



INSTITUTUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Jean Rosa Oliveira

DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO MÓVEL PARA
DIMENSIONAMENTO DE UNIDADES HIDRÁULICAS

TERESINA
2021

Jean Rosa Oliveira

DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO MÓVEL PARA
DIMENSIONAMENTO DE UNIDADES HIDRÁULICAS

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Engenharia Mecânica do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí. Campus Teresina-Central.

Orientador: Prof. Me. Ricardo Cardoso Soares

TERESINA
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Oliveira, Jean Rosa

O48d Desenvolvimento de um aplicativo móvel para dimensionamento de unidades hidráulicas / Jean Rosa Oliveira. - 2021.
62 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica)
- Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, 2021.

Orientador : Prof. Me. Ricardo Cardoso Soares.

1. Unidade hidráulica. 2. Dimensionamento. 3. Aplicativo. I. Título.

CDD - 620

Elaborado por Sindya Santos Melo CRB 3/1085

Jean Rosa Oliveira

DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO MÓVEL PARA
DIMENSIONAMENTO DE UNIDADES HIDRÁULICAS

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Engenharia Mecânica do
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Piauí. Campus Teresina-Central.

Aprovada em: 06 / 07 / 2021.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Me. **Ricardo Cardoso Soares**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí

Orientador

Prof. Me. **Edivaldo Feitosa Pereira**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí

Avaliador

Prof. Me. **Gustavo Portela de Deus**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí

Avaliador

A minha família, que sempre se fez presente e me incentivou nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

Agradeço à toda minha família, especialmente aos meus pais, Francisca Ivoneide de Oliveira e Josenias Rosa Oliveira, que me ensinaram os valores importantes da vida e por sempre estarem ao meu lado me apoiando ao longo de toda a minha trajetória.

Ao Instituto Federal do Piauí, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso. À equipe IFPI BAJA, onde tive o primeiro contato com projetos e o imenso prazer de participar como membro de suspensão.

Aos meus colegas de curso, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida. Em especial aos meus amigos Ana Carolina, Bruno Cláudio, Caio Santos, Erbert Barbosa, Giórgio Moraes, Guilherme Costa, José Guilherme, Joselito Lima, Lucas Matheus e Werllan Nascimento, pelos inúmeros conselhos, frases de motivação e puxões de orelha. As risadas, que vocês compartilharam comigo fizeram toda a diferença. Minha eterna gratidão.

Também sou grato a todos os professores que contribuíam com minha trajetória acadêmica, especialmente ao Prof. Me. Ricardo Cardoso Soares, responsável pela orientação do meu projeto. Obrigado por esclarecer tantas dúvidas e ser tão atencioso e paciente.

“Tudo o que um sonho precisa para ser realizado é
alguém que acredite que ele possa ser realizado”.

Roberto Shinyashiki

RESUMO

A tecnologia voltada para os dispositivos moveis vêm proporcionando além de uma grande capacidade de processamento, diversos recursos semelhantes a de um computador, com isso, várias funcionalidades se tornaram disponíveis de uma forma bem mais prática e acessível, movimentando assim o mercado de desenvolvimento de aplicativos móveis. No contexto da engenharia, essas aplicações contribuem para a redução de erros sistemáticos e maior agilidade para solução de problemas técnicos. A hidráulica é uma das ciências mais antigas que se tem conhecimento e ainda assim, nos dias atuais vêm se adaptando, evoluindo e está presente em praticamente todos os setores da indústria, ganhando cada vez mais espaço na transmissão de movimento e multiplicação de forças. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos móveis Android e iOS, a partir de uma mesma base de código, produzido em uma biblioteca JavaScript, com a finalidade de dimensionar uma unidade hidráulica. O aplicativo contará com telas intuitivas, em que o usuário será responsável por informar os dados de entrada de acordo com suas necessidades, simulando diferentes configurações a fim de dimensionar os principais componentes do sistema e receber dados úteis para seleção comercial dos mesmos. Para avaliação do App, foram abordados dois estudos de casos referentes ao dimensionamento de unidades hidráulicas para finalidades específicas. O aplicativo apresentou confiabilidades acima de 96% quando comparado seus resultados aos obtidos nos casos analisados, estando em conformidade com o esperado.

Palavras-chave: Unidade Hidráulica, Dimensionamento, Aplicativo.

ABSTRACT

The technology aimed at mobile devices has provided, in addition to a large processing capacity, several features similar to those of a computer, with this, several features have become available in a much more practical and accessible way, thus moving the application development market furniture. In the engineering context, these applications contribute to the reduction of systematic errors and greater agility in solving technical problems. Hydraulics is one of the oldest sciences that is known and yet, nowadays it has been adapting, evolving and is present in practically all sectors of the industry, gaining more and more space in the transmission of movement and multiplication of forces. Thus, this work aims to develop an application for Android and iOS mobile devices, from the same code base, produced in a JavaScript library, in order to scale a hydraulic unit. The application will have intuitive screens in which the user will be responsible for informing the input data according to their needs, simulating different configurations in order to dimension the main components of the system and receive useful data for their commercial selection. To evaluate the App, two case studies were addressed regarding the sizing of hydraulic units for specific purposes. The application presented reliability above 96% when comparing its results to those obtained in the analyzed cases, being in accordance with expectations.

Keywords: Hydraulic Unit, Dimensioning, Application.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Abordagem tradicional	22
Figura 2 - Abordagem do React Native	22
Figura 3 - Desenvolvimento sem e com o Expo.	23
Figura 4 - Sistema hidráulico genérico.	25
Figura 5 - Bomba de engrenamento externo.	27
Figura 6 - Bomba de parafusos.	28
Figura 7 - Bomba de palhetas.	29
Figura 8 - Bomba de pistões radiais.	30
Figura 9 - Simbologia de uma válvula de controle direcional.	31
Figura 10 - Simbologia de uma válvula de controle de fluxo	32
Figura 11 - Válvula de bloqueio ou retenção	33
Figura 12 - Comprimento de flambagem de coluna para várias condições de extremidade; (a) uma extremidade livre e outra fixa; (b) duas extremidades articuladas; (c) uma extremidade articulada e outra fixa; (d) duas extremidades fixas.	34
Figura 13 - Movimentação de uma carga por um motor hidráulico.	37
Figura 14 - Tipos de fluxo.	39
Figura 15 - Reservatório prismático.	42
Figura 16 - Fluxograma das informações iniciais do sistema hidráulico.	44
Figura 17 - Fluxograma do dimensionamento do cilindro hidráulico.	45
Figura 18 - Fluxograma do dimensionamento do motor hidráulico.	46
Figura 19 - Fluxograma para determinação da perda de carga menor	46
Figura 20 - Fluxograma do dimensionamento da tubulação.	47
Figura 21 - Fluxograma do dimensionamento da bomba hidráulica.	48
Figura 22 - Fluxograma do dimensionamento do reservatório.	49
Figura 23 - Tela inicial da aplicação.	51
Figura 24 - Tela de preenchimento; (a) posição inicial da tela; (b) continuação da tela após rolagem.	51
Figura 25 - Janela para indicação da classificação do sistema.	52
Figura 26 - Tela de resultados do dimensionamento da unidade hidráulica; (a) posição inicial da tela; (b) posição após pequena rolagem mostrando as especificações dos motores.	53

Figura 27 - Demais resultados do dimensionamento da unidade hidráulica; (a) especificação das linhas; (b) especificações da bomba; (c) especificações do reservatório.	54
Figura 28 - Ampliação dos gráficos; (a) Diâmetro x força; (b) Torque x carga.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos sistemas segundo a NFPA.	24
Tabela 2 - Faixas de valores para bombas hidrostáticas.	30
Tabela 3 - Diâmetros de cilindros comerciais.	35
Tabela 4 - Dados motor hidráulico serie TE.	38
Tabela 5 - Limites de escoamento para Reynolds.	39
Tabela 6 - Velocidades recomendadas.	40
Tabela 7 - Diâmetros das mangueiras Parker.	41
Tabela 8 - Diâmetros das mangueiras Transpower.	41
Tabela 9 - Relação entre rotação da bomba e classificação do sistema.	48
Tabela 10 - Dados de entrada utilizados por Vale (2017).	56
Tabela 11 - Dados de resultados comparativos do estudo de caso 1.	57
Tabela 12 - Dados de entrada utilizados por Michael (2013).	58
Tabela 13 - Dados de resultados comparativos do estudo de caso 2.	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

App	Aplicativo móvel
IFPI	Instituto Federal do Piauí
ISO	International Organization for Standardization
NFPA	National Fluid Power Association
SAE	Society of Automobile Engineers
SO	Sistema Operacional

LISTA DE SÍMBOLOS

$\varnothing$	Diâmetro
λ	Comprimento livre de flambagem
η_v	Rendimento volumétrico
η_{mh}	Rendimento mecânico – hidráulico
ν	Viscosidade do fluido
Ψ	Fator de atrito
ρ	Massa específica do fluido
ΔP	Perda de carga na linha de pressão
ΔP_m	Perda de carga menor
ΔP_t	Perda de carga total
Δt_a	Tempo de avanço
Δt_r	Tempo de retorno
ΔS	Curso do pistão
d_t	Diâmetro da tubulação
d_{tc}	Diâmetro da tubulação comercial
d_{tp}	Diâmetro da tubulação de pressão
d_{tr}	Diâmetro da tubulação de retorno
d_{ts}	Diâmetro da tubulação de sucção
D_p	Diâmetro do pistão
D_{pc}	Diâmetro do pistão comercial
D_h	Diâmetro da haste
D_{hc}	Diâmetro da haste comercial
E	Módulo de elasticidade do material
F	Força gerada pela carga
F_a	Força de avanço
K	Coeficiente de troca térmica
L	Dimensão do reservatório
M_t	Momento de torção
n	Rotação da bomba ou do motor elétrico
N	Rotação do motor hidráulico
P	Pressão na linha de pressão

P_{ot}	Potência absorvida
P_{ot_m}	Potência de saída do motor hidráulico
$P_{T_{maior}}$	Pressão do atuador mais solicitado quanto a pressão
P_b	Pressão da bomba
P_n	Pressão nominal
$P_{sis.}$	Pressão do sistema
P_{te}	Pressão de trabalho estimada
q_n	Carga térmica gerada pelo sistema hidráulico
q_{tc}	Carga térmica dissipada pelo trocador de calor
q_r	Carga térmica dissipada pelo reservatório
Q_a	Vazão de avanço
Q_b	Vazão da bomba hidráulica
Q_{ia}	Vazão induzida de avanço
Q_{ir}	Vazão induzida de retorno
Q_m	Vazão do motor hidráulico
Q_r	Vazão de retorno
$Q_{Atua.}$	Vazão dos atuadores
R	Raio da polia do motor hidráulico
R_e	Número de Reynolds
R_{ep}	Número de Reynolds na linha de pressão
R_{er}	Número de Reynolds na linha de retorno
R_{es}	Número de Reynolds na linha de sucção
S	Coeficiente de segurança
SR	Superfície de troca térmica
T_1	Temperatura ambiente
T_2	Temperatura do fluido a ser mantida
v	Velocidade de deslocamento da carga
v_a	Velocidade de avanço
v_l	Velocidade do fluido
v_r	Velocidade de retorno
VR	Volume do reservatório
V_g	Volume de absorção

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	18
1.1.	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	18
1.2.	OBJETIVO GERAL	19
1.3.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.4.	JUSTIFICATIVA	19
1.5.	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1.	LINGUAGEM JAVASCRIPT	21
2.1.1.	React Native	22
2.1.2.	Expo	23
2.2.	SISTEMAS HIDRÁULICOS	24
2.3.	GRUPO DE GERAÇÃO	25
2.3.1.	Dimensionamento da bomba	26
2.3.2.	Tipos de bombas	27
2.3.3.	Faixa de seleção	30
2.4.	GRUPO DE CONTROLE	31
2.4.1.	Válvula de controle direcional	31
2.4.2.	Valvula de controle de fluxo	32
2.4.3.	Valvula de retenção	32
2.5.	GRUPO DE ATUAÇÃO	33
2.5.1.	Dimensionamento do cilindro	33
2.5.2.	Dimensionamento do motor	37
2.6.	GRUPO DE LIGAÇÃO	38
2.6.1.	Escoamento interno	39
2.6.2.	Dimensionamento das tubulações	40
2.6.3.	Perda de carga	41

2.6.4.	Dimensionamento do reservatório	42
3.	METODOLOGIA	44
3.1.	INFORMAÇÕES DO SISTEMA HIDRÁULICO	44
3.2.	DIMENSIONAMENTO DO CILINDRO HIDRÁULICO	44
3.3.	DIMENSIONAMENTO DO MOTOR HIDRÁULICO	45
3.4.	VÁLVULAS DO SISTEMA	46
3.5.	DIMENSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO	46
3.6.	DIMENSIONAMENTO DA BOMBA HIDRÁULICA	47
3.7.	DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO	48
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1.	APLICATIVO HYDRAULIC UNIT	50
4.2.	ANÁLISE COMPARATIVA	56
4.2.1.	Estudo de caso 1	56
4.2.2.	Estudo de caso 2	58
5.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	60
5.1.	CONCLUSÕES	60
5.2.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	60
	REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um aplicativo móvel para o dimensionamento de unidades hidráulicas, visando analisar os principais componentes que compõem o sistema e oferecer informações úteis para sua seleção comercial. Para isso, o estudo apresenta um levantamento bibliográfico de métodos para o dimensionamento de sistemas hidráulicos, em que cada componente abordado será calculado de forma individual a partir de informações de entrada ou do meio. A metodologia adotada visa a construção de um fluxo de dimensionamento que pode ser reproduzida e aplicada em diferentes situações ou linguagens.

