comum, sendo a de $1,5 \mu\text{m}$. Em seguida fizemos a identificação das características da bomba em estudo, de acordo com o fabricante.

Os dados adquiridos são o de pressão 0,75 bar e vácuo a de -0,5 bar, na escala manométrica. Com os dados coletados, principalmente o de vácuo, já conseguimos inserir e simular no modelo, como o fluido se comportará, de acordo com o volume e condições já conhecidas pelo estudo.

Assim partimos para a inserção do modelo 3D no software de simulação CFD, na janela principal definimos os tipos de estudo que serão realizados. A Figura 8 demonstra como se faz a inserção dos parâmetros.

Figura 8 – Inserindo condições para a análise do modelo no software CFD.



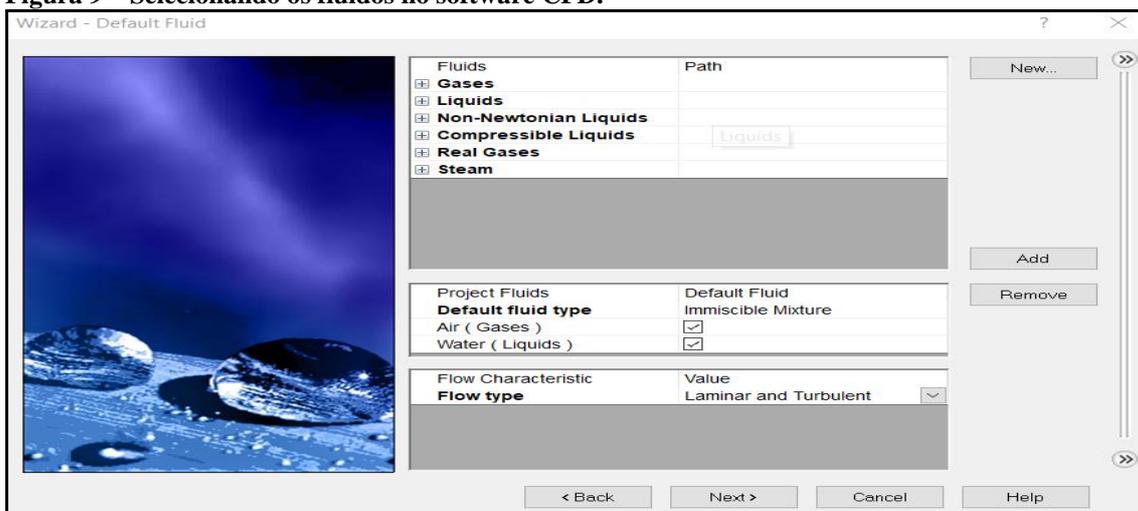
Fonte: Autoria própria (2023).

Selecionamos o tipo de análise como interna, como o nosso volume é considerado fechado e desejamos apenas que os fluidos percorram seu interior. Marcamos a opção de excluir qualquer cavidade que não tenha condições para a passagem do fluido.

Inserimos a força da gravidade, necessário para o cálculo, pois o nosso circuito contém passagens na vertical, sendo assim, foi inserida no eixo Y, a aceleração da gravidade negativa de $-9,81 \text{ m/s}^2$. Como o nosso cálculo apresenta dois fluidos a quais não se misturam, e apresentam a característica de se movimentar dentro de um mesmo volume, consideramos a opção marcada como *free surface*, a qual também habilita *time-dependent*, pois a interação entre os dois fluidos muda conforme a passagem do tempo.

Selecionamos um tempo computacional de cálculo de 90s sendo o necessário para adquirir o preenchimento de todo volume assim como também tirar o máximo de proveito da análise. Na próxima janela, efetuamos a seleção dos fluidos a quais participaram do estudo. A Figura 9 mostra como se dá a seleção,

Figura 9 – Selecionando os fluidos no software CFD.

