

Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Paulo Victor da Silva Freitas

Desenvolvimento de aplicativo para dimensionamento de equipamentos de filtração da  
indústria química

Uberaba

2022

Paulo Victor da Silva Freitas

Desenvolvimento de aplicativo para dimensionamento de equipamentos de filtração da indústria química

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação do Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kássia Graciele dos Santos

Uberaba

2022

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do  
Triângulo Mineiro**

F937d Freitas, Paulo Victor da Silva  
Desenvolvimento de aplicativo para dimensionamento de equipamentos  
de filtração da indústria química / Paulo Victor da Silva Freitas. -- 2022.  
139 p. : il., graf., tab.

Dissertação (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica) -- Uni-  
versidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2022  
Orientadora: Profa. Dra. Kássia Graciele dos Santos

1. Filtros e filtração. 2. Aplicativos móveis. 3. Engenharia química -  
Estudo e ensino. 4. Tecnologia da Informação. 5. Projeto de produto. I. San-  
tos, Kássia Graciele dos. II. Universidade Federal do Triângulo Mineiro.  
III. Título.

CDU 66:37.091.64:004.42

PAULO VICTOR DA SILVA FREITAS

**DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE FILTRAÇÃO DA INDÚSTRIA QUÍMICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro como requisito parcial para obtenção do título de mestre.

Uberaba, 18 de fevereiro de 2022

**Banca Examinadora:**

Dra. Kássia Graciele dos Santos – Orientadora  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Dr. Jefferson Beethoven Martins  
Instituto Federal do Triângulo Mineiro

Dr. Ricardo Corrêa de Santana  
Universidade Federal de Uberlândia



Documento assinado eletronicamente por **KASSIA GRACIELE DOS SANTOS**, Professor do Magistério Superior, em 18/02/2022, às 16:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 87, de 17 de agosto de 2021](#).

Documento assinado eletronicamente por **Jefferson Beethoven Martins**, Usuário Externo, em 20/02/2022, às 09:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de](#)



[novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 87, de 17 de agosto de 2021](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Corrêa de Santana**, Usuário Externo, em 21/02/2022, às 14:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 87, de 17 de agosto de 2021](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufm.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0674126** e o código CRC **82685582**.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela vida, pelas oportunidades que me foram dadas e por todas as pessoas ao meu redor, que somam suas experiências de vida com as minhas.

Agradeço também à minha mãe, irmão e namorada, que sempre foram meu suporte e incentivo. Vocês sempre estiveram ao meu lado para ouvir os desabafos, ofertar uma palavra, um conforto, um ânimo a mais. É bem difícil definir em poucas palavras o quanto o apoio de vocês foi fundamental nesta jornada. Eu amo vocês!

Ao meu finado pai, agradeço os conselhos pra que eu sempre seguisse em frente, buscando o melhor caminho pra mim. Eu te amo, sempre!

A minha orientadora, Professora Dr. Kássia Graciele dos Santos pelo conhecimento compartilhado e pela oportunidade de realização deste trabalho.

Em especial, agradeço aos Professores Dr. Jefferson Beethoven Martins e Dr. Ricardo Corrêa de Santana pelas contribuições na realização de melhorias no projeto.

## RESUMO

A sociedade atual vive em busca constante por novas ferramentas e tecnologias que impulsionam tanto pesquisas científicas como novos empreendimentos e carreiras.

Estas inovações são aplicáveis no cotidiano com o objetivo de facilitar e agilizar nossas atividades e mostram-se essenciais em vários contextos, seja na reestruturação de uma sala de aula com seus novos métodos de ensino ou no fornecimento de respostas em tempo hábil para que profissionais tomem decisões baseadas em simulações.

A história mostra que a evolução e adaptação de métodos de ensino ocorrem gradualmente. Contudo, momentos disruptivos nos trazem uma perspectiva de maior atenção e urgência para determinadas soluções.

O aplicativo proposto pelo trabalho, denominado ADSI-F (Aplicativo de Dimensionamento e Simulação Industrial – Módulo Equipamentos de Filtração), é uma ferramenta de auxílio ao projeto de equipamentos de filtração da Engenharia Química. Destinado ao uso acadêmico e profissional, o aplicativo oferece um *layout* intuitivo, o que facilita sua utilização pelos usuários, além de se adequar ao processamento da simulação de acordo com o perfil (mais informativo ou objetivo, respectivamente).

Decidiu-se pela aplicação dentro da área de filtração por se tratar de uma das Operações Unitárias, área essencial dentro da Indústria e processamento de materiais. A revisão de literatura indicou problemas quanto à evasão de alunos devido a esta disciplina, de sorte que uma boa solução encontrada seria a adequação da grade curricular com uso das TICs para facilitar a compreensão do conteúdo.

**Palavras-chave:** Inovação, aplicativo, ensino, simulação, dimensionamento, Engenharia Química, Operações Unitárias, filtração

## ABSTRACT

The actual society lives in constant search for new tools and technologies which can boost not only scientific research but also entrepreneurship and new careers.

Those innovations are applied on our daily basis to facilitate and streamline our activities, shows itself as essential for a great variety of contexts, like on classroom restructure with its new learning methods or providing timely answers to professionals for making decisions based on simulations.

History has showed that learning methods' evolution and adaptation are made gradually. However, disruptive moments could bring us higher attention and urgency to new perspective and determined solutions.

The app proposed in this work, called ADSI-F (Industrial Scaling-up and Simulation App – Filtration Equipment's Module) is an auxiliar tool on Chemical Engineering's filtration equipment's project.

Destined for both academical and professional purposes, the app offers an intuitive layout, which facilitate users' manipulation, besides of adjusting the simulation's processing according to the type of user profile (either more informative or objective, respectively).

It was decided its application into the filtration area because it is one of the Unit Operations at Chemical Engineering (essential area inside Industry and material processing). The literature revision had indicated not only issues related to students' evasion because of this discipline, but also that a good solution would be scholar curriculum adequacy with the use of ICTs to facilitate content comprehension.