1.1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A hidráulica é uma das ciências mais antigas e que nos dias atuais vem se adaptando, evoluindo e está presente em praticamente todos os setores da indústria. Embora muitos estudos venham sendo desenvolvidos acerca da hidráulica industrial, poucos buscam alinhar esse conhecimento a criação de rotinas para dimensionamentos de sistemas hidráulicos. Quando se trata sobre aplicativos para dispositivos móveis para tais dimensionamentos, são encontrados nas lojas desses, somente aplicações que realizam a determinação de componentes de forma isolada não fazendo relações entre os demais elementos do sistema e que, em alguns casos, utilizam de uma abordagem que se distancia da realidade de projetos hidráulicos.

Os avanços tecnológicos nos dispositivos móveis vêm proporcionando um crescimento contínuo na acessibilidade, comodidade e troca de informações cada vez mais rápidas, essas características alinhadas a uma enorme praticidade e recursos semelhantes a de um computador convencional, tornam, cada vez mais, os smartphones presentes no cotidiano das pessoas e viabilizam o uso de diversos aplicativos com distintas finalidades. No contexto da engenharia, a utilização desses aplicativos tem possibilitado a redução de erros sistemáticos e maior agilidade para solução de problemas técnicos.

Com base no exposto problema, o propósito final deste trabalho visa a criação de um aplicativo para dispositivos móveis capaz de dimensionar unidades hidráulicas realizando o dimensionamento individual dos componentes, mas atribuindo características do sistema como um todo a esse processo.

1.2. OBJETIVO GERAL

Elaborar um aplicativo para dispositivos móveis, de modo a dimensionar uma unidade hidráulica através da determinação de dados úteis para a seleção dos principais componentes que a compreende.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar as informações necessárias ao projeto de sistemas hidráulicos;
- Desenvolver uma metodologia para o dimensionamento de unidades hidráulicas através da codificação em linguagem JavaScript;
- Criar um aplicativo que seja intuitivo e de fácil utilização por estudantes e profissionais da área;
- Avaliar o aplicativo por meio de uma análise comparativa com estudos de caso.

1.4. JUSTIFICATIVA

A motivação deste trabalho surgiu da grande evolução ocorrida no desenvolvimento de aplicativos moveis, tornando atividades que antes eram necessárias tempo e recursos consideráveis, serem resolvidas de forma rápida e acessível. Este trabalho também visa preencher a lacuna constatada no universo mobile para unidades hidráulicas; em que não foram encontrados aplicativos que abordassem essas características e finalidades no dimensionamento do sistema.

Além disso, espera-se que essa pesquisa auxilie estudantes e profissionais da área no entendimento e resolução de problemas, e que possa proporcionar uma inspiração para criação de novos vínculos entre conceitos de engenharia alinhados ao desenvolvimento de aplicativos móveis.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente pesquisa foi dividida em 5 capítulos. O capítulo inicial descreve uma breve apresentação do estudo abordado ao longo do trabalho, expondo problemática, objetivos e justificativa.

O capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica acerca da linguagem JavaScript e do dimensionamento dos principais componentes de sistemas hidráulicos, definindo equações e características próprias para cada elemento.

Os detalhes dos procedimentos adotados para o dimensionamento de unidades hidráulicas são encontrados no capítulo 3, onde são organizadas as informações do capítulo anterior e definidos fluxos de desenvolvimento.

O capítulo 4 apresenta os resultados e discussões acerca do que foi proposto. Esse capítulo foi dividido em duas partes. A primeira diz respeito ao aplicativo desenvolvido, discorrendo informações de uso e resultados obtidos. Já o último mostra a validação dos resultados do aplicativo através de análises em estudos de caso.

Por último, o capítulo 5 refere-se as conclusões, a respeito dos resultados apresentados, e ao levantamento de sugestões para os trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A linguagem JavaScript é abordada mostrando suas principais características e ferramentas úteis no desenvolvimento de aplicativos.

O dimensionamento de sistemas hidráulicos envolve inicialmente um estudo a respeito dos componentes que fazem parte desse conjunto identificando relações entre eles, características de funcionamento e todo equacionamento para sua determinação e posterior seleção. Grande parte das informações coletadas para o dimensionamento de unidades hidráulicas baseou-se nos métodos elaborados por Fialho (2007), que sugere o dimensionamento individual de cada componente que compõe o sistema.

2.1. LINGUAGEM JAVASCRIPT

JavaScript é uma linguagem de programação de propósito geral, dinâmica e possui características do paradigma de orientação a objetos. Ela é capaz de realizar virtualmente qualquer tipo de aplicação. Permite criar pequenos programas embutidos no próprio código de uma página HTML e capazes de gerar números, processar alguns dados, verificar formulários, alterar valor de elementos HTML e criar elementos HTML (GRILLO, 2008).

Essa linguagem possui uma sintaxe semelhante a outras linguagens como C, C++ e Java. A diferença principal, em relação a estas linguagens, é o fato desta ser uma linguagem de programação que não possui uma definição forte nos tipos. As estruturas sintáticas comuns em linguagens de programação imperativas são muito semelhantes às linguagens supracitadas, citando, por exemplo, as estruturas de repetição e loop (for e while), condicionais (if e switch), operadores (+, -, *, /, =, ==, !=, & e |) e outras estruturas (BRITO, 2013).

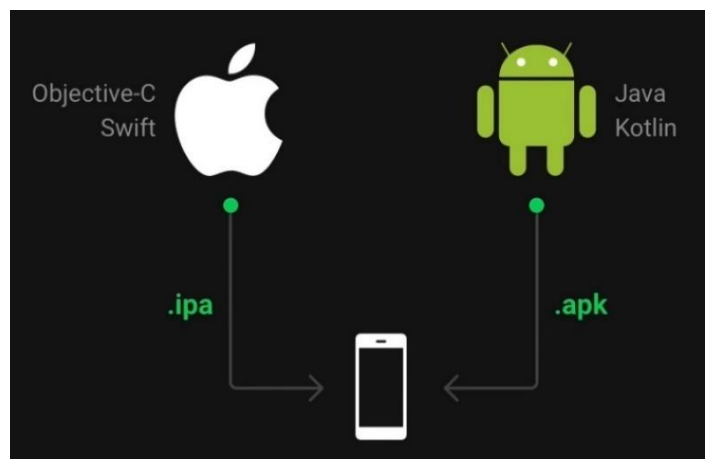
Segundo Silva (2015), o JavaScript já transcendeu os navegadores e agora permite fazer virtualmente qualquer software que se possa imaginar, inclusive aplicativos para smartphones. Todos os sistemas operacionais móveis disponíveis no mercado suportam JavaScript, sendo possível construir aplicativos para Android, iOS, Windows Phone. A vantagem aqui é que geralmente é mais fácil desenvolver aplicativos compatíveis com todas as aplicações, ao contrário do desenvolvimento com linguagens nativas, que limita as opções ao SO de origem (Java, Swift, etc.).

2.1.1. React Native

Criado pelo Facebook em 2015, O React Native é um framework JavaScript para criação de aplicações nativas para dispositivos *mobile*. É um projeto *open-source* que têm como abordagem “aprenda uma vez, escreva em qualquer lugar”, o React Native possibilita a criação de aplicativos para Android e iOS com a mesma base de código (DANIELSSON, 2016).

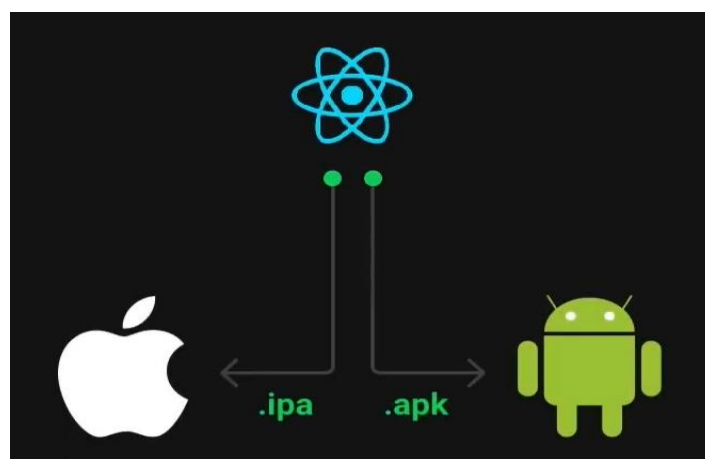
Segundo Boduch (2017), na abordagem tradicional, como visto na figura 1, para o desenvolvimento de aplicativos móveis é necessário aprender mais de uma linguagem de programação caso o desenvolvedor tenha interesse em criar aplicativos multiplataformas. No Android, os desenvolvedores implementam aplicativos Java, enquanto no iOS implementam aplicativos Swift.

Figura 1 - Abordagem tradicional



Fonte: ROCKETRSEAT.

Figura 2 - Abordagem do React Native



Fonte: ROCKETRSEAT.

Para os desenvolvedores do React Native, isso não é um problema. Todo o código é feito em JavaScript, esse código não é convertido em código nativo, melhor do que isso, os dispositivos passam a entender o código JavaScript e a interface gerada é totalmente nativa, de acordo com a figura 2. Ter que aprender mais duas linguagens de programação para construir e distribuir um aplicativo móvel envolve custo e tempo proibidos.

2.1.2. Expo

Expo é uma estrutura de software que fornece ferramentas e serviços para facilitar o desenvolvimento do React Native. As ferramentas fornecidas pela Expo estendem as ferramentas básicas fornecidas pelo React Native. O grande ponto do Expo para quem está iniciando é que para começar a desenvolver suas aplicações mobile com React Native você não precisará instalar a SDK do Android ou o XCode para Mac (Figura 3), isso porque o Expo possui um aplicativo móvel instalável pelas lojas do Android/iOS que contém todo código nativo necessário pelo React Native para iniciar a aplicação e, dessa forma, a única alteração em código feita é em Javascript. Normalmente, o desenvolvimento do React Native também requer macOS para o desenvolvimento de aplicativos iOS. A Expo Go elimina essa necessidade porque o código em produção pode ser executado na Expo Go, permitindo o desenvolvimento em várias plataformas (TENHUNEN, 2021).

Figura 3 - Desenvolvimento sem e com o Expo.



Fonte: ROCKETRSEAT.

2.2. SISTEMAS HIDRÁULICOS

Experiências têm mostrado que a hidráulica vem se destacando e ganhando espaço como um meio de transmissão de energia nos mais variados segmentos do mercado, sendo a Hidráulica Industrial e Mobil as que apresentam um maior crescimento. Porém, existe uma notável percepção de que a hidráulica está presente em todos os setores industriais, amplas áreas de automatização foram possíveis com a introdução de sistemas hidráulicos para controle de movimentos (PARKER, 2001). De acordo com Moreira (2012), a hidráulica vem sendo aplicada em larga escala na transmissão de movimento e multiplicação de força em máquinas operatrizes, de conformação, de embalagem, gráficas, têxteis, dentre outras até equipamentos móveis utilizados em automóveis, caminhões, veículos industriais e agrícolas, aeronaves e embarcações.

Para Linsingen (2013), um sistema hidráulico é o meio pelo qual uma forma de energia de entrada é transformada e condicionada em energia mecânica útil, para isso, é necessária uma associação de elementos físicos que utilizam um fluido como meio de transferência de energia, permitindo assim, a transmissão e controle de ações e forças. Sua utilização, segundo Fialho (2007), normalmente ocorre quando o emprego de sistemas mecânicos e/ou elétricos se torna inviável ou existe a necessidade de aplicação de grandes esforços aliados a uma área de trabalho relativamente pequena.

Os sistemas hidráulicos podem ser classificados de acordo com a aplicação, tipo de bomba, controle de direção e de acordo com a pressão nominal. Segundo a NFPA (National Fluid Power Association), a classificação do sistema quanto a pressão pode ser encontrada a partir de intervalos como mostrados na tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos sistemas segundo a NFPA.

Pressão (bar)	Classificação
0 a 14	Sistemas de baixa pressão
14 a 35	Sistemas de média pressão
35 a 84	Sistemas de média-alta pressão
84 a 210	Sistemas de alta pressão
Acima de 210	Sistemas de extra-alta pressão

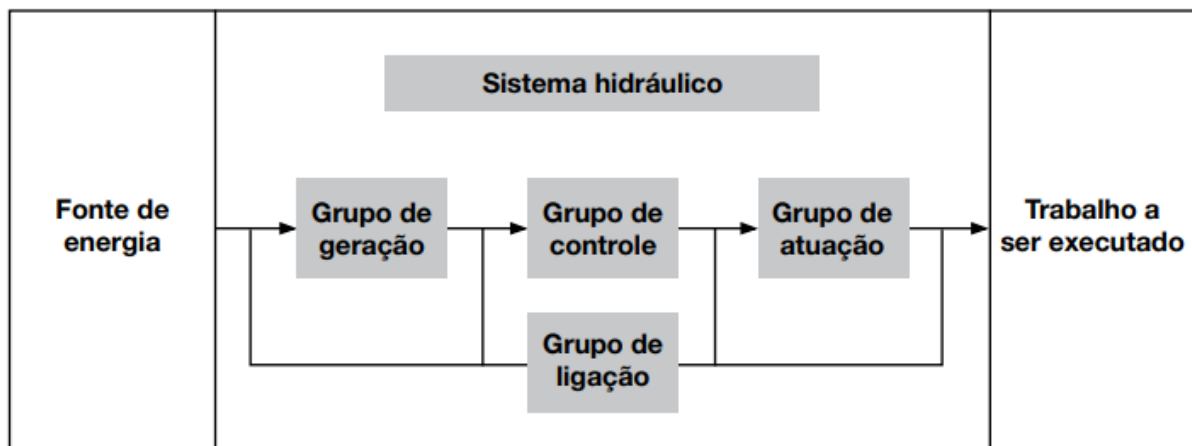
Fonte: Fialho (2007).