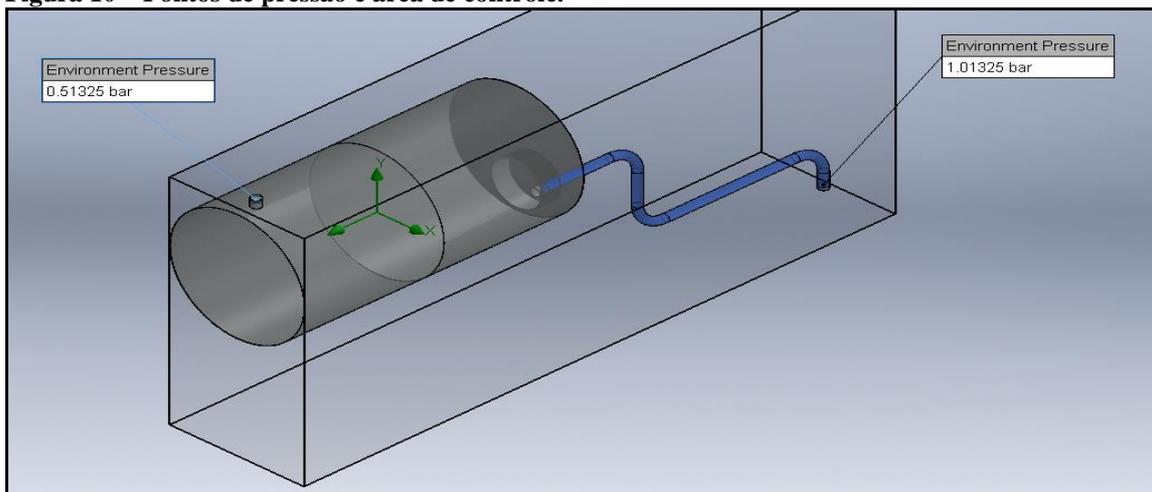


Fonte: Autoria própria (2023).

Selecionamos água e ar atmosférico, de acordo com a condição de fluidos que não se misturam. A opção de escoamento laminar e turbulento está habilitada, podendo ser escolhida a de preferência nas próximas etapas da simulação.

Assim já definimos grande parte das condições e métodos do nosso estudo, efetuamos uma área de controle dentro do modelo 3D e aplicamos os pontos de pressão a qual o volume estava em decorrer da pressão atmosférica e vácuo que a bomba gera. A Figura 10 representa os pontos e área de controle dentro do modelo 3D.

Figura 10 – Pontos de pressão e área de controle.



Fonte: Autoria própria (2023).

Como representado na imagem, a área de controle foi estabelecida, ela tem o propósito de restringir esse volume as equações necessárias para atingir os objetivos especificados na simulação.

De acordo com os dados do fabricante, a bomba concede uma pressão de vácuo de -0.5 bar. Como o programa lida apenas com pressão absoluta, realizamos o cálculo de pressão manométrica menos a atmosférica, resultando em 0,51325 bar.

É considerado que o ponto contém ar como substancia inicial, a 20°C com a medida de pressão especificada anteriormente, 0,51325 bar.

Selecionando o ponto acima do turbilhão, o simulador já define que o recipiente inicialmente está preenchido com ar a pressão estabelecida anteriormente.

Fazemos essa inserção para aplicar o vácuo que a bomba gera na parte final do mangote, a qual está em contato com a água.

Na pratica os pontos de pressão acontecem de maneira diferente, sendo o vácuo de 0,51325 bar acontecendo primeiramente no final do mangote, chegando a essa medida no ponto acima do turbilhão no final da sucção.

Mas de acordo com o modelo 3D desse projeto, a inserção de parâmetros se dá da maneira previamente mostrada, pois apenas temos dois pontos a quais são submetidos fluidos e pressão presentes nos próprios.

No ponto extremo inferior, contendo água como substancia inicial, a 20°C, foi inserida uma pressão de 1,01325 bar, sendo a pressão atmosférica. O fluido a fim de ser succionado a qual ainda não está presente no volume. Assim finalizamos a inserção do modelo e suas características na simulação, de acordo com as nas condições a qual o equipamento estará sujeito no teste prático.

No teste físico, utilizamos um contador de tempo, cronômetro, assim como um tacômetro para verificar se a bomba estava na rotação ideal para fornecer a pressão idealizada de acordo com as especificações do fabricante.