**Keywords:** Innovation, app, learning, simulation, sizing, Chemical Engineering, Unit Operations, filtration

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Apontamentos sobre melhorias no ensino usando TICs .....	20
Figura 2: Processo básico de transformação.....	21
Figura 3: Relação entre fenômenos de transporte e operações unitárias .....	22
Figura 4: Representação da filtração .....	24
Figura 5: Representação da filtração .....	26
Figura 6: Principais filtros por tipo de filtração .....	27
Figura 7: Obtenção de $\alpha$ e $R_m$ - Pressão constante e torta incompressível .....	29
Figura 8: Filtração em superfície sob $\Delta P$ constante para tortas compressíveis .....	30
Figura 9: Custos de alterações como uma função do tempo em desenvolvimento .....	32
Figura 10: Fluxo do processo <i>SCRUM</i> .....	36
Figura 11: Esboço de <i>Sprint</i> .....	37
Figura 12: <i>Market share</i> mundial – S.O para dispositivos móveis até Jul/2020 .....	39
Figura 13: Aplicativos disponíveis <i>Google Play Store</i> - Junho 2020 .....	40
Figura 14: Aplicativos disponíveis <i>Apple Store</i> - primeiro quarto de 2020 .....	41
Figura 15: Interação de aplicativos nativos com dispositivos móveis .....	43
Figura 16: Interação de <i>web apps</i> com dispositivos móveis .....	45
Figura 17: Interação de aplicativos híbridos com dispositivos móveis .....	49
Figura 18: Exemplo de <i>Wireframe</i> .....	52
Figura 19: Diagrama de classe genérico – ADSI-F .....	55
Figura 20: Cronograma de desenvolvimento do projeto .....	56
Figura 21: Esboço de <i>Sprint</i> .....	57
Figura 22: Tela de apresentação – ADSI-F .....	58
Figura 23: Perfis genéricos de usuário .....	60
Figura 24: <i>Wireframe</i> módulos tutoriais.....	62
Figura 25: <i>Wireframe</i> módulo de conversão .....	63
Figura 26: Tela de seleção de operação .....	64
Figura 27: Escolha de perfis para processamento .....	65
Figura 28: Escolha do equipamento a ser dimensionado .....	66
Figura 29: Filtro prensa e formação de torta .....	67
Figura 30: Diagrama de Caso de Uso – Fluxo geral Filtro Prensa .....	68
Figura 31: Filtro de Tambor Rotativo á vácuo .....	68
Figura 32: Corte transversal em setores .....	70
Figura 33: Diagrama de Caso de Uso – Fluxo geral Filtro de Tambor Rotativo .....	70
Figura 34: Cadastro de solução: <i>Card</i> de informações (a) e tela de cadastro (b).....	71
Figura 35: Dados da solução cadastrada .....	72
Figura 36: Formulários para cadastro de fluido: Estudante (a) e Profissional (b).....	73
Figura 37: Módulo de conversão de volume .....	74
Figura 38: Informação de unidade – Perspectiva profissional .....	75
Figura 39: Diagrama de Caso de Uso – Cadastro do componente líquido.....	76
Figura 40: Botão de busca (a) e <i>Pop-up</i> com líquidos cadastrados (b) .....	76
Figura 41: Diagrama de Caso de Uso – Cadastro do componente sólido .....	78



Figura 42: Formulário - Cadastro do componente particulado: a) Estudante / b) Profissional .....	79
Figura 43: Botão de busca (a) e <i>Pop-up</i> com particulados cadastrados .....	79
Figura 44: Informação de concentração de partículas na solução .....	80
Figura 45: <i>Card</i> dos atributos do filtro de laboratório .....	80
Figura 46: Formulário - Cadastro de equipamento – Filtro Prensa .....	82
Figura 47: Botão de busca (a) e <i>Pop-up</i> de filtros cadastrados (Ex: Filtro Prensa) .....	83
Figura 48: Dados do filtro laboratorial para teste de bancada .....	83
Figura 49: Diagrama de Caso de Uso – Cadastro filtro para teste de bancada.....	84
Figura 50: Card dos ensaios de filtração extraídos do teste de bancada.....	84
Figura 51: Amostras laboratoriais do teste de filtração de bancada .....	85
Figura 52: Módulos de conversão de $tV$ .....	86
Figura 53: Diagrama de Caso de Uso – Cadastro amostras coletadas .....	86
Figura 54: <i>Card</i> das amostras cadastradas: Amostras (a) e Dados (b).....	87
Figura 55: Tela para análise do gráfico $tV$ em função de $V$ .....	88
Figura 56: Ferramenta para regressão linear do gráfico $tV$ em função de $V$ .....	89
Figura 57: Resumo de resistividades e coeficientes – Gráfico .....	90
Figura 58: Mecanismo de <i>Zoom</i> do gráfico $tV$ em função de $V$ .....	91
Figura 59: Relatório de dados operacionais do teste de bancada .....	93
Figura 60: Formulário de dados industriais requeridos .....	94
Figura 61: Área de filtração e produção – Espessura quadro comercial .....	95
Figura 62: Relação entre dimensão nominal e área total de filtração.....	96
Figura 63: Dimensionamento proposto pelo ADSI-F .....	96
Figura 64: Salvar dados de processamento – Filtro Prensa .....	97
Figura 65: Banco de dados – Dimensionamento de Equipamento - Filtro Prensa .....	97
Figura 66: Formulário para simulação de produção .....	98
Figura 67: Relatório de produção do equipamento em escala industrial.....	99
Figura 68: Banco de dados – Simulação de Produção - Filtro Prensa.....	101
Figura 69: <i>Card</i> dos atributos do filtro-folha de laboratório .....	102
Figura 70: Formulário - Cadastro de equipamento – Filtro de Tambor Rotativo.....	103
Figura 71: Botão de busca (a) e <i>Pop-up</i> de filtros cadastrados (Ex: Filtro Tambor Rotativo) .....	103
Figura 72: Dados do filtro-folha para teste de bancada.....	104
Figura 73: Diagrama de Caso de Uso – Cadastro filtro-folha para teste de bancada .....	104
Figura 74: <i>Card</i> dos ensaios de filtração extraídos do teste com filtro-folha.....	105
Figura 75: Formulário de amostra do teste com filtro folha.....	106
Figura 76: Módulos de conversão de tempo e volume.....	107
Figura 77: Diagrama de Caso de Uso – Cadastro amostras coletadas .....	108
Figura 78: <i>Card</i> das amostras cadastradas – Filtro Tambor Rotativo .....	108
Figura 79: Relatórios operacionais do teste de bancada – Filtro Tambor Rotativo .....	109
Figura 80: Formulário de produção industrial .....	110
Figura 81: Área recomendada ( $A_2$ ): sem margem (a) e 20% de margem (b).....	110
Figura 82: Dados do catálogo - FEINC .....	111
Figura 83: Resumo do dimensionamento .....	112

Figura 84: Salvar dados de processamento – Filtro Tambor Rotativo .....	112
Figura 85: Banco de Dados - Dimensionamento de Equipamento – Filtro Tambor Rotativo .....	113
Figura 86: Formulário para simulação de produção.....	114
Figura 87: Relatório de produção do equipamento em escala industrial.....	114
Figura 88: Banco de Dados – Simulação de Produção – Tambor rotativo.....	116
Figura 89: Formulário - histórico de filtração .....	117
Figura 90: Dados para cálculo do terceiro conjunto de dados.....	117
Figura 91: Resultado da simulação por histórico .....	119
Figura 92: <i>Wireframe</i> – Uso do ADSI-F .....	127
Figura 93: Relatório de detalhamento de processamento – Filtro Prensa .....	128
Figura 94: Relatório de detalhamento de processamento – Filtro Tambor Rotativo à vácuo .....	129
Figura 95: Amostras coletadas (Massarani) .....	130
Figura 96: Cadastro de componentes – Ex. 2 e 4 (Massarani, 2002):.....	131
Figura 97: Coeficientes e resistências calculadas após regressão (a).....	132
Figura 98: Resultado 1 – sem lavagem da torta .....	133
Figura 99: Resultado 2 – com lavagem da torta .....	133
Figura 100: Cadastro de componentes – Ex. 8 (Massarani, 2002):.....	135
Figura 101: Formulário do filtro industrial e relatório final de produção sem tempo de lavagem.....	136
Figura 102: Formulário do filtro industrial e relatório final de produção com tempo de lavagem de 28,8 min.....	136
Figura 103: Dados cadastrados (a) e relatório de processamento do teste de bancada (b). 137	
Figura 104: Produção industrial e margem de segurança para a área de filtração industrial (a) opções de equipamentos possíveis em catálogo no ADSI-F (b).....	138
Figura 105: Cadastro dos componentes (a) e relatório de filtração em teste de bancada (b) .....	140
Figura 106: Formulário – tambor industrial (a) e resultado da simulação de produção (b).....	141
Figura 107: Condições históricas de filtração .....	141
Figura 108: Formulário de simulação por histórico de filtros preenchido (a) e resultado da simulação (b) .....	142