A Figura 4 mostra o fluxograma de um sistema hidráulico, tendo início com a

entrada de energia e término com a aplicação desejada. Cada parte desse processo pode ser representada por um ou mais elementos, são eles:

- Fonte de energia: motor elétrico ou a combustão;
- Grupo de geração: é responsável por converter potência mecânica em hidráulica. Caracterizado por bombas hidráulicas;
- Grupo de controle: controla a potência hidráulica. Simbolizado por comandos e válvulas;
- Grupo de atuação: transforma potência hidráulica em mecânica. Representado por cilindros e motores;
- Grupo de ligação: conexões, tubos e mangueiras.

Figura 4 - Sistema hidráulico genérico.



Fonte: Parker (2001).

De acordo com Caletti (2003), a unidade hidráulica é considerada um circuito do sistema hidráulico, ou seja, um conjunto de componentes do sistema que exercem uma função específica, e o seu bom funcionamento é fundamental para uma operação adequada do sistema. O projeto de unidades hidráulicas está centrado na seleção e análise de cada componente em separado, sendo necessário uma análise da unidade como um circuito, por causa dos inter-relacionamentos dos componentes que a constituem.

2.3. GRUPO DE GERAÇÃO

O grupo de geração tem como componente principal a bomba hidráulica que é responsável por realizar a conversão de energia mecânica em energia hidráulica. Esse elemento é constituído de partes mecânicas que quando acionadas criam um

vácuo parcial na entrada da bomba e permite que a pressão atmosférica force o fluido do tanque, através da linha de sucção, a penetrar na bomba, que por sua vez, passará o fluido para a abertura de descarga forçando-o através do sistema hidráulico. São abordados conceitos e metodologias para o dimensionamento e escolha do tipo de bomba.

2.3.1. Dimensionamento da bomba

O dimensionamento da bomba hidráulica consiste inicialmente em determinar a vazão total do sistema, ou seja, a vazão necessária para suprir a necessidade de funcionamento de todos os atuadores presentes. Esse valor total será tomado como referência para vazão da bomba como pode ser observado na equação 1.

$$Q_b = \sum Q_{Atua.} \quad (1)$$

A pressão da bomba é outro fator determinante para sua seleção, pois a bomba deve fornecer e suportar no mínimo a pressão de trabalho necessária ao atuador de maior solicitação quanto à pressão, mais a perda de carga da linha de pressão do sistema. Logo:

$$P_b \geq PT_{maior} + \Delta P \quad (2)$$

Para auxiliar na escolha da bomba em catálogos de fabricantes, é necessário também, determinar dados que diz respeito ao tamanho nominal, são eles: volume de absorção (V_g), momento de torção absorvido (M_t) e potência absorvida (Pot). Obtidos a partir das seguintes equações

$$V_g = \frac{1000 \cdot Q_b}{n \cdot \eta_v} \quad (3)$$

$$M_t = \frac{Q_b \cdot PT_{maior}}{100 \cdot \eta_{mh}} \quad (4)$$

$$Pot = \frac{M_t \cdot n}{9549} \quad (5)$$

onde n é a rotação da bomba ou do motor elétrico, o rendimento volumétrico dado por η_v , e η_{mh} o rendimento mecânico – hidráulico.

Com posse dessas informações é possível selecionar uma bomba hidráulica em catálogos de fabricantes que mais se adequa as necessidades do sistema, restando apenas definir quais tipos de bombas podem ser utilizadas.

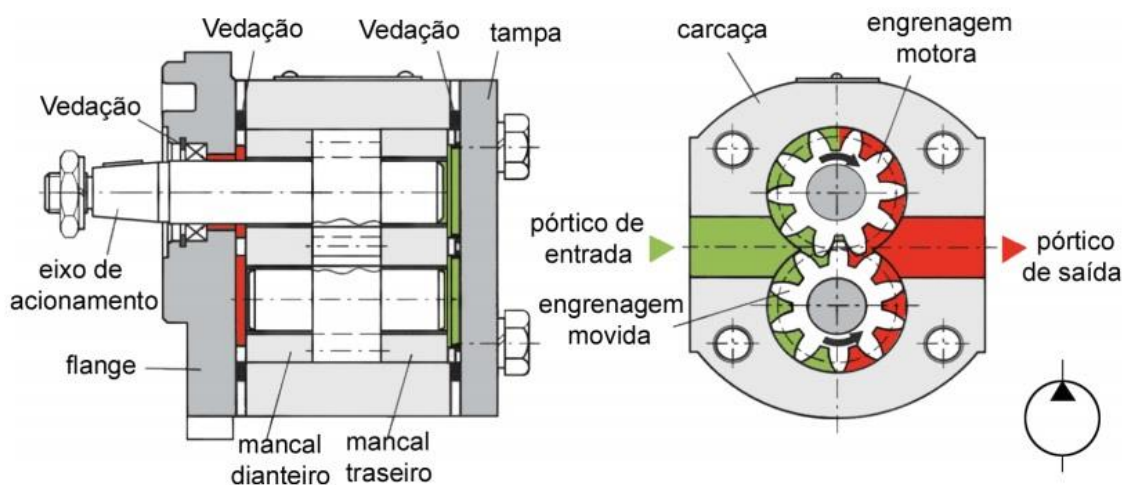
2.3.2. Tipos de bombas

Em projetos e dimensionamentos de circuitos hidráulicos, sempre serão usadas bombas hidrostáticas, também chamadas de “bombas de deslocamento positivo” (FIALHO, 2007). As bombas hidrostáticas estão divididas em dois grandes grupos: as de deslocamento fixo, onde o volume deslocado por rotação é constante, e as de deslocamento variável, nas quais é possível variar a vazão em uma determinada rotação. As bombas também se diferenciam pelo princípio de deslocamento utilizado e pela presença ou ausência de mecanismos de compensação de pressão. De acordo com o princípio de deslocamento, no primeiro grupo enquadram-se bombas de engrenagens, de parafusos, de palhetas e de pistões, enquanto as bombas de deslocamento variável podem ser de palhetas ou de pistões (CALETTI, 2003).

2.3.2.1. Bombas de engrenagens externas

Estas bombas, na sua forma mais simples, são constituídas por um par engrenagens iguais montadas em uma carcaça com uma entrada e uma saída e com vedação lateral por tampas (LINSINGEN, 2013). Uma das engrenagens é fixa ao eixo (motora) e é responsável pela transmissão do movimento. A outra é montada livre sobre o eixo (movida) como pode ser observada na figura 5.

Figura 5 - Bomba de engrenamento externo.



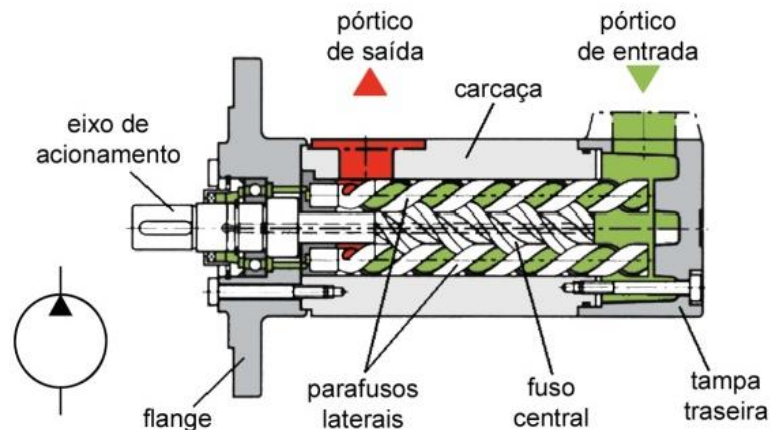
Fonte: Moreira (2012).

Robustez é a principal característica dessas bombas, que apresentam insensibilidade à presença de partículas sólidas normalmente presentes no fluido hidráulico, facilidade de montagem em qualquer posição, grande faixa de rotações possíveis em regime contínuo e facilidade de sucção. Dessa forma, as bombas de engrenagens são as mais utilizadas em sistemas hidráulicos em geral.

2.3.2.2. Bombas de parafusos

Com princípio de funcionamento similar ao das bombas de engrenagens, as bombas de parafusos são construídas por dois ou mais fusos helicoidais acoplados entre si. O movimento rotativo dos parafusos faz com que o óleo seja transportado pelos vãos entre os filetes das roscas, no sentido longitudinal, do pórtico de entrada para o de saída da bomba de acordo com a figura 6.

Figura 6 - Bomba de parafusos.



Fonte: Moreira (2012).

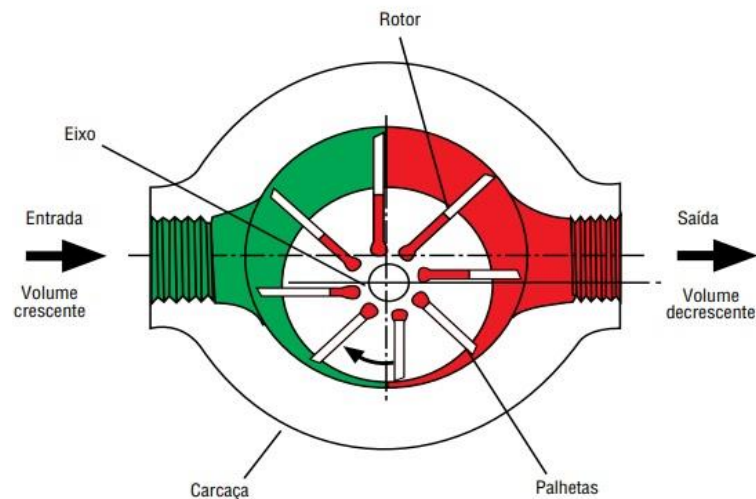
A principal vantagem dessas bombas é a presença de um escoamento praticamente isento de pulsação, além disso, ocorre forças de desbalanceamento somente no sentido axial, que podem ser facilmente compensadas. Como desvantagens apresenta um atrito elevado e baixo rendimento devido as características construtivas.

2.3.2.3. Bombas de palhetas

Constituídas por um rotor com ranhuras onde se alojam palhetas móveis, esse conjunto é acoplado ao eixo de acionamento, que gira dentro de um anel de forma elíptica, excêntrico a ele, localizado no interior da carcaça da bomba. À medida que o

rotor gira as palhetas fazem contato com o anel formando uma vedação positiva entre o topo da palheta e o anel como mostrado na figura 7.

Figura 7 - Bomba de palhetas.



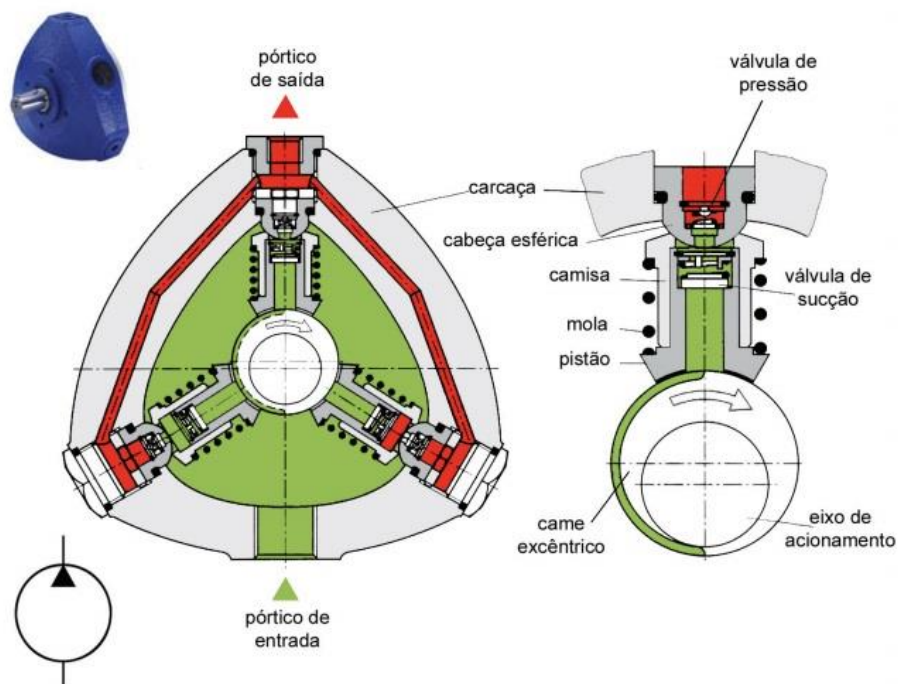
Fonte: Parker (2001).

Segundo a Industrial Training Zone (2002) citado por Caletti (2003), boa confiabilidade, bom rendimento volumétrico, baixo nível de ruído e pulsação, e custos comparáveis aos das bombas de engrenagens, são as vantagens desse tipo de bomba. As principais desvantagens são a baixa tolerância à contaminação do fluido e a sensibilidade às condições do fluido na sucção.

2.3.2.4. Bombas de pistões

As bombas de pistões são utilizadas em sistemas hidráulicos que operam em altas pressões e exigem elevados rendimentos globais (LINSINGEN, 2013). Seu princípio de funcionamento consiste em pistões de movimentos alternativos, que succionam e descarregam o fluido de trabalho. Podem ser classificadas como radiais e axiais. Na forma de atuação radial, os pistões são dispostos de forma radial ao eixo, como mostrado na figura 8. Já as bombas de pistões axiais, os pistões são paralelos entre si e distribuídos de maneira axial ao eixo de acionamento. Apesar da diferença entre as características geométricas em ambos os tipos, o princípio de funcionamento é o mesmo.

Figura 8 - Bomba de pistões radiais.



Fonte: Moreira (2012).