Outro acessório disponível foi o mano vacuômetro, uma válvula com relógio a qual consegue medir pressões negativas e positivas, a qual estava ligada no turbilhão do tanque, o sistema que injeta e retira ar do cilindro. A figura 7 demonstra o mano vacuômetro.

O tanque foi levado até uma área que continha o fluido a ser succionado, como um açude, foi posicionado de forma correta para que o seu mangote estivesse inserido no liquido, assim ligamos a partida do trator que conduziu ao eixo da bomba a sua rotação para que ela exercesse o trabalho.

Inserimos uma fita refletora na lateral do eixo, para que laser do tacômetro verificasse a contagem e informasse no display, o funcionamento simplesmente funciona por apontar o

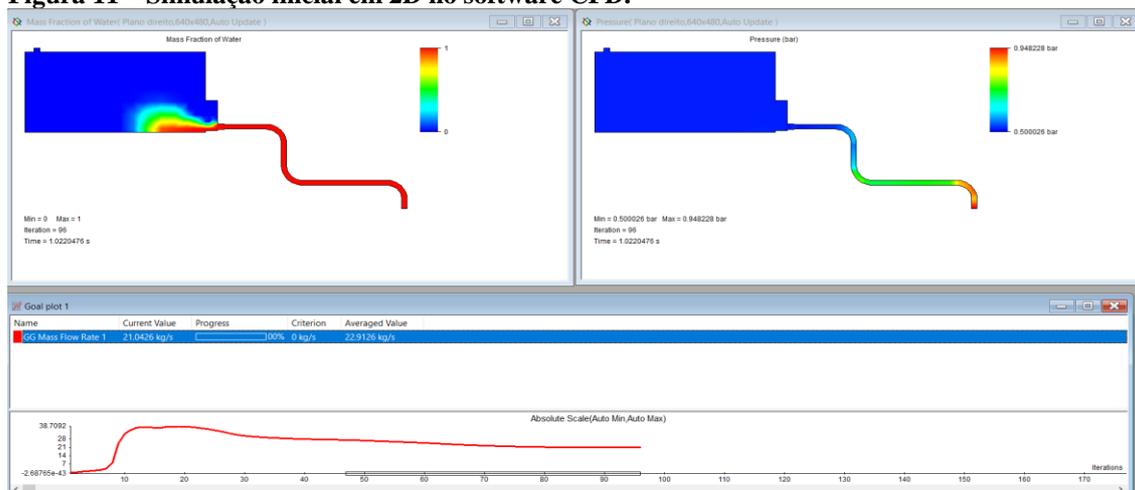
dispositivo móvel que é o tacômetro para a fita refletora, tivemos nossa leitura de RPM e assim a faixa de operação correta da bomba. A figura 8 representa o tacômetro utilizado.

Assim então iniciamos a contagem com um cronometro até que avistamos o liquido chegar ao topo do tanque por uma janela circular selada, e então foi feito a pausa da medição, com todos os dados necessários adquiridos, seguimos para a comparação com os dados do simulador.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A diferença de pressão efetua o deslocamento do fluido água, assim o critério necessário para o programa começar a realizar a simulação e de escolha do interesse desse estudo foi a vazão mássica, dado que nos providenciou a taxa em kg/s. A Figura 11 representa o estado de simulação inicial em 2D no software CFD

Figura 11 – Simulação inicial em 2D no software CFD.