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características dos sistemas operacionais móveis.....	43
Tabela 2: Análise de cada contexto de desenvolvimento .....	53
Tabela 3: Unidades – cadastro de fluido – ADSI-F.....	74
Tabela 4: Unidades – cadastro de partículas – ADSI-F.....	78
Tabela 5: Unidades – cadastro do filtro de bancada – Filtro Prensa .....	82
Tabela 6: Unidades – cadastro amostras laboratoriais – Filtro Prensa.....	87
Tabela 8: Unidades– cadastro do filtro-folha – Filtro Tambor Rotativo.....	102
Tabela 9: Unidades – cadastro amostras laboratoriais – Filtro Tambor Rotativo .....	107

## LISTA DE SÍMBOLOS

t	Tempo de filtração	[T]
$t_c$	Tempo do ciclo	[T]
$t_L$	Tempo de lavagem	[T]
$t_o$	Outros tempos	[T]
V	Volume do filtrado	[L <sup>3</sup> ]
A	Área da superfície de filtração	[L <sup>2</sup> ]
$A_2$	Área recomendada	[L <sup>2</sup> ]
$C_s$	Concentração de sólidos no líquido	[-]
$R_m$	Resistência do meio filtrante	[L <sup>-1</sup> ]
$B_1$	Coefficiente angular	[-]
$B_2$	Coefficiente linear	[-]
$V_t$	Volume da torta	[L <sup>3</sup> ]
m	Massa seca da torta	[L]

## SÍMBOLOS GREGOS

$\mu$	Viscosidade dinâmica da suspensão	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup> ]
$\alpha$	Resistividade da torta	[L <sup>-6</sup> T]
$\rho$	Densidade do fluido	[ML <sup>-3</sup> ]
$\Delta P$	Queda de pressão	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]
$\langle \alpha \rangle$	Resistividade média da torta	[L <sup>-6</sup> T]
$\rho_s$	Densidade do Sólido	[ML <sup>-3</sup> ]
$\Psi$	Produção por unidade de área	
$\gamma$	Coefficiente angular	[-]
$\delta$	Coefficiente linear	[-]
$\varepsilon$	Porosidade da torta	
$\theta$	Ângulo de imersão	

## **LISTA DE SIGLAS**

ADSI-F – Aplicativo de Dimensionamento e Simulação Industrial – Módulo Equipamentos de Filtração

AOT – Ahead-of-time

API – Application Programming Interface

CSS – Cascading Style Sheets

E-Learning – Electronic Learning

HTML – Hypertext Markup Language

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDE – Integrated Development Environment

JIT – Just in time

M-Learning – Mobile Learning

PWA – Progressive Web Application

SDK – Software Development Kit

SO – Sistema Operacional

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

W3C – World Wide Web Consortium

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
3.1 VISÃO SOBRE O USO DE TECNOLOGIAS EM SALA DE AULA .....	18
3.2 O USO DE APLICATIVOS NO CONTEXTO DAS ENGENHARIAS.....	20
3.3 DEFININDO UM CAMPO DA ENGENHARIA QUÍMICA PARA O PROJETO .....	21
<b>3.3.1 Operações Unitárias .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3.2 Filtração.....</b>	<b>23</b>
3.3.2.1 Tipos de filtros.....	24
3.3.2.2 Teoria geral da filtração com formação de torta.....	28
3.3.2.2.1 Tortas incompressíveis .....	29
3.3.2.2.2 Tortas compressíveis .....	29
3.4 METODOLOGIA DE PROJETO DE SOFTWARE - DESENVOLVIMENTO ÁGIL .	30
<b>3.4.1 Framework Scrum.....</b>	<b>33</b>
3.5 DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVOS PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS .....	37
<b>3.5.1 Sistemas Operacionais.....</b>	<b>38</b>
3.5.1.1 Android.....	38
3.5.1.2 iOS.....	40
<b>3.5.2 Tipos de aplicativos .....</b>	<b>41</b>
3.5.2.1 Aplicativos nativos .....	42
3.5.2.2 Progressive Web Apps (PWAs) .....	44
3.5.2.3 Aplicativos multiplataformas .....	46
3.6 EXPERIÊNCIA DE USUÁRIO ( <i>USER EXPERIENCE - UX</i> ) .....	49
<b>4 MÉTODOS.....</b>	<b>52</b>
4.1 ASPECTOS GERAIS DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO .....	52
4.2 ADSI-F .....	57
<b>4.2.1 Pensando na UX da aplicação .....</b>	<b>58</b>
4.2.1.1 Módulos de tutoriais .....	61
4.2.1.2 Módulos de conversão de unidades .....	62
4.2.1.3 Dados numéricos .....	63
<b>4.2.2 Tela inicial .....</b>	<b>64</b>
<b>4.2.3 Dimensionamentos.....</b>	<b>65</b>
4.2.3.1 Escolha do Perfil.....	65

4.2.3.2 Tela de equipamentos .....	65
4.2.3.2.1 Filtro Prensa.....	67
4.2.3.2.2 Filtro de Tambor Rotativo à vácuo.....	68
4.2.3.3 Cadastro dos parâmetros de alimentação do sistema .....	71
4.2.3.3.1 Solução .....	71
4.2.3.4 Processamento – Filtro Prensa.....	80
4.2.3.4.1 Dados do equipamento de laboratório para teste de bancada.....	81
4.2.3.4.2 Amostras pós-teste de bancada.....	84
4.2.3.4.3 Gráfico para análise e determinação dos parâmetros de quadro cheio.....	87
4.2.3.4.4 Determinação da quantidade de placas e quadros do sistema industrial .....	91
4.2.3.4.5 Relatório operacional do teste de bancada .....	91
4.2.3.4.6 Dimensionamentos propostos .....	93
4.2.3.5 Processamento – Filtro Tambor Rotativo à vácuo .....	101
4.2.3.5.1 Dados do equipamento de laboratório para teste de bancada.....	102
4.2.3.5.2 Amostras pós-teste de bancada.....	104
4.2.3.5.3 Dimensionamento do Filtro de Tambor Rotativo em escala industrial .....	109
4.2.3.5.4 Relatório de dados operacionais em teste de bancada.....	109
4.2.3.4.5 Dimensionamentos propostos.....	110
<b>4.2.4 Casos de Uso.....</b>	<b>119</b>
<b>6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>120</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>121</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>127</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>128</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>129</b>
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>130</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia está cada vez mais presente em nossas salas de aula. Contudo, a inclusão das tecnologias de informação e comunicação (TICs) no âmbito educacional não necessariamente provê a inovação, pois são necessárias as avaliações de sua utilização, verificando-se as oportunidades que possam desafiar tanto alunos quanto professores, de modo a transformar sua utilização em um Objeto de Aprendizagem (SONEGO; BEHAR, 2015).

Através da transformação proposta, pode-se utilizar do potencial tecnológico nos mais variados contextos de aprendizagem (CRUZ; RAMOS; RODRIGUES, 2015).

Aproveitando-se da dinamicidade e mobilidade que os dispositivos tecnológicos provêm atualmente para a sociedade, é necessário racionalizar sobre o seu melhor uso dentro do contexto educacional, tornando-os complementos das atividades escolares e potencializadores do processo de aprendizagem (SONEGO; BEHAR, 2015).