2.3.3. Faixa de seleção

As bombas hidrostáticas apresentam entre si princípios de funcionamento distintos e características bem específicas quanto a montagens, qualidade do fluido, ruído e pulsação. Além disso, cada tipo de bomba possui faixas de atuação que dizem respeito à pressão e vazão de trabalho. Zimmermann (2003) coletou e organizou esses intervalos para cada tipo de bomba, como pode ser observado na tabela 2. Como base nesses valores de referência, é possível identificar quais os tipos de bombas se encaixam dentro das informações calculadas na seção 2.3.1.

Tabela 2 - Faixas de valores para bombas hidrostáticas.

Bombas	Pressão mínima (bar)	Pressão máxima (bar)	Vazão mínima (lpm)	Vazão máxima (lpm)
Parafusos	10	200	5	300
Engrenagens	10	210	5	150
Palhetas	10	210	10	260
Pistons axiais	40	450	20	160
Pistons radiais	50	700	1	35

Fonte: Adaptada de Zimmermann (2003).

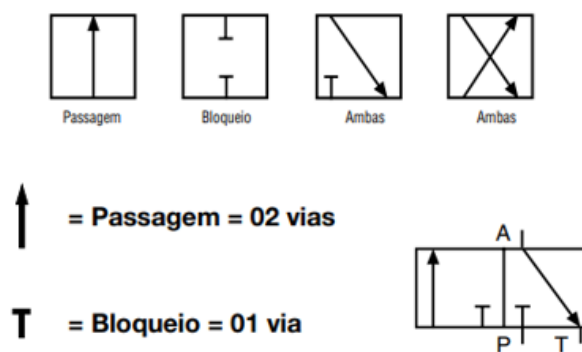
2.4. GRUPO DE CONTROLE

Grupo responsável por influir sobre a pressão ou vazão num determinado componente ou ramo de um circuito. Em todo sistema hidráulico, é necessária a presença de elementos reguladores que limitem, regulem, reduzam ou interrompam a elevação de pressão e permitam também um controle sequencial de determinadas operações preestabelecidas ou instantâneas (FIALHO, 2007). Segundo Simões (2016), as válvulas de comando são componentes vitais para o funcionamento adequado do sistema hidráulico, pois gerenciam o avanço e o retorno dos atuadores hidráulicos, além de controlar o fluxo do fluido hidráulico para os diversos elementos do sistema, evitar acidentes e automatizar e monitorar processos e operações repetitivas.

2.4.1. Válvula de controle direcional

As válvulas direcionais, também chamadas de distribuidores, são elementos que influenciam o percurso do fluxo do fluido hidráulico, principalmente nas partidas, paradas e na direção do fluxo. As válvulas direcionais são responsáveis, portanto, pelo avanço e pelo retorno da haste dos atuadores hidráulicos lineares e pelo acionamento ou inversão de atuadores hidráulicos rotativos.

Figura 9 - Simbologia de uma válvula de controle direcional.



Fonte: Editada de Parker (2001).

A figura 9 mostra a nomenclatura de cada simbologia presente em uma válvula de controle direcional e ainda traz a simbologia de uma válvula direcional 3/2 vias normalmente fechada.

As válvulas de controle direcional são representadas nos circuitos hidráulicos através de símbolos gráficos. Para identificação da simbologia deve-se considerar:

- Número de posições;
- Número de vias;
- Posição normal;
- Tipo de acionamento.

2.4.2. Válvula de controle de fluxo

A função da válvula controladora de vazão (ou de fluxo), como seu próprio nome diz, é controlar a vazão do fluido hidráulico que alimenta os atuadores hidráulicos, regulando a velocidade destes através da variação da vazão com a mudança da pressão no estrangulamento. Segundo Parker (2001), as válvulas controladoras de vazão são aplicadas em sistemas hidráulicos quando se deseja obter um controle de velocidade em determinados atuadores, o que é possível através da diminuição do fluxo que passa por um orifício. A simbologia dessa válvula pode ser observada na figura a seguir.

Figura 10 - Simbologia de uma válvula de controle de fluxo



Fonte: Parker (2001).

2.4.3. Válvula de retenção

Segundo Palmieri (1994), este é o tipo mais simples que existe de válvula reguladora de vazão. Têm a função de restringir ou aumentar a passagem do fluido em seu interior. A válvula de retenção é usada comumente em um sistema hidráulico, como válvula de "bypass". Isso permite que o fluxo contorne certos componentes, tais como as reguladoras de vazão que restringem o fluxo na direção contrária. Uma

válvula de retenção é também usada para isolar uma seção do sistema ou um componente. Uma válvula de retenção permite evitar que um reservatório descarregue o fluxo de volta à válvula de descarga ou através da bomba (PARKER, 2001). A figura 11 mostra uma válvula de retenção e sua respectiva simbologia.

Figura 11 - Válvula de bloqueio ou retenção



Fonte: Parker (2001).

2.5. GRUPO DE ATUAÇÃO

A utilidade de um sistema hidráulico é garantida graças a versatilidade que esse grupo oferece. Responsável por permitir a execução de trabalho útil associado a movimentos rotativo, linear e oscilante, transformando energia hidráulica previamente condicionada na unidade de limitação e controle em energia mecânica de saída (força ou torque), em níveis os mais variados (LINSINGEN, 2013). Para os cilindros, serão abordadas metodologias para o dimensionamento dos diâmetros referentes ao embolo e haste, já para os motores, o procedimento de cálculo é similar ao de bombas.

2.5.1. Dimensionamento do cilindro

Para o dimensionamento dos cilindros hidráulicos, assim como para todo e qualquer componente do sistema, é necessário inicialmente conhecer a pressão nominal (P_n), que pode ser obtida em função da classificação do sistema (Tabela 1).

$$P_n = P_{sis}. \quad (6)$$

Segundo Fialho (2007), após conhecida a pressão nominal, é necessário aplicar uma perda de carga estimada que varia dentre 10 a 15%. Esse novo valor é definido como pressão de trabalho estimada (P_{te}). Dessa forma, adotando 15%, obtém-se

$$P_{te} = P_n - 0.15 \cdot P_n \quad (7)$$

Em seguida, é possível determinar o diâmetro mínimo do embolo ou pistão a partir da equação a seguir

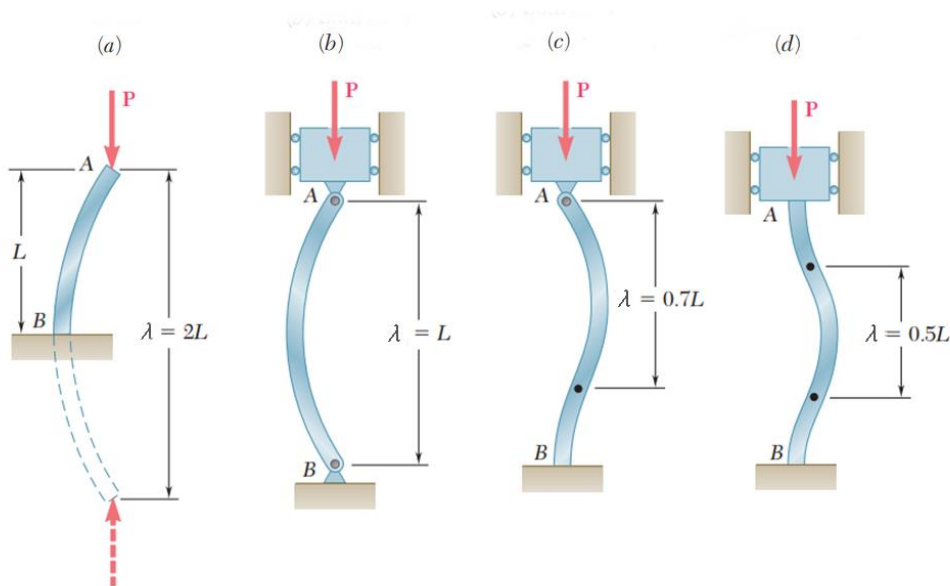
$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot F_a}{\pi \cdot P_{te}}}, \quad (8)$$

Em que F_a é força de avanço do cilindro

Esse diâmetro é apenas uma referência que será utilizada para seleção do cilindro hidráulico em catálogos de fabricantes. O valor do diâmetro do pistão comercial (D_{pc}) deve ser no mínimo igual ou ligeiramente maior que o calculado. Com isso, o atuador linear selecionado, deve obedecer a seguinte equação.

$$D_{pc} \geq D_p \quad (9)$$

Figura 12 - Comprimento de flambagem de coluna para várias condições de extremidade; (a) uma extremidade livre e outra fixa; (b) duas extremidades articuladas; (c) uma extremidade articulada e outra fixa; (d) duas extremidades fixas.



Fonte: Adaptada de Beer (2015).

Além do diâmetro do pistão, também é necessário calcular o diâmetro da haste (D_h). Por ser um elemento comprido e esbelto e estar sujeito a forças axiais de compressão, a haste é analisada pelo critério de Euler para deformação por flambagem. O tipo de fixação da haste necessita ser definido para a determinação do comprimento livre de flambagem (λ), como visto na figura 12.

Definido o tipo de fixação, o diâmetro da haste pode ser definido utilizando a equação a seguir

$$D_h = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot S \cdot \lambda^2 \cdot F_a}{\pi^2 \cdot E}}, \quad (10)$$

em que S é o coeficiente de segurança e E o módulo de elasticidade do material da haste.

Assim como o diâmetro do pistão, o diâmetro da haste calculado é um valor de referência e necessita que o atuador selecionado tenha um diâmetro da haste comercial (D_{hc}) maior ou igual ao diâmetro calculado.

$$D_{hc} \geq D_h \quad (11)$$

Tabela 3 - Diâmetros de cilindros comerciais.

Ø do cilindro (mm)	Ø da haste (mm)
38,1	15,9
	25,4
50,8	25,4
	34,9
63,5	25,4
	34,9
	44,5
82,6	34,9
	44,5
	50,8
101,6	44,5
	50,8
	63,5
127,0	50,8
	63,5
	76,2
152,4	63,5
	76,2
	101,6

Fonte: Parker (2005), adaptado.

De acordo com Fialho (2003), as dimensões para os cilindros comerciais estão padronizadas de acordo com a norma ISO/TC 39/SC 1N.5, que define diâmetros de pistão de 25 a 400 mm. Entretanto, a maioria dos fabricantes define em polegadas, nas faixas 1 ½" a 8", e acima desses valores o cliente deve consultar o fornecedor. A

tabela 3 traz alguns valores de diâmetros de cilindros comerciais do fabricante Parker Hannifin.

Tornando os diâmetros comerciais definitivos, é necessário calcular a nova pressão de trabalho estimada para essa configuração.

$$P_{te} = \frac{Fa}{\pi \cdot D_p^2 / 4} \quad (12)$$

Para determinar as vazões de avanço e retorno, é preciso anteriormente calcular os tempos necessários para esses movimentos. Os tempos podem ser determinados utilizando as seguintes equações

$$\Delta t_a = \frac{\Delta S}{v_a}, \quad (13)$$

$$\Delta t_r = \frac{\Delta S}{v_r}, \quad (14)$$

sendo ΔS é igual ao curso do pistão, v_a e v_r são as velocidades de avanço e retorno.

As vazões de avanço e retorno podem ser determinadas a partir do produto entre velocidade e área, resultando nas seguintes expressões

$$Q_a = \pi \frac{\Delta S \cdot D_p^2}{4 \cdot \Delta t_a} \quad (15)$$

$$Q_r = \pi \frac{\Delta S \cdot (D_p^2 - D_h^2)}{4 \cdot \Delta t_r} \quad (16)$$

Após o dimensionamento das vazões necessárias, torna-se essencial a verificação de ocorrência de vazão induzida. Esse fenômeno ocorre quando é fornecida uma vazão qualquer para um cilindro de dupla ação. Na tomada de saída do fluido haverá uma vazão que pode ser maior ou menor que a vazão de entrada. As vazões induzidas podem ser calculadas conforme as equações 17 e 18.

$$Q_{ia} = \pi \frac{\Delta S \cdot (D_p^2 - D_h^2)}{4 \cdot \Delta t_a} \quad (17)$$

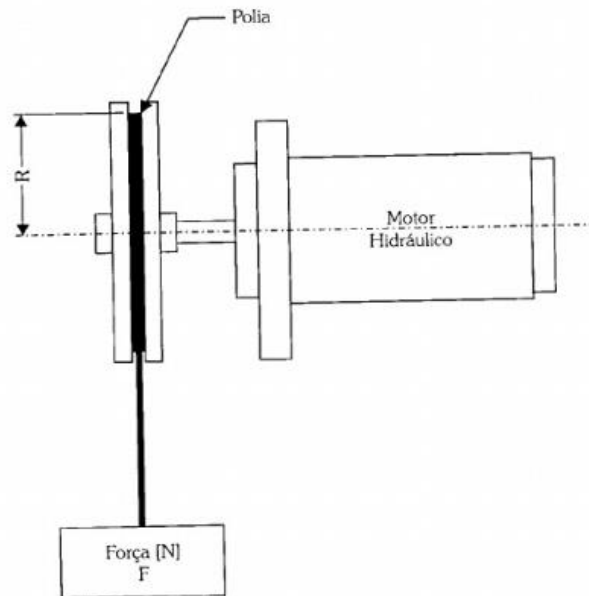
$$Q_{ir} = \pi \frac{\Delta S \cdot D_p^2}{4 \cdot \Delta t_r} \quad (18)$$

A vazão de referência do cilindro será a que apresentar maior valor entre as calculadas.

2.5.2. Dimensionamento do motor

A primeira variável a ser buscada para realizar o dimensionamento do motor hidráulico é o torque necessário para realizar a operação desejada. A figura 13 ilustra a aplicação de um motor hidráulico para o levantamento de cargas.

Figura 13 - Movimentação de uma carga por um motor hidráulico.



Fonte: Fialho (2003).