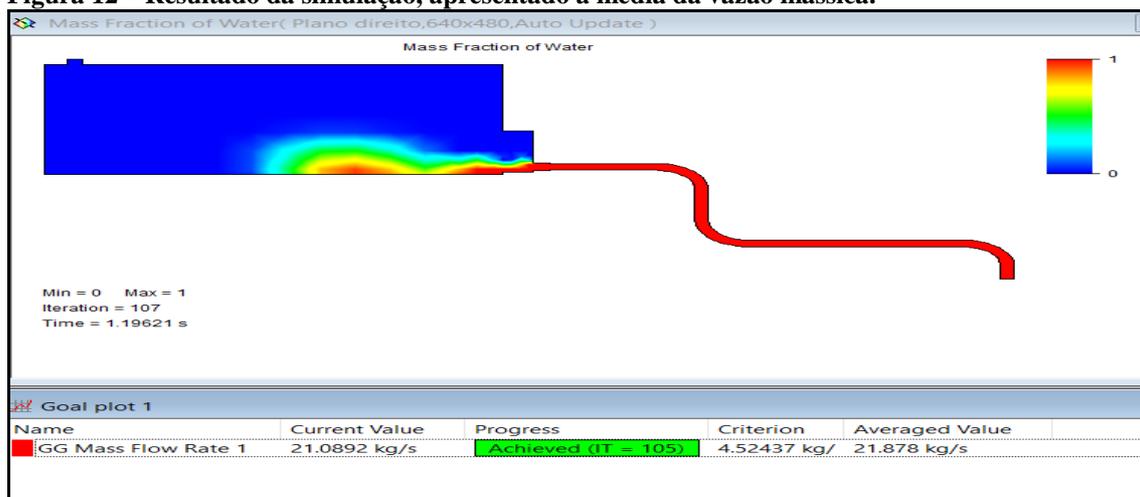


Fonte: Autoria própria (2023).

A figura contém duas representações da interação dos fluidos, sendo o representado na esquerda a massa de água adentrando o volume em vermelho e em azul a massa de ar sendo preenchida, vermelho para cheio e azul para vazio, 0 para ar e 1 para vermelho.

A representação da direita possui o estado da pressão no recipiente sendo vermelho para pressão atmosférica e azul para vácuo realizado pela bomba, 0,5 bar para o vácuo no recipiente e 0,95 bar para a pressão a qual o fluido conectado ao circuito está. A Figura 12 representa a imagem e resultado da vazão mássica.

Figura 12 – Resultado da simulação, apresentado a média da vazão mássica.



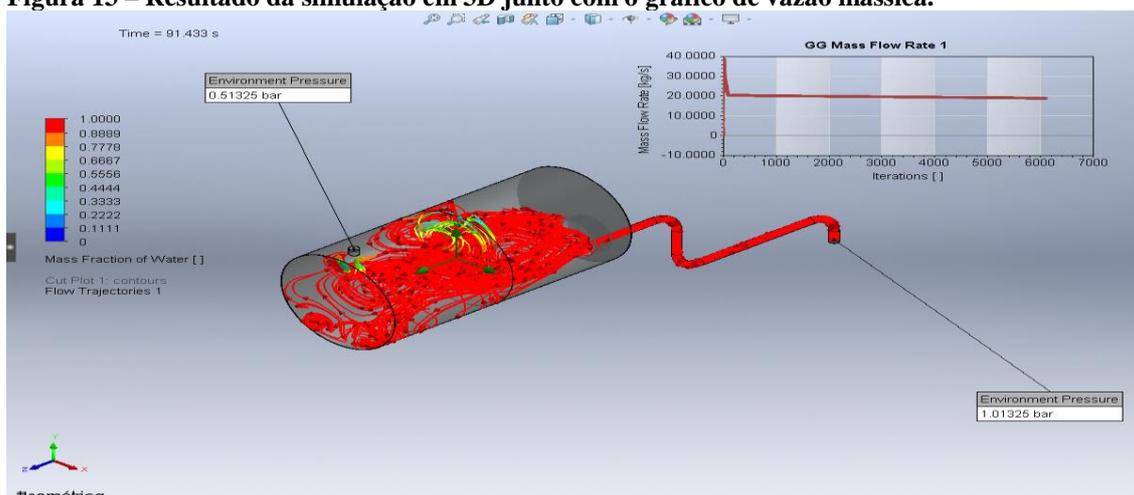
Fonte: Autoria própria (2023).

O dado final da vazão mássica foi de aproximadamente 22 kg/s de água, convertendo os resultados para litros por minuto, temos 1.320 l/min.