Moran (2017) afirma que a universalidade de uma educação de qualidade é fundamental, mostrando-se como um caminho para se buscar a evolução.

Os dispositivos tecnológicos podem servir como instrumento de auxílio ao professor na melhor preparação do aluno, fazendo-o usufruir ao máximo dos conceitos ensinados e instruindo-o para o mercado de trabalho ou fomentando ações de empreendedorismo. Porém, podem também dificultar o processo de aprendizagem, dispersando a atenção do discente.

No contexto do ensino atual, torna-se necessário que o professor utilize metodologias avançadas buscando o envolvimento do aluno com a tecnologia como um mecanismo de ensino. Pode-se alcançar isto por meio de ferramentas já construídas, ou pelo envolvimento do aluno durante todos os estágios da grade curricular visando à implementação de um aplicativo que seja posteriormente avaliado em forma de projeto integrante do currículo ou portfólio.

Segundo Moran (2017), a educação precisa cativar o aluno a buscar soluções, encantá-lo e seduzi-lo, e neste contexto, a tecnologia aparece como uma forma de oferecer um meio instigante de busca pelo conhecimento.

O professor atua neste aspecto, transformando sua didática para se adequar à nova realidade, estando ao lado do discente, abordando positivamente esta inclusão de tecnologias e dispositivos móveis na educação, também conhecido como *M-Learning* (DOS SANTOS *et al.*, 2020).



O trabalho em questão buscou analisar o impacto no ensino de engenharia química do uso de um aplicativo voltado para o dimensionamento de equipamentos utilizados em processos de filtração, verificando quesitos de confiabilidade e usabilidade.

A partir da utilização do *Flutter, framework* de desenvolvimento criado pela *Google Inc.* e uma adaptação de metodologia ágil baseado em *SCRUM*, buscou-se uma solução acadêmica simples para o dimensionamento de equipamentos e simulação de produção de filtros industriais.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um aplicativo relacionado a equipamentos da indústria química voltados para os processos de separação (filtração) em uma abordagem de dupla perspectiva de uso.

As perspectivas elencadas são:

- utilização pelos alunos no contexto educacional, mostrando ao discente as características dos equipamentos de filtração propostos, detalhando os passos para se dimensionar o sistema de filtração e/ou produção industrial a partir dos testes de bancada em laboratório, de forma a complementar os ensinamentos passados pelo professor e apresentando os resultados para debate.
- uso por profissionais como forma de facilitar o trabalho de dimensionamento de equipamentos e produção da indústria química.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um aplicativo auxiliar no projeto de sistemas de filtração que possua bons requisitos de usabilidade e acessibilidade, que seja passível de utilização sem conexão à internet, mas que possua também recursos que possam adicionar ainda mais à experiência do usuário quando este estiver conectado.
- Utilizar de adaptações da metodologia ágil *SCRUM* para apoiar o processo de desenvolvimento do aplicativo, produzindo mais objetos e protótipos para *feedback* em menores tempo e esforço, conseguindo-se assim uma melhor aceitabilidade do usuário com relação ao aplicativo.
- Ser uma ferramenta de apoio para o ensino de processos de filtração, fundamentando o caminho para que novos aplicativos possam ser desenvolvidos posteriormente, além de servir de suporte para decisões profissionais no ramo da indústria de processos.

- Fomentar a mentalidade do uso de tecnologias para o bem da educação.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 VISÃO SOBRE O USO DE TECNOLOGIAS EM SALA DE AULA

A tecnologia está em constante transformação e cada vez mais presente em todos os ambientes da sociedade. Com o fácil acesso a aparelhos e conectividade pelos alunos, ensinar com base em tecnologia torna-se fundamental.

Como descrito por Pombeiro *et al.* (2017), a chamada Geração Y já adentra as salas de aula com uma certa ideia do que será mostrado na disciplina, pois este conhecimento é disponibilizado e amplamente divulgado através das redes.

Contudo, os alunos sentem-se desmotivados pela forma simplesmente expositiva com que os professores, que viveram outra realidade escolar, sem acesso a *smartphone* ou internet, transmitem a informação.

Em seus estudos, Pombeiro *et al.* (2017) verificam que os coordenadores e professores analisam em sua maioria que o uso de *smartphones* e aplicativos em sala de aula servem para distrair o aluno, o que causa uma queda de rendimento. Porém, os autores analisaram, por meio da aplicação de questionários, que os professores estão chegando à conclusão de que terão que adaptar seu estilo de aula para novas tecnologias.

Considerando o aumento do uso de tecnologias em sala de aula e a atual vertente do uso de aplicativos para facilitar o acesso e disseminação à informação, deve-se analisar uma forma menos impactante de adoção destes recursos.

Dos Santos *et al.* (2020, apud VALENTE, 2001) apropriam-se de um conceito geral do uso de *software* aliados em atividades pedagógicas, categorizando-os em:

- tutoriais: o aluno define um conteúdo para visualizar e, posteriormente, pode ser questionado sobre o que aprendeu, acompanhando a correção automática das respostas. O mencionado sistema é limitado porque verifica apenas o resultado final e não o processo utilizado para alcançá-lo;
- exercício e prática: são as atividades voltadas para revisão e memorização de conteúdos vistos em sala de aula;
- simuladores: são atividades dinâmicas e simplificadas do mundo real nas quais o aluno consegue testar alternativas, elaborar hipóteses para resolver problemas, analisar resultados obtidos e redefinir conceitos.

- jogos educacionais: apresentam elementos lúdicos e de entretenimento para construir e resolver situações do dia a dia;
- *software* de autoria: os alunos podem construir e criar por meio de diversas ferramentas.

Com base nas categorizações elencadas, pode-se determinar as nuances das aplicações a serem desenvolvidas e prever o impacto de sua utilização em sala de aula.

Também de posse desta definição, o professor pode decidir a melhor forma de se apropriar da tecnologia e de que forma poderá usufruir de seus benefícios no ato de ensinar os discentes.

As escolas e universidades devem sempre buscar a tecnologia como uma forma de complementação da sala de aula, de modo a estarem sempre preparadas para situações não previstas. A título de exemplo, menciona-se a situação desencadeada pela pandemia do novo coronavírus em 2020, panorama que fez com que a educação a distância em forma integral fosse implementada às pressas pelos governos.

Com isso, novas tecnologias e ferramentas tiveram que ser desenvolvidas e/ou melhoradas para possibilitar a educação sem barreiras físicas que, ressalta-se, ainda possui vários obstáculos de efetivação do conceito de educação integral a distância, tendo em vista a existência de grandes desigualdades sociais em nosso país, assim como em outros países em desenvolvimento. Vale destacar alguns estudos que abordam a forma como a pandemia afetou os métodos de ensino em diferentes países, como:

Mahmood (2021), demonstra como um país em desenvolvimento, como o Paquistão, precisou se reorganizar tecnologicamente para enfrentar o desafio de migrar seus cursos acadêmicos *online* durante o período inicial da pandemia.

Iglesias-Prada (2021) analisou a questão por um foco qualitativo, indicando que a mudança para um paradigma de ensino virtual contribuiu para o ganho educacional dos alunos da Universidade Politécnica de Madrid. Contudo, destaca em seu estudo que o que ocorreu em 2021 foi uma troca emergencial transitória, não sendo portanto a forma correta de se realizar essas mudanças, pois necessitam de uma estrutura forte para evitar problemas e mitigar os esforços pelos professores.