Para essa situação, o torque ou momento de torção pode ser determinado por

$$M_t = F \cdot R \quad (19)$$

Outro dado importante que deve ser calculado é a rotação do motor, conforme a equação 20, onde v é a velocidade de deslocamento da carga.

$$N = \frac{v}{2 \cdot \pi \cdot R} \quad (20)$$

Com essas duas variáveis definidas, é possível determinar a potência de saída da seguinte forma

$$Pot_m = \frac{M_t \cdot N}{9549} \quad (21)$$

Definidas essas variáveis, a seleção do motor já pode ser realizada tendo como base catálogos de fabricantes. A tabela 4 mostra alguns motores hidráulicos comerciais com suas respectivas características de atuação.

Tabela 4 - Dados motor hidráulico serie TE.

Motor Série TE	$V_g(\text{cm}^3/\text{rev})$	Rotação (rev/min)	Pressão máx. (bar)	Torque máx. (Nm)	Potência máx. (KW)
TE 0036	36	1141	200	71	8,5
TE 0045	41	1024	200	99	10,4
TE 0050	49	1020	200	127	12,8
TE 0065	65	877	200	176	14,7
TE 0080	82	695	200	220	17,3
TE 0100	98	582	200	264	17,4
TE 0130	130	438	200	352	17,3
TE 0165	163	348	200	436	17,0
TE 0195	195	292	200	528	17,4
TE 0230	228	328	200	514	17,7
TE 0260	260	287	200	550	16,7
TE 0295	293	256	200	582	15,7
TE 0330	328	228	200	600	14,8
TE 0365	370	203	200	648	13,6
TE 0390	392	191	200	628	12,5

Fonte: Adaptado de Parker (2009).

Escolhido o motor que mais se adequa, é necessário buscar o valor do volume de absorção (V_g) no catálogo. O mesmo possibilitará o cálculo da vazão necessária, que segundo Hatami (2013) pode ser determinado pela equação 22, sendo η_v o rendimento volumétrico.

$$Q_m = \frac{V_g \cdot N}{1000 \cdot \eta_v} \quad (22)$$

2.6. GRUPO DE LIGAÇÃO

Responsável por conduzir o fluido por toda a extensão dos sistemas hidráulicos, as mangueiras ou linhas flexíveis constituem esse grupo e além de conduzir, também têm a função de absorver vibrações e dar liberdade de movimentos. O reservatório também faz parte desse grupo e tem a função de conter ou armazenar o fluido do sistema hidráulico, além de realizar seu resfriamento, tanto por condução quanto por convecção (SIMÕES, 2016).

2.6.1. Escoamento interno

O movimento realizado pelo fluido nas mangueiras é caracterizado como escoamento interno, dessa forma é necessário identificar os limites desse movimento para que não comprometa a função dos outros componentes. Segundo Fialho (2003) Osborne Reynolds realizou estudos em perfis de velocidade desenvolvidos pelos fluidos e identificou parâmetros numéricos que identificavam limites de comportamento do fluido, denominados de escoamento laminar, escoamento indeterminado e escoamento turbulento.

Para condutos de seções circulares, o comportamento do fluido pode ser determinado pela seguinte expressão

$$R_e = \frac{v_l \cdot dt}{\nu}, \quad (23)$$

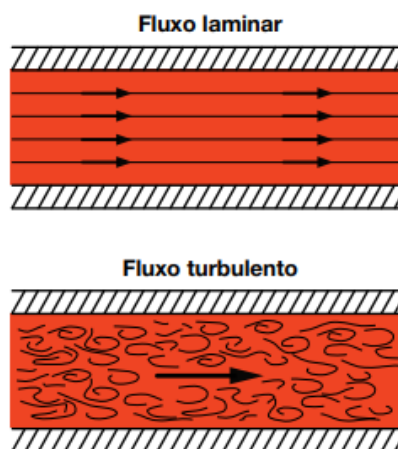
em que R_e é o número de Reynolds, v_l é a velocidade do fluido, dt o diâmetro da tubulação e ν é a viscosidade do fluido. A tabela 5 apresenta a relação entre R_e e o escoamento.

Tabela 5 - Limites de escoamento para Reynolds.

Limites de escoamento	
Escoamento Laminar	$R_e \leq 2000$
Escoamento Indeterminado	$2000 < R_e < 2300$
Escoamento turbulento	$R_e \geq 2300$

Fonte: Fialho (2003).

Figura 14 - Tipos de fluxo.



Fonte: Parker (2001).

O fluido tem um fluxo laminar (condição ideal) quando as moléculas (polímeros) se movimentam paralelamente ao longo de um tubo, isso acontece até uma certa velocidade. Quando há o aumento da velocidade do fluido, as perdas de pressão são maiores devido ao aumento de atrito e geração de calor, tendo assim um fluxo turbulento. Com a presença do fluxo turbulento ocorre um aumento do atrito em 4 vezes (PARKER, 2001). A figura 14 demonstra esses tipos de escoamento.

Em sistemas hidráulicos é extremamente importante que o fluido, quando em movimento, desenvolva um comportamento laminar.

2.6.2. Dimensionamento das tubulações

Em um sistema hidráulico existem três linhas que conduzem o fluido, linha de sucção, pressão e retorno. O primeiro passo para o dimensionamento do diâmetro mínimo para essas tubulações, é a determinação da velocidade fluido. Livros e catálogos de fabricantes recomendam valores específicos de velocidade para cada uma das tubulações conforme a tabela 6.

Tabela 6 - Velocidades recomendadas.

Tubulação	Pressão (bar)				Velocidade (cm/s)
	20	50	100	>200	
Tubulação de pressão	300	400	500	600	
Tubulação de retorno	300				
Tubulação de sucção	100				

Fonte: Fialho (2003).

Para outros valores de pressão na linha de pressão, a velocidade pode ser obtida utilizando a seguinte equação obtida por interpolação

$$v_l = 121.65 \cdot P^{\left(\frac{1}{3.3}\right)}, \quad (24)$$

com P sendo a pressão em bar e v_l a velocidade da linha em cm/s.

Para estabelecer os diâmetros mínimos necessários às tubulações, utiliza-se a expressão a seguir

$$d_t = \sqrt{\frac{Q_b}{0.015 \cdot \pi \cdot v_l}} \quad (25)$$

O diâmetro calculado (d_t) é apenas uma referência para a escolha de uma tubulação comercial. A seguinte relação deve ser verificada

$$d_{tc} \geq d_t \quad (26)$$

As tabelas 7 e 8 mostram alguns valores de diâmetros de mangueiras comerciais, dos fabricantes Parker e Transpower, em função da pressão de trabalho.

Tabela 7 - Diâmetros das mangueiras Parker.

Pressão de trabalho (bar)	Ø da mangueira (mm)						
24	5	6,3	8	10	12,5	16	22
35	6,3	8	10	12,5	16	22	
70	6,3	10	12,5	16	19		
207	6,3	10	12,5	16	19	25	31,5
345	19	25	31,5	38	51		

Fonte: Parker (1997), adaptado.

Tabela 8 - Diâmetros das mangueiras Transpower.

Pressão de trabalho (bar)	Ø da mangueira (mm)							
28	6,4	8	9,5	12,7				
210	6,4	7,9	9,5	12,7	15,9	19	25,4	31,8
280	9,5	12,7	15,9	19,1	25,4			

Fonte: Transpower (2011), adaptado.

2.6.3. Perda de carga

Sempre que um fluido percorre uma tubulação, há a chamada perda de carga que pode se apresentar de duas formas, distribuída e/ou localizada.

A perda de carga distribuída ocorre devido ao atrito entre as camadas do perfil de velocidade no regime laminar. Já a perda de carga localizada é gerada por singularidades que possam aparecer em determinados pontos de uma tubulação. São exemplos de singularidades todos os tipos de conexão tais como: luvas, joelhos, curvas, registros e reduções.

Devido à temperatura e rugosidade interna dos tubos, se faz necessário a determinação de um fator para quantificar essas características. Esse fator é chamado de fator de atrito (Ψ), para tubos flexíveis e temperaturas variável, pode ser determinado por:

$$\Psi = \frac{90}{R_e} \quad (27)$$

Desta forma a equação para obtenção da perda de carga distribuída em uma tubulação é dada por

$$\Delta P = \Psi \cdot \frac{5 \cdot L_t \cdot \rho \cdot v_l}{d_{tc} \cdot 10^{10}}, \quad (28)$$

em que L_t é o comprimento da tubulação em cm, ρ é a massa específica do fluido em kg/m³ e d_{tc} o diâmetro interno da tubulação comercial em cm.

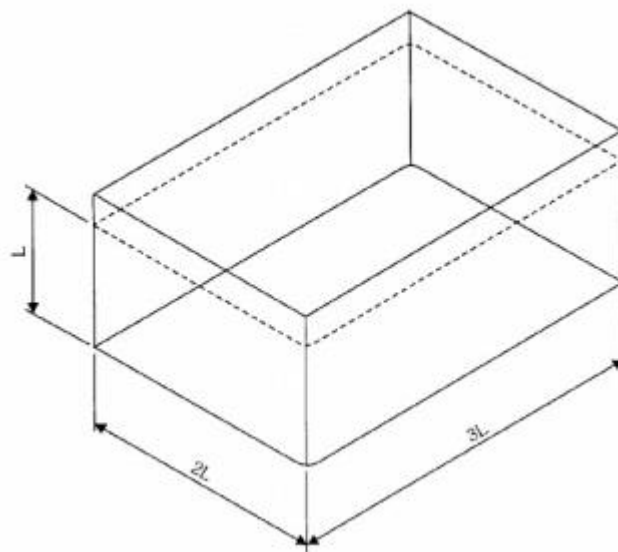
2.6.4. Dimensionamento do reservatório

Segundo Simões (2016), para o projeto do reservatório hidráulico, duas variáveis são de extrema importância: o volume mínimo de fluido a ser armazenado e a superfície mínima de contato requerida para a troca térmica, para que o fluido retorne ao sistema com a temperatura indicada, mantendo a viscosidade ideal de trabalho. Dependendo da aplicação e/ou tamanho do sistema hidráulico, o reservatório hidráulico pode não suprir a troca térmica requerida, por causa das limitações de espaço (grandes dimensões e grande número de placas defletoras são impraticáveis), sendo necessária a utilização de um trocador de calor.

O volume de fluido armazenado no reservatório hidráulico, dado em litros, deve ser três vezes maior que a vazão volumétrica da bomba hidráulica, dada em l/min, ou seja

$$VR = 3 \cdot Q_b \quad (29)$$

Figura 15 - Reservatório prismático.



Fonte: Fialho (2012).

Existem diversos tipos de reservatórios com diferentes formas geométricas construtivas. Considerando um reservatório prismático com dimensões $3L$, $2L$ e L , como visto na figura 15, a dimensão L pode ser determinada pela seguinte equação

$$L = \sqrt[3]{\frac{VR}{6}} \quad (30)$$

Para o cálculo de superfície de troca térmica, é desconsiderado a área referente à tampa superior, que não entra em contato com o fluido, dessa forma, a superfície de troca por condução e convecção será

$$SR = 16 \cdot L^2 \quad (31)$$

A carga térmica dissipada pelo reservatório pode então ser calculada de acordo com

$$q_r = K \cdot SR \cdot (T_2 - T_1), \quad (32)$$

sendo K o coeficiente de troca térmica entre a instalação e o ambiente, T_2 a temperatura em que o fluido deve ser mantido e T_1 a temperatura ambiente, ambas em graus Celsius.

A carga térmica gerada pelo sistema hidráulico e necessária ser eliminada no reservatório, pode ser determinada pela equação a seguir

$$q_n = 1.434 \cdot \Delta P_t \cdot Q_b, \quad (33)$$

onde q_n é dado em Kcal/h, ΔP_t é a perda de carga total em bar e Q_b a vazão da bomba em l/min.

Caso a carga térmica dissipada pelo reservatório não seja suficiente para eliminar totalmente a carga térmica necessária, é essencial a utilização de um trocador de calor para eventual eliminação da carga restante. Assim a carga térmica dissipada pelo trocador de calor deve ser determinada conforme a equação 34.

$$q_{tc} = q_n - q_r \quad (34)$$

3. METODOLOGIA

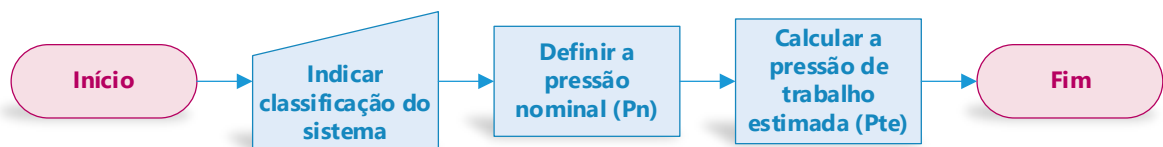
O aplicativo foi criado utilizando a linguagem JavaScript, através do framework do facebook, o React Native. Também se fez uso da estrutura Expo com o intuito de facilitar o desenvolvimento e dispensar o uso de emuladores, para isso, um dispositivo físico para testes foi utilizado.

As informações presentes no capítulo 2, serão ajustadas e utilizadas para a construção dos cálculos presentes na estrutura da aplicação conforme o dimensionamento de cada componente estudado. Fluxogramas foram construídos e representam a sequência utilizada para o dimensionamento adotado.

3.1. INFORMAÇÕES DO SISTEMA HIDRÁULICO

A Primeira informação a ser fornecida pelo usuário, é a classificação do sistema quanto a pressão (Tabela 1), essa seleção retorna uma faixa de valores de pressão onde o maior valor, dentro dessa faixa, será tomado como pressão nominal, ou seja, a pressão máxima suportada pelo sistema. Em seguida, é necessário calcular a pressão de trabalho estimada que será utilizada como referência para o dimensionamento dos demais componentes, conforme a equação 7. A figura 16 mostra o fluxo desse processo.