Assim considerando água a 20 graus Celsius e um volume interno de 5,2 m³ vamos ter uma massa de água de aproximadamente 5.190 kg: sendo succionada para dentro do tanque em cerca 3 minutos e 56 segundos de acordo com a simulação.

A Figura 13 representa os resultados obtidos na simulação em 3D junto com o gráfico de vazão mássica.

Figura 13 – Resultado da simulação em 3D junto com o gráfico de vazão mássica.



Fonte: Autoria própria (2023).

Com a simulação realizada e o resultado da mesma obtido, temos um dos dados de comparação do tempo de sucção para o estudo, sendo os dados da simulação com 3 minutos e 56 segundos.

Partimos então para o teste prático, para obter o tempo necessário para o preenchimento do tanque, sendo esse o teste definitivo para finalização do estudo.

Continuando para o teste prático, realizamos o transporte do maquinário até uma propriedade agrícola localizada aos arredores de Xanxerê – SC, a fim de encontrarmos um riacho a qual poderia ser utilizado para coletar água a temperatura e pressão ambientes.

Utilizamos um trator para realizar o posicionamento do tanque até o riacho e também para gerar a operação da bomba rotativa de paletas por meio de sua tomada de força. A Figura 14 demonstra o implemento agrícola tanque distribuidor acoplado com o trator utilizado para o estudo.

Figura 14 – Tanque distribuidor acoplado no trator utilizado no estudo.



Fonte: Autoria própria (2023).

No teste prático, após o correto posicionamento do maquinário no riacho, realizamos a inserção do mangote de 7 metros dentro da água, deixando 4 metros para fora, como está na simulação, devido ao terreno, o mangote teve uma curvatura diferente comparado com a simulação. A Figura 15 demonstra o posicionamento do mangote em relação ao riacho.

Figura 15 – Posicionamento do mangote dentro do riacho.



Fonte: Autoria própria (2023).

Logo após o posicionamento do mangote, realizamos o acoplamento do cardã na tomada de força do trator e no eixo da bomba, também inserimos uma fita reflexiva para ser utilizada em conjunto com o tacômetro, para a leitura da faixa de rpm. A Figura 16 demonstra o tacômetro realizando a leitura de rpm no eixo da bomba a vácuo.

Figura 16 – Tacômetro realizando a leitura do rpm no eixo da bomba.



Fonte: Autoria própria (2023).

Com a leitura do tacômetro, conseguimos um resultado de uma média de 115 rpm, estando de acordo com o solicitado pelo estudo.

Assim realizamos a leitura do mano vacuômetro, já que a bomba estava rotacionando na faixa correta de rpm, para analisar a medida de vácuo no ponto acima do turbilhão do equipamento, parte a qual contém as válvulas que possibilitam a abertura para sucção do ar no recipiente.

Para maior explicação da marcação, como o ar ainda estava sendo succionado para fora do tanque, nos estágios iniciais a marcação foi de 0 a $-0,1 \text{ kgf/cm}^2$ no momento em que a bomba foi ligada, passando gradativamente para $-0,5 \text{ kgf/cm}^2$ à medida que o ar era expelido para fora.

Sabendo que no ponto a qual o mangote estava em contato com a água, já continha o vácuo formado para succionar o fluido, de acordo com o especificado pelos dados da bomba, havendo essa diferença de acordo com os pontos selecionados e a proximidade do manovacuumômetro ao ponto a qual era feito o fluxo de retirada de ar do equipamento. A Figura 17 demonstra a pressão do vácuo em kgf/cm^2 ao final do estudo.

Figura 17 – Imagem contendo a faixa de vácuo no visor do manovacuumômetro.



Fonte: Autoria própria (2023).