Considerando os desafios enfrentados no Brasil, verifica-se a falta de equipamentos para acompanhamento de aulas *online*, principalmente na rede pública de ensino, frequentemente em escolas de áreas rurais. A situação de desigualdade social ganhou um enfoque ainda maior quando comparado à desigualdade digital (VALENTE, 2022). Apesar

dessa constatação, Alfano (2022) verificou que houve melhora no ensino remoto em 2021 no Brasil, com aumento das médias de notas de 2,7 para 5,1 nas redes estaduais.

### 3.2 O USO DE APLICATIVOS NO CONTEXTO DAS ENGENHARIAS

Relacionando os estudos de Christo *et al.* (2018) com os de Gomez *et al.* (2015), verifica-se uma gama de variáveis que acarretam altas taxas de evasão do ensino superior.

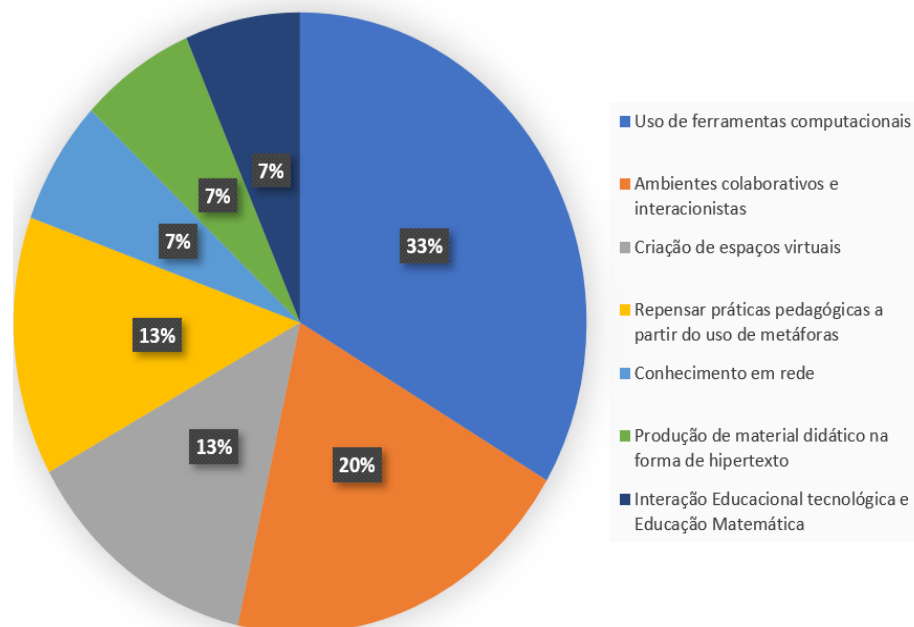
Os autores citam como principais problemas no percurso das carreiras de exatas a estruturação curricular, baixo desempenho dos alunos e transferência de cursos/instituição - atribuída também a uma expectativa não alcançada pelo aluno ou que, pelas dificuldades enfrentadas, decide tentar outra carreira.

Tais taxas altas de evasão giram em torno de 43% (GOMEZ *et al.*, 2015).

Godoy (2017), diz que a evasão nas engenharias acontece principalmente por fatores relacionados a cálculos matemáticos, o que corrobora com os estudos citados anteriormente, visto que no ciclo básico das Engenharias, se um aluno não está suficientemente preparado, ou se a didática acadêmica não for voltada a um nivelamento e depois ao aprofundamento, as chances de evasão aumentam.

Há também no trabalho apontamentos voltados para o uso de TICs com o intuito de diminuição dos índices de evasão, conforme indicado pela Figura 1.

Figura 1: Apontamentos sobre melhorias no ensino usando TICs



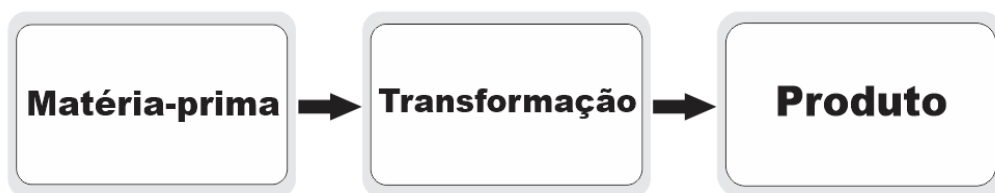
Fonte: Adaptado de Godoy, 2017

Considerando os resultados da pesquisa de Godoy (2017), há a necessidade de se adequar melhor um currículo para receber a tecnologia de forma mais fácil e com todas as possibilidades que esta visa promover. Faz-se necessário também que o docente esteja sempre preparado e seja proativo na busca de recursos para prover soluções que sejam objetivas e que consigam motivar e inspirar os alunos.

### 3.3 DEFININDO UM CAMPO DA ENGENHARIA QUÍMICA PARA O PROJETO

Creiasco (2014) define que é fundamental para o profissional de engenharia e de tecnologia a compreensão da natureza de um processamento de uma determinada matéria-prima para a obtenção de certo produto (Figura 2).

Figura 2: Processo básico de transformação



Fonte: Adaptado Creiasco, 2014

A análise do processo *in loco* de produção (indústria, universidade, laboratório etc) implica identificar as diversas dimensões envolvidas em tal produção: fluxo (volume por unidade de tempo), sequência de atividades, espera e duração de ciclo, dados e informações, pessoas envolvidas, relações e dependências entre as partes comprometidas no funcionamento do processo.

Dentro de uma indústria química, o processamento pode se dar através de processos químicos (reação) ou modificação física, também conhecida como operação unitária.

#### 3.3.1 Operações Unitárias

O conceito de operações unitárias foi criado por Arthur Dehon Little, entre 1863 e 1935. De acordo com Little, as operações incluíam processos físicos (moagem, misturação, filtração), bem como processos que envolviam reações químicas, a exemplo da ustulação, lixiviação, etc.

No entanto, o conceito de operação unitária evoluiu através do tempo e somente os processos físicos passaram a ser representados a partir desta categorização. É preciso notar,

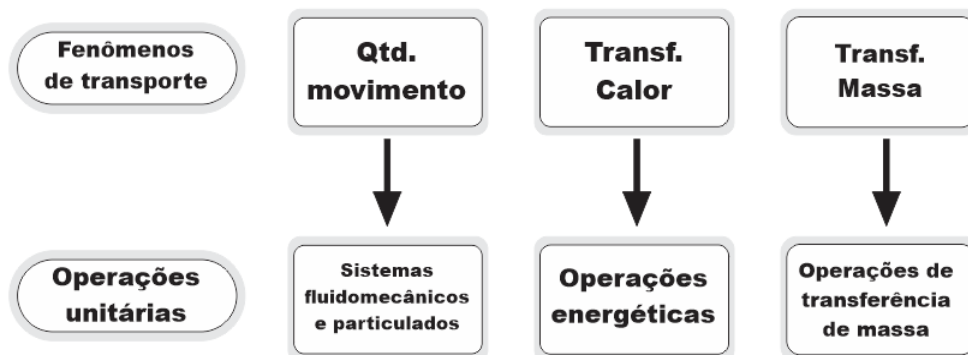
porém, que algumas reações químicas acontecem simultaneamente a processos físicos, a depender da escala em que se examina um determinado sistema (PEÇANHA, 2014).