Figura 16 - Fluxograma das informações iniciais do sistema hidráulico.



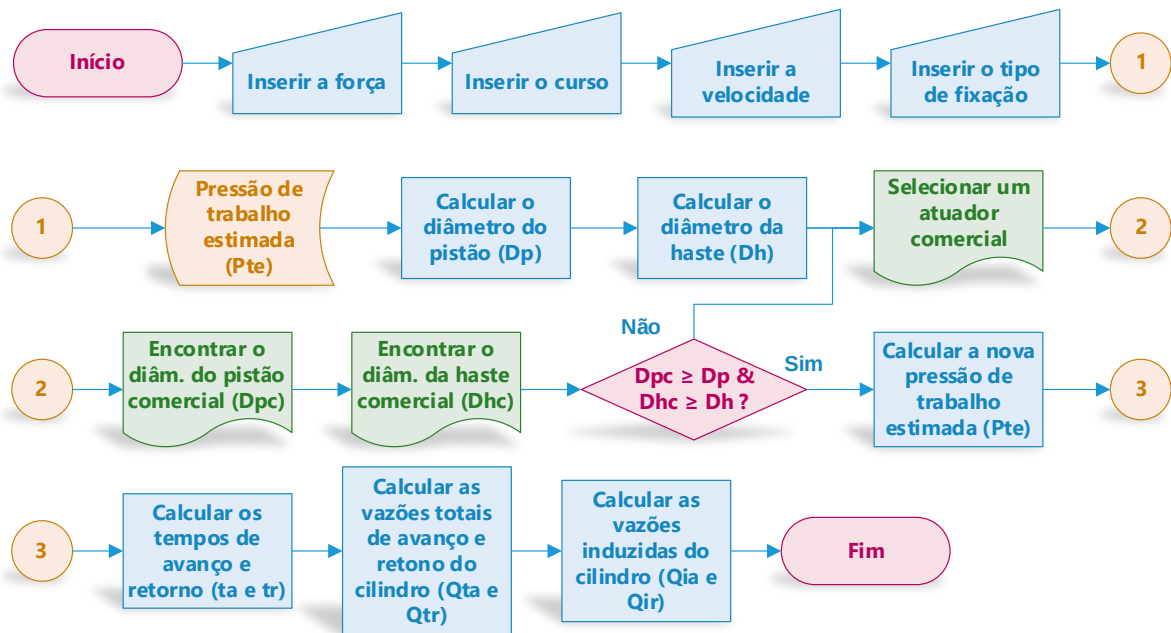
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2. DIMENSIONAMENTO DO CILINDRO HIDRÁULICO

Dados da aplicação do cilindro hidráulico devem ser inseridos pelo usuário, tais como: força necessária, curso, velocidade e o tipo de fixação. O valor da pressão de trabalho estimada do sistema também será utilizado para calcular os diâmetros do cilindro de acordo com as equações 8 e 10. Para isso, é necessário definir inicialmente o modulo de elasticidade (E) do material da haste, que de acordo com Fialho, é utilizado o aço com $E = 2.1 \cdot 10^7 \text{ N/cm}^2$, que também indica um coeficiente de segurança de 3,5. Diâmetros comerciais (Tabela 3, inserida na estrutura da aplicação)

serão escolhidos e verificados em função dos valores calculados, a mudança desses valores, resultará em uma nova pressão de trabalho estimada, calculada a partir da equação 12. Com essas informações as vazões são determinadas, equações 15 e 16, e uma verificação de vazão induzida se faz necessária. Essa sequência pode ser observada na figura 17.

Figura 17 - Fluxograma do dimensionamento do cilindro hidráulico.

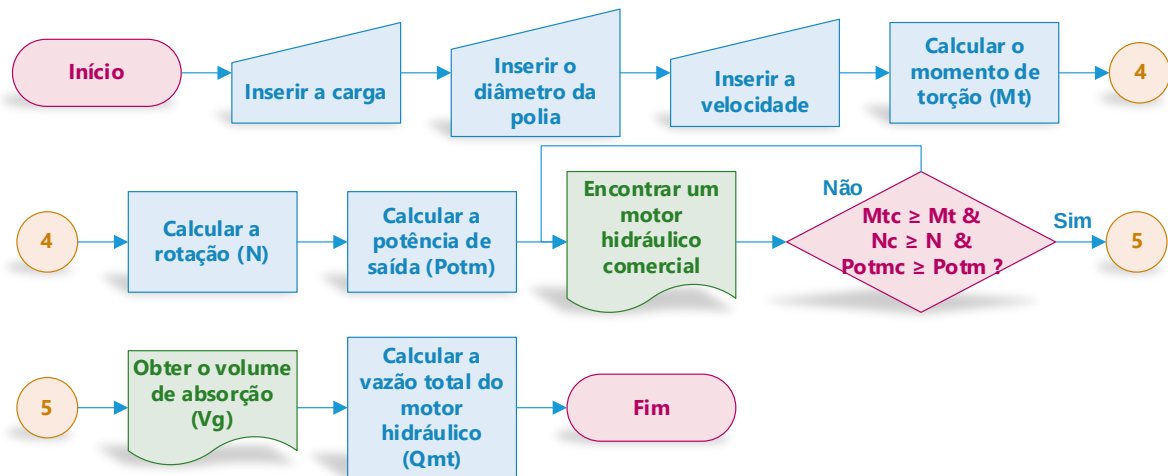


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3. DIMENSIONAMENTO DO MOTOR HIDRÁULICO

Para o dimensionamento do motor hidráulico, se faz necessário o inserimento dos dados necessários da aplicação conforme a situação vista na figura 7. A carga a ser movimentada, para o posterior cálculo da força, o diâmetro da polia a ser acoplada no motor, e a velocidade de deslocamento da carga, são as informações que o utente deve fornecer. Com isso, o momento de torção, a rotação do motor e a potência de saída são calculadas através das equações 19, 20 e 21 e um motor comercial pode ser selecionado, verificando os dados calculados, através da tabela 4 (inserida na estrutura da aplicação). O volume de absorção é obtido através da seleção e assim a vazão do motor é determinada pela equação 22. O rendimento volumétrico do motor (η_v) varia entre 0,82 e 0,90, será adotado o maior valor desse intervalo. A figura 18 mostra o passo a passo do dimensionamento do motor hidráulico.

Figura 18 - Fluxograma do dimensionamento do motor hidráulico.

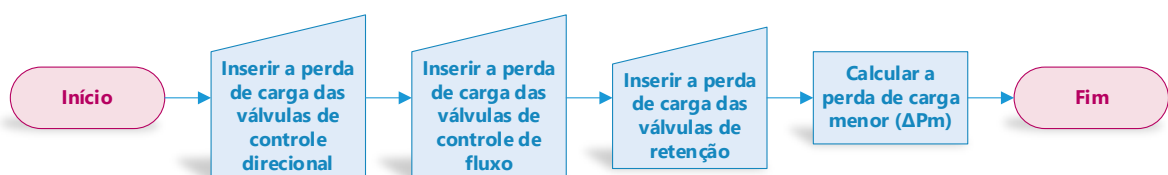


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4. VÁLVULAS DO SISTEMA

Devido à grande variedade de válvulas disponíveis no mercado e a infinidade de possibilidades dos sentidos de fluxo dessas válvulas, optou-se por trabalhar somente com os valores das perdas de cargas associadas a elas. O usuário será responsável por informar esses valores de acordo com suas necessidades e a perda de carga menor será calculada a partir do somatório desses valores. O fluxograma da figura 19, representa essa descrição.

Figura 19 - Fluxograma para determinação da perda de carga menor



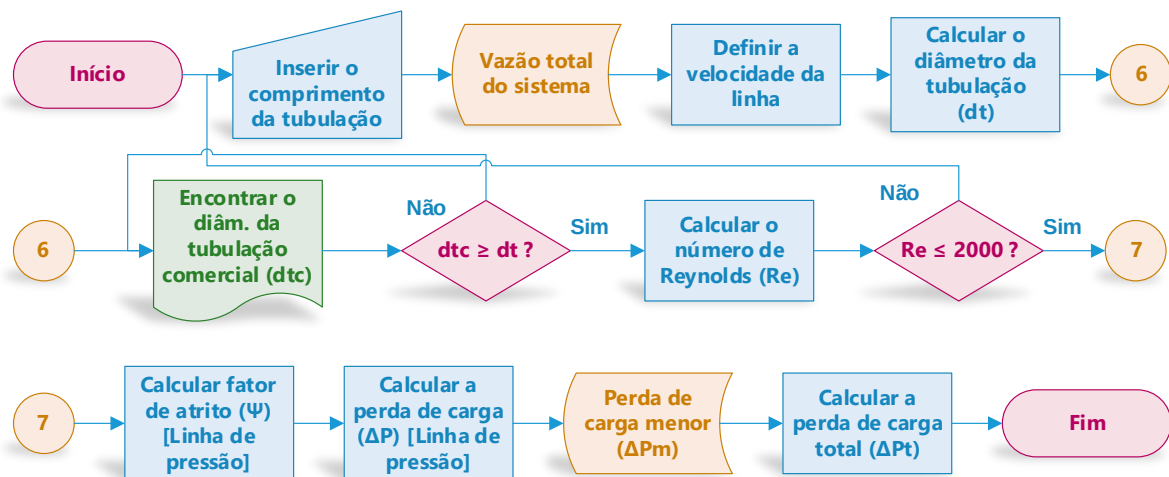
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5. DIMENSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO

O comprimento da tubulação é o dado de entrada a ser informado pelo usuário para determinação da perda de carga na linha de pressão. Para o cálculo do diâmetro mínimo da tubulação, é necessário conhecer a vazão total do sistema, ou seja, a vazão da bomba, e definir a velocidade da linha através da tabela 6 ou pela equação 24 (Caso seja na linha de pressão). Em seguida, escolher uma mangueira comercial (Tabelas 7 e 8) e realizar a verificação do diâmetro comercial através da equação 26.

Após verificação, o número de Reynolds é calculado e uma nova verificação deve ser realizada afim de garantir a presença de escoamento laminar. Adotou-se o óleo SAE-10 como fluido de trabalho que apresenta viscosidade cinemática (ν) igual a $0,65 \text{ cm}^2/\text{s}$ e densidade (ρ) igual a $881,81 \text{ kg/m}^3$. Feito isso, o fator de atrito (Ψ) é calculado e consequentemente a perda de carga da linha de pressão, como pode ser observado no fluxograma da figura 20.

Figura 20 - Fluxograma do dimensionamento da tubulação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.6. DIMENSIONAMENTO DA BOMBA HIDRÁULICA

As informações necessárias para o dimensionamento da bomba são recebidas de forma indireta através dos dados fornecidos pelo usuário para os outros componentes. O primeiro valor determinado é a vazão, que conforme a equação 1, é o somatório das vazões de todos os atuadores presentes no sistema. Em seguida é definido a pressão da bomba como sendo a pressão do atuador de maior solicitação quanto a pressão mais a perda de carga na linha de pressão. Também é calculado as características para a definição do tamanho nominal que dependem da rotação do motor elétrico acoplado a bomba. Para os sistemas hidráulicos essa rotação varia entre 900 e 1800 RPM de acordo com Fialho (2012), dessa forma, adotou-se uma relação entre rotação da bomba e classificação do sistema, como pode ser visto na tabela a seguir.

Tabela 9 - Relação entre rotação da bomba e classificação do sistema

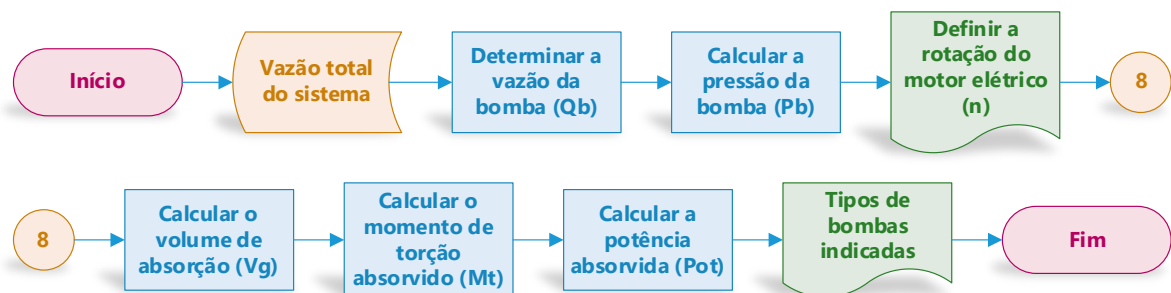
Rotação (RPM)	Classificação
900	Sistemas de baixa pressão
1200	Sistemas de média pressão
1500	Sistemas de média-alta pressão
1800	Sistemas de alta pressão

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além da rotação, é necessário também definir os valores do rendimento volumétrico (η_v) que varia entre 0,91 e 0,93, e do rendimento mecânico – hidráulico com variação de 0,82 a 0,97. Para fins de cálculos, serão adotados os menores valores desses intervalos.

Devido a não necessidade de variações de vazão em uma mesma rotação para as aplicações utilizadas neste trabalho, será abordado somente os tipos de bombas com deslocamento fixo. Para a escolha do tipo de bomba hidrostática, a tabela 2 expõe dados que orientam a seleção baseando-se em intervalos de pressão e vazão. A figura a seguir apresenta a metodologia utilizada para o dimensionamento da bomba.

Figura 21 - Fluxograma do dimensionamento da bomba hidráulica.