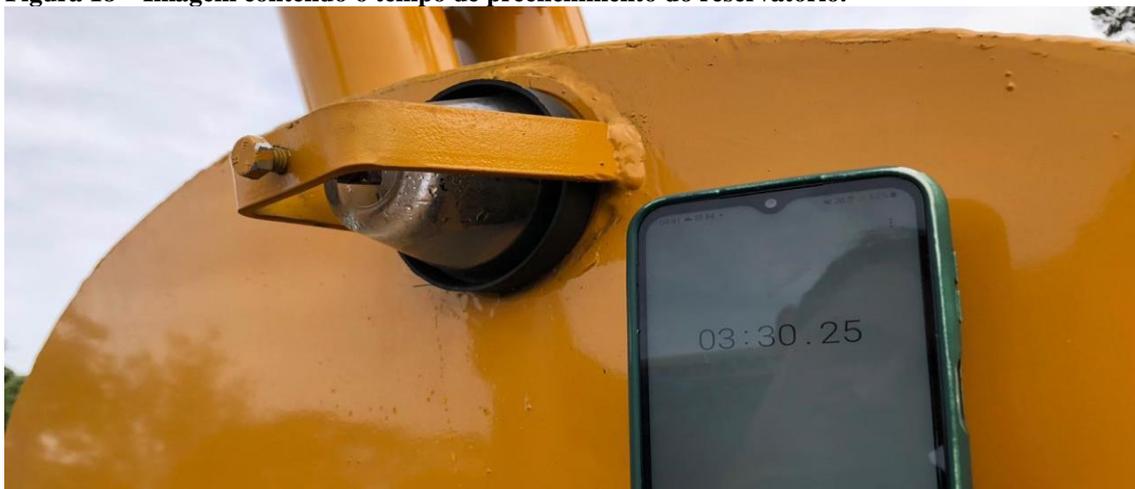
Realizando a inspeção do mesmo, conseguimos identificar que estava dentro dos parâmetros, alcançando os $-0,5 \text{ kgf/cm}^2$ determinados pelo fabricante.

Fazendo a conversão para verificar a medida e mantendo na unidade padrão do estudo temos que $-0,5 \text{ kgf/cm}^2$ são convertidos para $-0,49$ bar manométricos, uma diferença quase irrelevante para o estudo, beirando a proximidade entre as duas medidas.

Prosseguindo para a etapa final, previamente, deixamos um cronometro funcionando e verificamos o tempo de início de sucção, marcando o resultado de início para movimentação do fluido de aproximadamente 12 segundos, o resultado marcado na pausa do cronometro foi a 11,87 segundos.

Em seguida aguardamos o equipamento realizar a sucção do fluido até preencher o reservatório, quando avistamos o fluido alcançar o nível superior do reservatório a qual possui um visor para identificação, realizamos a pausa da medição. A Figura 18 demonstra o tempo de sucção até o reservatório ser preenchido totalmente.

Figura 18 – Imagem contendo o tempo de preenchimento do reservatório.



Fonte: Autoria própria (2023).

Os resultados finais apresentaram um tempo de início de sucção de aproximadamente 12 segundos e para preenchimento total do volume, um tempo de 3 minutos e 30 segundos, fazendo com que o ultimo tenha uma vazão mássica de aproximadamente 25 kg/s.

Realizando as comparações e tendo como foco o teste prático, já que o mesmo possui as informações do equipamento baseado nas condições reais a qual o mesmo está sujeito, percebemos que os dados obtidos pelo simulador beiram a proximidade com os resultados do teste prático.

Sendo assim realizamos a conclusão que o simulador pode sim ser utilizado para o setor de engenharia como um método de prever o funcionamento da bomba e do equipamento, levando em conta um faixa de erro que o mesmo está sujeito.

Verificando os dados finais, o tempo de sucção de acordo com o simulador foi o de 3 minutos e 56 segundos e a do teste prático o de 3 minutos e 30 segundos para sucção total. Uma vazão mássica levemente maior decorrendo de fatores a qual influenciam o método que a simulação está sendo realizada e também que o circuito estipulado na simulação foi a de uso convencional, tendo diferenças de inclinação no teste prático.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os parâmetros e resultados obtidos durante todo o estudo, envolvendo as principais partes, como a efetuação da simulação e a conciliação dos dados adquiridos durante o teste prático, chegamos à conclusão que o software CFD pode ser utilizado de maneira ampla nos projetos e também em modificações do próprio e consiste com os dados do teste prático, atingindo resultados de acordo com esse artigo de 3 minutos e 56 segundos de tempo de sucção

para o simulador e 3 minutos e 30 segundos para o teste prático, validando o simulador para uso em campo, com uma pequena faixa de erro que pode ser mitigada por meio de outros cálculos, tornando a aceitável.