Cremasco (2014) corrobora com a definição de Peçanha (2014) ao definir que as operações unitárias são etapas individuais que visam ao tratamento e/ou separação e/ou transporte físico de matéria e/ou energia presentes em um processo (bio)químico.

São baseadas em fenômenos de transporte, o que permite que uma operação unitária mantenha sua unicidade mesmo estando presente em processos distintos, independentemente da característica dos componentes envolvidos no processo (CREMASCO, 2014; PEÇANHA 2014).

A termodinâmica e os fenômenos de transporte fundamentam as operações unitárias, classificando-as em grupos, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3: Relação entre fenômenos de transporte e operações unitárias



Fonte: Adaptado Cremasco, 2014

Dada a relevância do tema para a indústria química, é imprescindível que os alunos compreendam o assunto em sua totalidade. Porém, o estudo das operações unitárias tem sido considerado pelos alunos uma disciplina complexa.

Ainda considerando o estudo de Godoy (2017), uma análise da situação atual do uso de aplicativos dentro da Engenharia com foco nos processos de operações unitárias foi necessária para visualizar o quesito de inovação e assim definir melhor o campo de aplicação do estudo.

Por se tratar de um tema complexo, que possui relevância acadêmica, industrial e, tendo em vista tanto as conclusões dos trabalhos de Christo *et al* (2015), Godoy (2017), Gomez *et al.* (2018) e M. de Lima (2019), principalmente o levantamento bibliométrico realizado por Freitas e Santos (2021), verificou-se a possibilidade de desenvolvimento de

aplicações voltadas para dispositivos móveis para suporte educacional no projeto de equipamentos da indústria de processos com foco em Operações Unitárias.

O estudo de Freitas e Santos (2021) demonstra a necessidade de focar os esforços de desenvolvimento em aplicações acadêmicas voltadas principalmente para áreas de filtração industrial, pois as soluções encontradas oferecem uma complexidade elevada, o que pode causar uma ampla diferenciação de experiências entre alunos, além do custo de aquisição de tais *softwares* ser elevado.

Portanto, o projeto tem como enfoque principal os processos de filtração, definidos como sistemas particulados, objetivando ser um complemento ao estudo desenvolvido por M. de Lima (2019), com foco em simulações acadêmicas e profissionais simplificadas.

A autora define em seu trabalho que há uma necessidade e um anseio por estratégias de promoção à aprendizagem, reproduzindo de forma mais realista o funcionamento de equipamentos dentro das indústrias, proporcionando aos profissionais da área a possibilidade de bons resultados no processo de dimensionamento e tomada de decisão.

Os sistemas particulados são aqueles nos quais existe a preocupação quanto ao entendimento fenomenológico da interação sólido-fluido e sólido-sólido envolvendo ou não o efeito de dispositivos fluidomecânicos (sistemas fluidomecânicos e particulados usualmente coexistem) (CREMASCO, 2014; PEÇANHA, 2014).

Ponto importante para o estudo destes sistemas é o cálculo das forças que são aplicadas mutuamente entre fluido e partículas, as quais podem ser calculadas a depender do efeito da população sobre o fluido (Mecânica Clássica com a segunda lei de Newton para casos de sistemas particulados diluídos e Teoria de Misturas da Mecânica do Contínuo quando a interação partícula-fluido é fortemente afetada pela proximidade das partículas). (PEÇANHA, 2014).

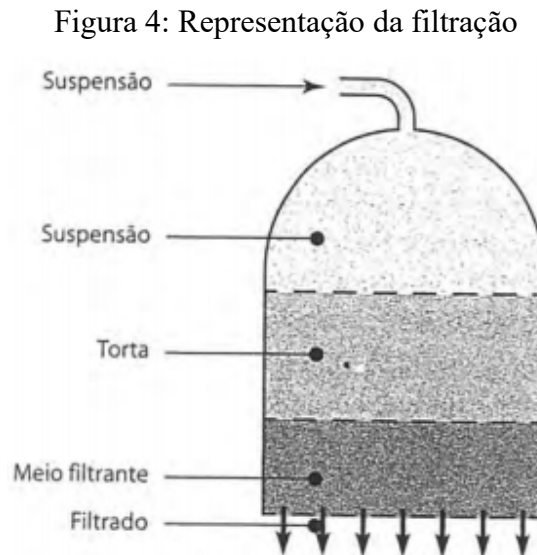
O trabalho engloba os equipamentos do processo de filtração, cuja teoria é resumidamente explicada na próxima seção.

### **3.3.2 Filtração**

Cremaço (2014) e Peçanha (2014) definem o processo de filtração como uma separação mecânica de suspensões sólido-fluido, forçada através de uma barreira ou septo poroso, conhecido como meio filtrante que retém as partículas, mas permite que o fluido o atravesse. O fluido obtido é conhecido como 'filtrado', que pode conter partículas finas que atravessaram o meio filtrante.

A fase particulada pode acumular-se sobre o filtro, atuando assim como um segundo meio filtrante e recebendo o nome de torta de filtração. Tal torta apresenta propriedades de deformação pelo gradiente de concentração de partículas e o meio (CREMASCO, 2014; PEÇANHA, 2014).

As fases envolvidas no processo são mostradas na Figura 4.



Fonte: Cremasco, 2014

É necessário, porém, diferenciar o processo de filtração simples do processo em que se utiliza centrífugas, pois a primeira ocorre através da pressão que força a suspensão percolar tanto a torta quanto o meio filtrante, enquanto a segunda utiliza da força centrífuga para efetuar a separação (CREMASCO, 2014).

Como resultado, espera-se que o produto seja um fluido clarificado ou a própria torta (CREMASCO, 2014).

A filtração é largamente encontrada nos processamentos nas indústrias químicas e correlatas, assim como nas indústrias de papel, cervejeira, sucroalcooleira e tratamento de efluentes industriais e domésticos.

### 3.3.2.1 Tipos de filtros

Cremasco (2014) classifica-os em filtros de pressão (simples) e filtros à vácuo, explicados a seguir:



- **Filtro de pressão (ou simples):**

Operam em batelada ou modo contínuo, incluindo lavagem do meio filtrante e a forma de descarga da torta ao final do ciclo de filtração, exceto o filtro do tipo de pressão de tambor rotativo.

Os tipos de filtros são:

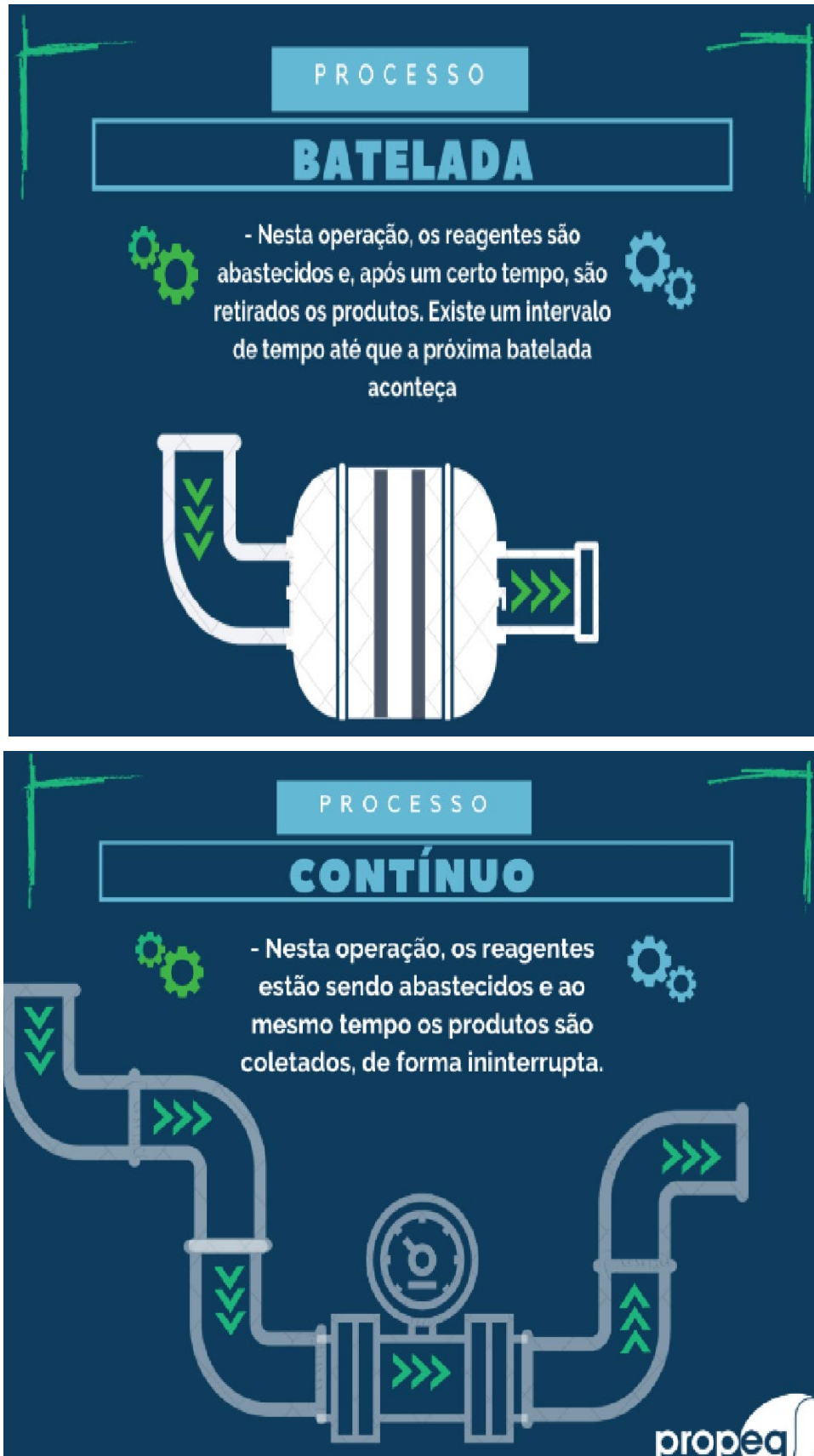
- Batelada: O sistema é carregado após cada ciclo, de forma a realizar um novo ciclo de filtração. O filtro mais empregado é o Filtro Prensa.
  - Fechados: apresentam placas horizontais, folhas verticais, velas, cartuchos (filtro tipo *Nutsch*).
  - Abertos: Filtro Prensa.
- Contínuo: Os filtros operam pressurizados e os reagentes abastecidos continuamente e, ao mesmo tempo, os produtos são coletados de forma ininterrupta, como é o caso do filtro de tambor e pressão. O filtro mais empregado é o granular.

- **Filtro à vácuo:**

A alimentação da suspensão pode ocorrer tanto no fundo quanto no topo do equipamento. Filtros granulares (contínuos) podem operar sob sistemas à vácuo para aumentar sua capacidade de filtração.

A Figura 5 demonstra conceitualmente os processos em batelada e contínuo para facilitar a compreensão do leitor, enquanto a Figura 6 ilustra os principais filtros utilizados em cada tipo.

Figura 5: Representação da filtração



Fonte: PROPEQ, 2020

Figura 6: Principais filtros por tipo de filtração

<b>Filtro granulado</b>	<b>VANTAGEM</b>	<b>DESvantagem</b>
	<p>Não apresentam problemas de pressão inferior à atmosférica e podem ser automatizados.</p> <p>Maior disponibilidade de cargas, considerando pressão em que o filtrado abandona o equipamento</p> <p>Produção de líquidos lípidos por meio da circulação do filtrado</p>	<p>Suspensão precisa ser tratada antes de ser filtrada (caso seja necessária a suspensão)</p> <p>Problemas operacionais decorrentes da dificuldade em observar as condições do meio filtrante.</p>
<b>Filtro Prensa</b>	<b>VANTAGEM</b>	<b>DESvantagem</b>
	<p>Necessita de menor área de implantação quando comparada a métodos naturais de tratamento, possibilita automatização</p> <p>Tortas resultantes apresentam baixo conteúdo de umidade</p> <p>São produzidos líquidos lípidos por meio da circulação do filtrado</p>	<p>Eficiência da filtração é bastante sensível à variações das características dos resíduos</p> <p>Difícil lavagem/manutenção do meio filtrante, assim como o interior do equipamento</p> <p>Placas podem sofrer fissuras ou romper-se</p>
<b>Filtro Tambor Rotativo</b>	<b>VANTAGEM</b>	<b>DESvantagem</b>
	<p>Necessita de menor área de implantação quando comparada a métodos naturais de tratamento</p> <p>Torta removida com facilidade</p> <p>Controle fácil dos parâmetros operacionais, como espessura da torta e a lavagem desta. Baixo custo de manutenção</p>	<p>Tortas com umidade residual maior quando comparada ao conteúdo de umidade obtido nos filtros de pressão</p> <p>Meio filtrante requer lavagem constante.</p> <p>Consumo elevado de energia pela utilização do vácuo. Construção de difícil vedação para permitir a presença de gases.</p>

### 3.3.2.2 Teoria geral da filtração com formação de torta

De acordo com Peçanha (2014), com as características físicas e mecânicas da filtração de suspensões sólido-líquido em superfície formula-se a “teoria simplificada da filtração”, validando as dez hipóteses simplificadoras sobre o escoamento de fluidos em meios porosos.

A Equação 1, conhecida como equação de trabalho da filtração em superfície, é uma função diferencial ordinária que deve ser integrada caso a caso, com o lado esquerdo revelando o significado físico, sendo o inverso da vazão volumétrica instantânea do filtrado (PEÇANHA, 2014).

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\mu}{A(\Delta P)} \left( \frac{\alpha \rho C}{A} V + Rm \right) \quad (1)$$

O autor destaca também a importância de se conhecer a resistividade da torta ( $\alpha$ ) que vai se formar dentro do filtro, além da resistência do meio filtrante ( $R_m$ ) a ser usado. Para isso, o teste de bancada em escala de laboratório é essencial, pois a área de filtração ( $A$ ) é conhecida, assim como a pressão de alimentação e temperatura, que simulam o processo em escala industrial.