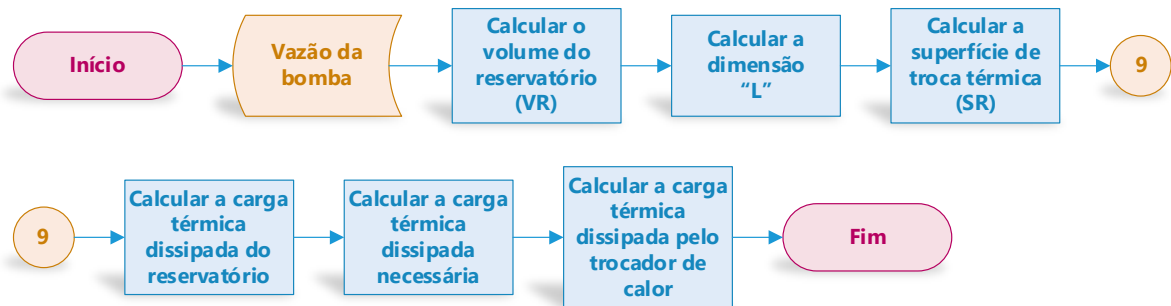
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.7. DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

O dimensionamento do reservatório se inicia determinando o volume necessário para acomodar o fluido de trabalho, para isso o valor da vazão da bomba hidráulica é utilizado, conforme a equação 29. Em seguida é determinado as dimensões do reservatório e sua respectiva superfície de troca térmica. São calculadas ainda, a cargas térmica dissipada pelo reservatório, onde foi adotado $K = 13 \text{ Kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, $T_1 = 30^\circ\text{C}$ e $T_2 = 45^\circ\text{C}$, a carga térmica necessária ser dissipada

pelo reservatório e consequentemente a carga térmica que o dissipador de calor deve contribuir para evitar que o fluido atinja altas temperaturas. O fluxograma desse dimensionamento pode ser observado na figura 22.

Figura 22 - Fluxograma do dimensionamento do reservatório.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos da criação do aplicativo e do dimensionamento dos componentes da unidade hidráulica como descrito no capítulo 3, bem como a análise comparativa entre a aplicação e trabalhos acadêmicos.

Todas as informações referentes ao código do aplicativo podem ser acessadas através da seguinte página no GitHub: https://github.com/JeanR17/Hydraulic_Unit. O arquivo em formato .apk para instalação em dispositivos Android pode ser adquirido realizando o download por meio do link a seguir:

<https://drive.google.com/file/d/1t6mdxevWmHhJb0pJX2YNfQykyhWupDB7/view?usp=sharing>. Para instalação, é necessário apenas abrir o arquivo e seguir os procedimentos pedidos em tela, onde será necessário autorizar a instalação de aplicativos fora da Play Store. Uma experiência do aplicativo em dispositivos Android e iOS também pode ser concedida, por intermédio da instalação do aplicativo Expo, utilizando o seguinte link: <https://expo.io/@jeanr17/hydraulicunit> e realizar o download. Após instalação do aplicativo Expo, é necessário retornar ao link, clicar no botão “Open in Expo Go” e aguardar a aplicação carregar.

4.1. APLICATIVO HYDRAULIC UNIT

O aplicativo foi nomeado como Hydraulic Unit e apresenta em sua estrutura 4 telas sequenciais em que o usuário irá percorrer afim de dimensionar os elementos da unidade hidráulica.

A tela inicial, após carregamento da aplicação, foi definida como Initial, ela é responsável por dar boas-vindas ao usuário e realizar a chamada para iniciar o dimensionamento da unidade hidráulica como visto da figura 23. Para realizar o dimensionamento, primeiramente, o utente já deve ter definido algumas informações de pretensão da unidade hidráulica, tais como pressão nominal do sistema, solicitações e características dos atuadores, uma estimativa referente ao comprimento da tubulação desejada e perdas de cargas associadas ao uso de válvulas.

De posse das informações mencionadas, é possível dá sequência a aplicação clicando no botão “INICIAR”, onde o usuário será direcionado para a tela denominada Input, é nessa janela, que serão inseridos todos os dados de entrada necessários, como pode ser observado na figura 24.

Figura 23 - Tela inicial da aplicação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24 - Tela de preenchimento; (a) posição inicial da tela; (b) continuação da tela após rolagem.

(a)
(b)

Hydraulic Unit

Preencha os dados de entrada abaixo conforme suas necessidades.

Classificação do sistema
Escolha a faixa de pressão

Características do(s) cilindro(s)
C1 Força [kgf] Curso [mm] Veloc. [cm/s]
Escolha o tipo de fixação

Características do(s) motor(es)
M1 Carga [kg] D. Polia [mm] Veloc. [cm/s]

Hydraulic Unit

Escolha o tipo de fixação

Características do(s) motor(es)
M1 Carga [kg] D. Polia [mm] Veloc. [cm/s]

Tubulação e componentes
Comprimento da tubulação: [m]
Válvulas de controle direcional: ΔP [bar]
Válvulas de controle de fluxo: ΔP [bar]
Válvulas de retenção: ΔP [bar]

Calcular

Fonte: Elaborado pelo autor.

O preenchimento se inicia, informando a classificação do sistema hidráulico quanto a pressão, ao clicar em “Escolha a faixa de pressão” uma janela surgirá com algumas opções para a escolha, como visto na figura 25. Essas opções são baseadas na classificação da NFPA conforme mostradas na tabela 1.

Figura 25 - Janela para indicação da classificação do sistema.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em “Características do(s) cilindro(s)” as informações requisitadas são: força necessária; curso de atuação e velocidade do movimento. Essas informações podem ser inseridas tocando nos campos de texto referentes a elas. Ainda para o cilindro, o usuário deve informar o tipo de fixação do mesmo através do toque em “Escolha o tipo de fixação”, onde uma janela será exibida da mesma forma como a mostrada na classificação do sistema, mas com as informações referentes a figura 12 para o dimensionamento da haste. Os botões “+” e “-” são utilizados para adicionar e remover cilindros caso o usuário necessite mais de um.

A região destinada a introdução das características dos motores, em termos de layout, é similar a dos cilindros. Os aspectos exigidos são carga deslocada, diâmetro da polia acoplada ao motor e velocidade de deslocamento da carga. Para a adição e remoção de motores os botões “+” e “-” estão disponíveis.

Com o preenchimento livre de erros, ao pressionar o botão “Calcular” a tela Output será aberta e só será exibida quando todos os dados calculados estiverem disponíveis. Nessa página da aplicação, é realizada uma verificação inicial quanto ao número de Reynolds calculado nas linhas das tubulações, caso alguma linha esteja fora da região de escoamento laminar o usuário será informado e redirecionado para a tela de entrada de dados onde deverá fazer alterações nos valores informados.

Em output, como visto na figura 26, diversas informações são apresentadas na tela, resultados do dimensionamento dos componentes da unidade hidráulica abordados. Os dados fornecidos nessa tela, são suficientes para a seleção desses elementos constituintes, em alguns casos, já se tem o componente selecionado a partir de alguma tabela de catálogos de fabricantes, inserida no algoritmo da aplicação, em que houve a necessidade da seleção para continuidade do dimensionamento, tornando os resultados mais próximos da realidade. Essa seleção prévia, não impede o usuário de realizar a sua própria seleção com base nas informações recebidas.

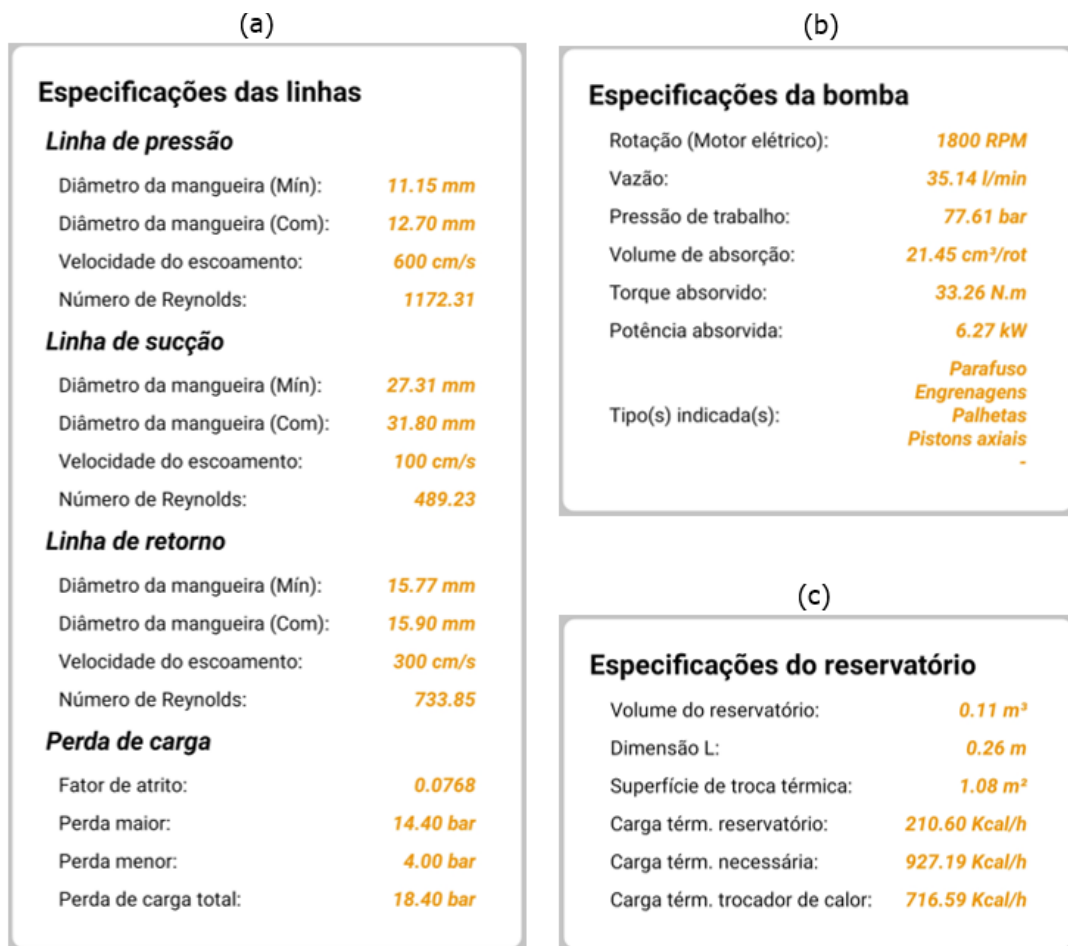
Figura 26 - Tela de resultados do dimensionamento da unidade hidráulica; (a) posição inicial da tela; (b) posição após pequena rolagem mostrando as especificações dos motores.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 27 mostra os outros componentes dimensionados pelo aplicativo. Para as tubulações foram calculados os diâmetros mínimos de cada linha e seus respectivos diâmetros comerciais, também foram determinadas as velocidades recomendadas e os números de Reynolds para essas configurações. Os dados da bomba dimensionada descrevem suas principais características relacionadas ao tamanho nominal para uma eventual seleção além de apresentar um indicativo quanto ao tipo de bomba mais indicada. As dimensões do reservatório foram calculadas e apresentou-se um estudo sobre a carga térmica envolvida, demonstrando a necessidade do uso de um trocador de calor para suprir a capacidade de troca térmica.

Figura 27 - Demais resultados do dimensionamento da unidade hidráulica; (a) especificação das linhas; (b) especificações da bomba; (c) especificações do reservatório.



Fonte: Elaborado pelo autor.

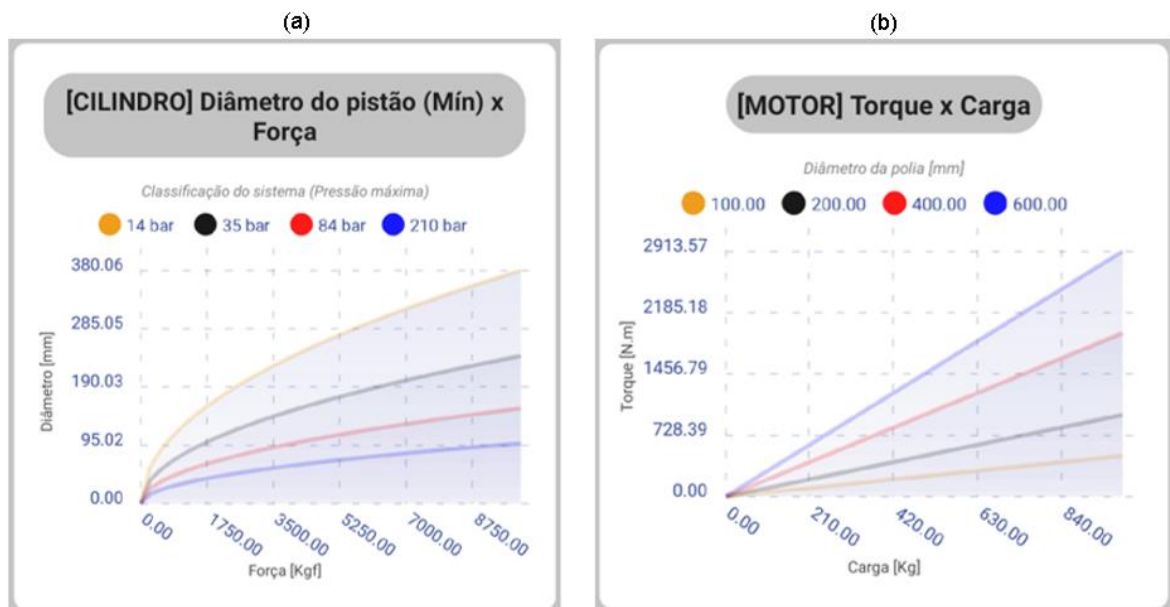
O botão presente no final de tela Output representado por duas linhas que se cruzam dando a ideia de um gráfico, é responsável por direcionar o usuário para a tela Graphics. Nessa tela, gráficos são plotados e estão disponíveis para visualização

abordando alguns componentes dimensionados. Os eixos e curvas dos gráficos são representados por algum dado de entrada ou grandeza útil para seleção, dessa forma, viabilizam ao utente uma visão mais ampla das possibilidades, simulando diferentes situações com resultados aproximados e auxiliam no conhecimento dos limites do dimensionamento para cada escolha disponível.