A principal dificuldade do software consiste que em certas soluções de problemas mais complexos, não conseguimos ter uma faixa de precisão alta, deixando a efetuação dos cálculos de maneira insegura. Um exemplo, foi a de inserir uma função de pressão em relação ao tempo no ponto de sucção dentro do reservatório do equipamento, para simular as condições iniciais de uso do mesmo.

O resultado variou no início se estabilizando no decorrer da simulação, assim concluímos que a resolução poderia estar comprometida, quando o problema foi dividido em dois e realizado de maneira individual, o software apresentou resultados que condiziam com o esperado do começo ao fim.

Partindo desse princípio, consideramos que a correta forma de utilizar a simulação consiste em separar os problemas e realizar simulações mais simples e após isso, juntar os resultados, dessa maneira conseguimos extrair o máximo de proveito do software com alta taxa de precisão.

Com as principais características da simulação sendo apresentados no artigo e com a gama possível de seleção de parâmetros, novos estudos podem ser realizados em função de problemas que precisam ser solucionados com critérios definitivos e de forma científica, deixando assim uma ampla margem de possibilidades para continuação do estudo.

REFERÊNCIAS

ANDERSONPROCESS (United States). **How do Vacuum Pumps Work?**. [S. l.], 12 abr. 2021. Disponível em: <https://www.andersonprocess.com/how-do-vacuum-pumps-work/>. Acesso em: 24 mar. 2023.

DVPBRASIL (Brasil). **Bombas de Vácuo, qual a sua função e aplicação?**. Campinas/SP, 7 abr. 2016. Disponível em: <https://www.dvpbrasil.com.br/single-post/2016/04/07/bombas-de-v%C3%A1cuo-qual-a-sua-fun%C3%A7%C3%A3o-e-aplica%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 24 mar. 2023.

JLES. **O que é simulação CFD?**. [S. l.], 7 dez. 2021. Disponível em: <https://www.jles.com.br/2021/07/07/simulacao-cfd/>. Acesso em: 15 dez. 2023.

MOUTINHO, Augusto M. C.; SILVA, Maria Eugénia S. Fronteira; CUNHA, Maria Áurea C. M. Isidoro. **Tecnologia de Vácuo**. 1. ed. Petrolina, PE: Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia., 1980. Disponível em:

<https://dokumen.tips/documents/livro-tecnologia-de-vacuo.html?page=3>. Acesso em: 15 dez. 2023.

PFEIFFER (Germany). **The Vacuum Technology Book: volume II**. Mudersbach, Germany: [s. n.], 2013. 140 p. v. 2. Disponível em: <https://www.norm.gr/documents/Vacuum-Technology-Book-II-Part-2.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2023.

PINTO, José Maria; BRITO, Ricardo Augusto Lopes. **Equipamentos para aplicação de fertilizantes via irrigação**. Petrolina, PE: Embrapa, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/879740/1/JoseMaria.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2023.

RINA BRASIL SERVICOS TECNICOS LTDA (São Paulo). **CFD (Computational Fluid Dynamics)**. [S. l.], 2016. Disponível em: [https://www.rinabrasil.com.br/nossos-servi%C3%A7os/classifica%C3%A7%C3%A3o/consultoria-t%C3%A9cnica-naval/estruturas-estabilidade-hidrodin%C3%A2mica/cfd-\(computational-fluid-dynamic\)](https://www.rinabrasil.com.br/nossos-servi%C3%A7os/classifica%C3%A7%C3%A3o/consultoria-t%C3%A9cnica-naval/estruturas-estabilidade-hidrodin%C3%A2mica/cfd-(computational-fluid-dynamic)). Acesso em: 9 jun. 2023.

SILVA, Leandro Cardoso da. **Hidráulica e pneumática**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/501700229/Aula-04-HP-Bombas-hidraulicas>. Acesso em: 9 jun. 2023.