Para o cilindro hidráulico, três gráficos foram gerados, o primeiro e terceiro foram obtidos a partir do uso da definição fundamental de pressão, ou seja, força sobre área. Já o segundo gráfico levou-se em consideração o critério de Euler para flambagem.

Além do cilindro outros elementos também foram representados por gráficos. O motor hidráulico foi composto por dois gráficos, onde o primeiro é determinado a partir da equação do momento de torção e o segundo através do estudo referente ao cálculo da rotação do motor. A bomba recebeu apenas um gráfico referente ao cálculo do volume de absorção e vazão, onde curvas de rotação foram expostas.

Figura 28 - Ampliação dos gráficos; (a) Diâmetro x força; (b) Torque x carga.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 28 mostra o resultado da plotagem de dois gráficos gerados pelo aplicativo. O primeiro diz respeito ao cilindro, onde curvas de pressão máxima foram criadas variando de 14 a 210 bar, esse gráfico traduz de forma fiel a relação entre pressão e diâmetro do pistão que são inversamente proporcionais para um mesmo valor de força. A figura 28 (b) é referente ao motor hidráulico e apresenta curvas de

diâmetro da polia que variam de acordo com o valor inserido pelo usuário, nesse gráfico é contatada a relação entre torque e diâmetro da polia que são diretamente proporcionais para uma mesma carga aplicada.

Através dessas curvas é possível ter uma noção dos resultados referentes a outras configurações que podem ser inseridas pelo usuário realizando apenas uma análise visual sem a necessidade de alteração efetiva nos dados de entrada.

4.2. ANÁLISE COMPARATIVA

Com o intuito de validar o aplicativo, fez-se necessário testes da aplicação com dois estudos de casos de trabalhos acadêmicos que propunham o dimensionamento de unidades hidráulicas para determinadas aplicações.

4.2.1. Estudo de caso 1

O primeiro estudo de caso analisado foi elaborado por Vale (2017), que tinha como objetivo o dimensionamento de uma unidade de potência hidráulica para uma bancada de conformação mecânica. Nesse trabalho optou-se por uma caracterização de um sistema de alta pressão e foram utilizados dois cilindros hidráulicos. Os demais dados de entrada estão dispostos a tabela a seguir:

Tabela 10 - Dados de entrada utilizados por Vale (2017).

Variáveis	Valores	Unidade
Classificação do sistema	Sistema de alta pressão	-
Força (C1)	6000	N
Curso (C1)	200	mm
Velocidade (C1)	7	cm/s
Força (C2)	4000	N
Curso (C2)	150	mm
Velocidade (C2)	5	cm/s
Tipo de fixação	Uma extremidade articulada e a outra fixa (F3)	-
Comprimento da tubulação	10	m
Válvula de controle direcional	3	bar

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esses valores foram utilizados no aplicativo e resultaram nos seguintes valores, como mostrado na tabela 11. Em que nessa tabela contém cinco colunas, os

quais, a primeira enumera os dados calculados, a segunda a quantificação do aplicativo desenvolvido, a terceira os dados obtidos por Vale (2007), a quarta o erro em percentual baseado na diferença dos dados do aplicativo e do trabalho de comparação dividido pelo dado do trabalho de comparação, e a quinta coluna a confiabilidade em percentual.

Tabela 11 - Dados de resultados comparativos do estudo de caso 1.

Dados	Aplicativo	Vale (2017)	Erro (%)	Confiabilidade (%)
D_p (C1)	76,01	76,01	0,00	100,00
D_h (C1)	15,29	48,35	68,38	-
Q_a (C1)	22,48	22,48	0,00	100,00
Q_r (C1)	18,47	13,98	32,12	-
D_p (C2)	62,06	62,06	0,00	100,00
D_h (C2)	11,97	37,84	68,37	-
Q_a (C2)	9,50	9,50	0,00	100,00
Q_r (C2)	7,98	4,83	65,22	-
d_{tp}	10,64	10,64	0,00	100,00
R_{ep}	1172,31	1127,55	3,97	96,03
d_{ts}	26,06	26,05	0,04	99,96
R_{es}	489,23	470,55	3,97	96,03
d_{tr}	15,05	15,04	0,07	99,93
R_{er}	733,85	705,83	3,97	96,03
ΔP_T	12,60	12,97	2,85	97,15
Q_b	32,01	31,98	0,09	99,91
V_g	19,54	20,08	2,69	97,31
M_t	71,48	66,50	7,49	92,51
Pot	13,47	12,18	10,59	89,41
VR	0,10	0,10	0,00	100,00
Confiabilidade média				97,77

Fonte: Elaborado pelo autor.

O aplicativo mostrou uma confiabilidade de 97,77% quando comparado com o trabalho desenvolvido por Vale (2017), estando em conformidade com o esperado.

Valores do diâmetro da haste (D_h) e consequentemente da vazão de retorno (Q_r) dos cilindros analisados, apresentaram uma confiabilidade muito abaixo do esperado, necessitando serem investigados e corrigidos. Na tentativa de entender o ocorrido notou-se que Vale, no momento do cálculo do diâmetro da haste, utilizou o comprimento da haste na unidade de mm e ao inserir o módulo de elasticidade do material não se atentou que a unidade estava em N/cm², acarretando assim em um valor de diâmetro incorreto, que por sua vez, interferiu no cálculo da vazão de retorno.

4.2.2. Estudo de caso 2

O segundo estudo de caso diz respeito ao dimensionamento de uma transmissão hidráulica para um protótipo BAJA SAE elaborado por Michael (2013). Quatro motores rotativos foram dimensionados com as mesmas solicitações e acionados por duas bombas hidráulicas, uma para cada dois motores. Os dados de entrada utilizados no trabalho analisado estão apresentados na tabela 12.

Tabela 12 - Dados de entrada utilizados por Michael (2013).

Variáveis	Valores	Unidade
Classificação do sistema	Sistema de alta pressão	-
Carga (M1)	28,435	kg
Diâmetro da polia (M1)	533,4	mm
Velocidade (M1)	555,55	cm/s
Carga (M2)	28,435	kg
Diâmetro da polia (M2)	533,4	mm
Velocidade (M2)	555,55	cm/s
Carga (M3)	28,435	kg
Diâmetro da polia (M3)	533,4	mm
Velocidade (M3)	555,55	cm/s
Carga (M4)	28,435	kg
Diâmetro da polia (M4)	533,4	mm
Velocidade (M4)	555,55	cm/s
Comprimento da tubulação	3	m
Válvula de controle direcional	10	bar

Fonte: Elaborado pelo autor.

O aplicativo foi utilizado inserindo os dados contidos na tabela anterior, e os resultados comparativos podem ser observados na tabela a seguir:

Tabela 13 - Dados de resultados comparativos do estudo de caso 2.

Dados	Aplicativo	Michael (2013)	Erro (%)	Confiabilidade (%)
M_t (M1)	74,4	74,4	0,00	100,00
N (M1)	198,92	198,91	0,01	99,99
V_g (M1)	41	41	0,00	100,00
M_t (M2)	74,4	74,4	0,00	100,00
N (M2)	198,92	198,91	0,01	99,99
V_g (M2)	41	41	0,00	100,00
M_t (M3)	74,4	74,4	0,00	100,00
N (M3)	198,92	198,91	0,01	99,99
V_g (M3)	41	41	0,00	100,00
M_t (M4)	74,4	74,4	0,00	100,00
N (M4)	198,92	198,91	0,01	99,99
V_g (M4)	41	41	0,00	100,00
Q_b	36,24	32,74	10,69	89,31
d_{tp}	11,32	8,72	29,82	70,18
v_{lp}	600	215,74	178,11	-
R_{ep}	1172,31	402,93	190,95	-
ΔP	2,88	1,24	132,26	-
VR	0,11	0,096	14,58	85,42
Confiabilidade média				96,33%

Fonte: Elaborado pelo autor.

O aplicativo apresentou uma confiabilidade de 96,33% no comparativo com o trabalho de Michael (2013), como esperado.

Os valores de velocidade na linha de pressão, número de Reynolds e perda de carga apresentaram uma confiabilidade muito abaixo do esperado. A principal causa desse problema é em função da definição da velocidade da linha de pressão (v_{lp}), como visto na seção 2.6.2, livros e catálogos de fabricantes recomendam valores específicos para cada uma das linhas. Os autores adotaram, para a velocidade, um valor muito abaixo do recomendado, com isso os cálculos referentes a linha de pressão e perda de carga foram afetados.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1. CONCLUSÕES

Em vista de todo o exposto neste trabalho, o proposto projeto alcança, com ressalvas, todos os objetivos estabelecidos, desde o levantamento de informações úteis para a criação de aplicativos e dimensionamento de unidades hidráulicas até a validação do aplicativo desenvolvido.

A partir do mesmo código base desenvolvido foi possível a criação do aplicativo em plataformas Android e iOS. Embora não tenha sido possível a geração do arquivo de instalação para os dispositivos da Apple, o aplicativo pode ser utilizado nessa plataforma por intermédio do app da Expo.

Na análise comparativa os erros calculados se mostraram relativamente pequenos (abaixo de 4%) confirmando assim uma boa concordância entre os resultados. Alguns dados específicos apresentaram desvios em seus valores, resultando em um maior erro associado (acima de 30%). Foi constatado que a origem desses desvios se tratava das escolhas adotadas pelos autores dos trabalhos analisados, em que problemas na conversão de unidades e carência de recomendações de fabricantes foram encontradas.

O aplicativo Hydraulic Unit mostrou ser uma alternativa confiável quando comparado com dois estudos de casos, apresentando confiabilidades acima de 96% para as situações analisadas, estando em conformidade com o esperado.

Gráficos foram traçados e mostraram-se úteis no entendimento dos limites do dimensionamento e também, do real comportamento causado pelas variações de alguns dados de entrada, além de apresentar curvas para diferentes escolhas dando uma visão mais ampla do sistema.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os trabalhos futuros podem abordar as seguintes linhas:

- Adição de requisitos de projeto como custos envolvidos, facilidade de manutenção e nível de ruído admissível;
- Determinação das solicitações dos atuadores para diferentes aplicações;
- Fabricação e testes de unidades hidráulicas;

REFERÊNCIAS

BEER, F. P. et al. **Mechanics of materials**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2015.

BODUCH, Adam. **React and React Native**. Packt Publishing Ltd, 2017.

BRITO, Adriano Sousa de. **FERRAMENTAS PARA DESENVOLVIMENTO MULTIPLATAFORMA DE APLICATIVOS MÓVEIS COM JAVASCRIPT E HTML5: UMA ANÁLISE COMPARATIVA**. 2013.

CALETTI, Luciano et al. **Desenvolvimento de um protótipo de sistema especialista para projeto de unidades de potência hidráulica**. 2003.

DANIELSSON, William. **React Native application development: A comparison between native Android and React Native**. 2016.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação hidráulica: projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. -- 5. Ed. -- São Paulo: Érica, 2007.

GRILLO, Filipe Del Nero; FORTES, RENATA PONTIN DE MATTOS. **Aprendendo JavaScript**. São Carlos: USP, 2008.

HATAMI, Houman. **Coletânea de fórmulas hidráulicas**. Rexroth Bosch Group, v. 3, 2013.

LINSINGEN, Irlan von. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos**. 4. ed. rev. - Florianópolis: Ed. da UFSC, 2013.

MICHAEL, Evandro; SPILLARI, Thiago Rafael. **Dimensionamento de uma transmissão hidráulica para um protótipo BAJA SAE**. Horizontina, 2013.

MOREIRA, Ilo Da Silva. **Sistemas hidráulicos industriais**. SESI SENAI Editora, 2012.

PALMIERI, Antonio Carlos. **Manual de hidráulica básica**. Albarus Sistemas Hidraulicos, 1994.

PARKER. **Tecnologia Hidráulica Industrial**. Apostila M2001-2 BR. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/35330381-Tecnologia-hidraulica-industrial-apostila-m-br.html>>. Acesso em: 11 abr. 2021.

PARKER. **Cilindros hidráulicos**. 2005. Disponível em: <https://www.parker.com/parkerimages/br/download/hydraulics/pdf/hy_2017_br.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2021.

PARKER. **LSHT Torqmotors™ and Nichols™ Motors**. 2009. Disponível em: <https://hmc.com.br/pdf/parker_motorTorqlink.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2021.

PARKER. **Mangueiras, Conexões e Equipamentos**. 1997. Disponível em: <https://www.parker.com/static_content/parkerimages/br/download/fluidconnectors/pdf/4400_br.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2021.

ROCKETSEAT. **Omnistack Week 11**. 2020. Disponível em: <<https://rocketseat.com.br/>>. Acesso em: 20 abr. 2021

SILVA, Giancarlo. **O que é e como funciona a linguagem JavaScript?**. Canal Tech, 28 jan. 2015. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/internet/O-que-e-e-como-funciona-a-linguagem-JavaScript/>> Acesso em: 15 mai. 2021.

SIMÕES, Roberto Mac Intyer. **Sistemas hidráulicos e pneumáticos**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2016.

TENHUNEN, Santeri. **Expo React Native-sovellusten kehitysalustana**. 2021.

TRANSPower. **Catálogo de Produtos**. 2011. Disponível em: <<http://www.cearahidraulica.com.br/catalogos/transpower/catalogo-transpower.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2021

VALE, Andre Ferreira do et al. **Dimensionamento de uma unidade de potência hidráulica para uma bancada de conformação mecânica**. 2017.

ZIMMERMANN, Marco Aurélio et al. **Sistema especialista protótipo para auxílio na seleção de bombas hidrostáticas**. 2003.