Separando-se as variáveis da equação de trabalho, obtém-se a Equação 2.

$$\int dt = \frac{\mu}{A(\Delta P)} \left( \frac{\alpha \rho C}{A} \int V dV + Rm \int dV \right) \quad (2)$$

Englobando-se as três integrações indefinidas presentes na Equação 2 através de uma constante  $C_1$ , a Equação 3 pode ser definida.

$$t = \frac{\mu}{A(\Delta P)} \left( \frac{\alpha \rho C}{A} \frac{V^2}{2} + RmV + C_1 \right) \quad (3)$$

Considerando  $V$  e  $t$  iguais a 0 na Equação 3, verifica-se que  $C_1 = 0$ , obtém-se assim a Equação 4, que é uma equação da reta que prevê que, sob um  $\Delta P$  constante,  $\frac{t}{V}$  em função de  $V$  é uma reta de coeficiente angular  $B_1$  e linear  $B_2$ .

$$\frac{t}{V} = B_1 V + B_2 \quad (4)$$

A partir dos coeficientes  $B_1$  e  $B_2$  (Equações 5 e 6, respectivamente) pode-se obter os valores de  $\alpha$  e  $R_m$ .

$$B_1 = \frac{\alpha \mu \rho C}{2A^2(\Delta P)} \quad (5)$$

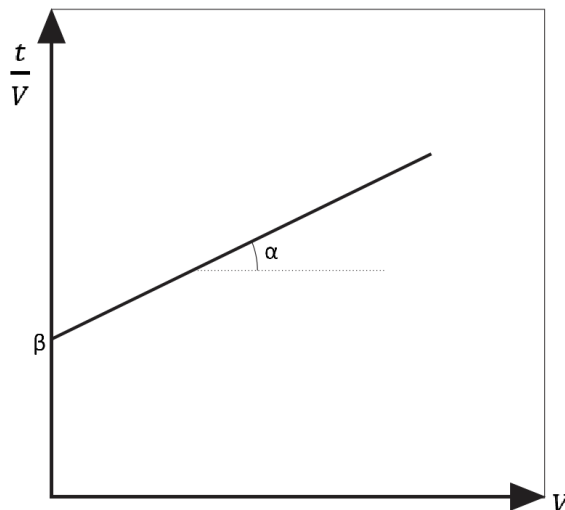
$$B_2 = \frac{\mu R_m}{A(\Delta P)} \quad (6)$$

### 3.3.2.2.1 Tortas incompressíveis

Quando há a formação de uma torta incompressível, a resistividade oferecida pela torta é constante ( $\langle \alpha \rangle = \alpha_0 = \text{cte}$ ). Por interesse industrial, na maioria das situações, a filtração é conduzida através de uma pressão constante.

O comportamento típico da reta (equação fundamental da filtração na forma integrada) dos ensaios de filtração para tortas incompressíveis é exemplificado na Figura 7 (Cremasco, 2014).

Figura 7: Obtenção de  $\langle \alpha \rangle$  e  $R_m$  - Pressão constante e torta incompressível



Fonte: Adaptado de Cremasco, 2014

### 3.3.2.2.2 Tortas compressíveis

Após depositadas na torta, as partículas sólidas movem-se lentamente em direção ao meio filtrante, comprimindo e reduzindo a porosidade da torta. A força resistiva do líquido é responsável pela compressão (PEÇANHA, 2014).

O autor define que a resistividade média da torta  $\langle \alpha \rangle$  é geralmente uma função do tipo potência de  $\Delta P$  como na Equação 7, em que,  $\alpha_0$  e  $S$  são constantes.

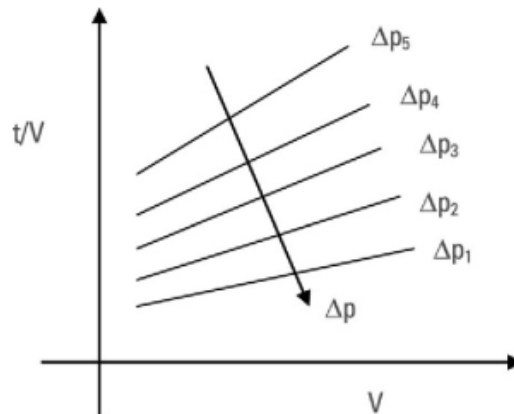
$$\langle \alpha \rangle = \alpha_0(\Delta P)^S \quad (7)$$

A equação fundamental da filtração pode ser reescrita, conforme Equação 8.

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\mu}{A(\Delta P)} \left( \frac{\langle \alpha \rangle \rho C}{A} V + Rm \right) \quad (8)$$

Fixando-se o valor  $\Delta P$  e os valores das resistividades da torta, pode-se plotar um gráfico do comportamento do sistema de filtração (Figura 8).

Figura 8: Filtração em superfície sob  $\Delta P$  constante para tortas compressíveis.



Fonte: Peçanha, 2014

### 3.4 METODOLOGIA DE PROJETO DE SOFTWARE - DESENVOLVIMENTO ÁGIL

Os sistemas de *softwares*, conforme define Sommerville (2011), são abstratos e intangíveis. Não são delimitados por propriedades materiais, nem regulamentados pelas leis da física ou processos de manufatura.

Devido a tais particularidades, são complexos, de difícil entendimento e caros para serem alterados (SOMMERVILLE, 2011).

Os sistemas estão presentes em todas as etapas de nossas vidas, ao passo que o número de pessoas interessadas nos recursos provenientes cresce de forma exponencial, assim como a demanda por produtos e serviços no âmbito governamental e individual (PRESSMAN,

2011). Estes são fatores que contribuem e impactam na percepção da necessidade de se entregar produtos de *software* cada vez mais confiáveis e com baixo custo de desenvolvimento.

Segundo Engholm Jr. (2010), algumas das dificuldades encontradas no desenvolvimento de aplicações sem o correto emprego da engenharia são:

- *softwares* sem manutenibilidade;
- reutilização de código mal elaborado;
- baixa eficiência de desenvolvimento;
- baixa qualidade de código;
- sistema com baixo desempenho e escalabilidade.

O conceito de Engenharia de *Software* foi cunhado inicialmente em 1968, durante os esforços de pesquisadores em resolver os problemas decorrentes da “crise de *software*”.

Este foi um período em que se verificou que os esforços dos desenvolvedores não eram escaláveis como eram as aplicações desenvolvidas, o que acarretava grande custo, atrasos nas entregas e falta de confiança no produto final (SOMMERVILLE, 2011).

Não são raras as situações em que, ao final de um projeto, percebia-se que o que foi desenvolvido não era o esperado (DA SILVA; LOVATO, 2016).

Sommerville (2011) destaca que a Engenharia de *Software* foi criada para corrigir problemas referentes aos custos e prazos de entrega dos sistemas, sendo tais aspectos de importante compreensão pela equipe para que as perspectivas do ciclo de desenvolvimento do projeto sejam cumpridas da forma correta.

Planejar com rigor se torna importante, pois atualmente as aplicações trabalham cada vez mais acopladas e com vários módulos desenvolvidos de forma incremental, e isso faz com que a complexidade do projeto aumente, demandando uma atenção maior dos envolvidos para com essas interações (PRESSMAN, 2011).

De acordo com Pressman (2011), dentro do contexto de desenvolvimento de sistemas, várias abordagens são utilizadas e desenvolvidas constantemente como parte de esforços em entregar valor ou um protótipo que esteja de acordo com as necessidades do usuário final.

Entende-se que Engenharia é, além de abstrair os anseios do cliente transformando-os em projetos, uma forma de organizar os recursos disponíveis, possibilitar comunicação eficiente, reduzir riscos de *software* e mitigar o trabalho em duplicidade entre as equipes.

A Engenharia de *Software*, como indicado por Pressman (2011), é uma tecnologia baseada em camadas, em que o principal foco é garantir ao cliente um produto de qualidade.

Sommerville (2011) destaca a situação emergente dos mercados globais e das mudanças ambientais drásticas entre empresas, as quais devem responder com maior agilidade a novas oportunidades de negócios e condições de mercado, de forma a permanecerem competitivas em tais cenários.

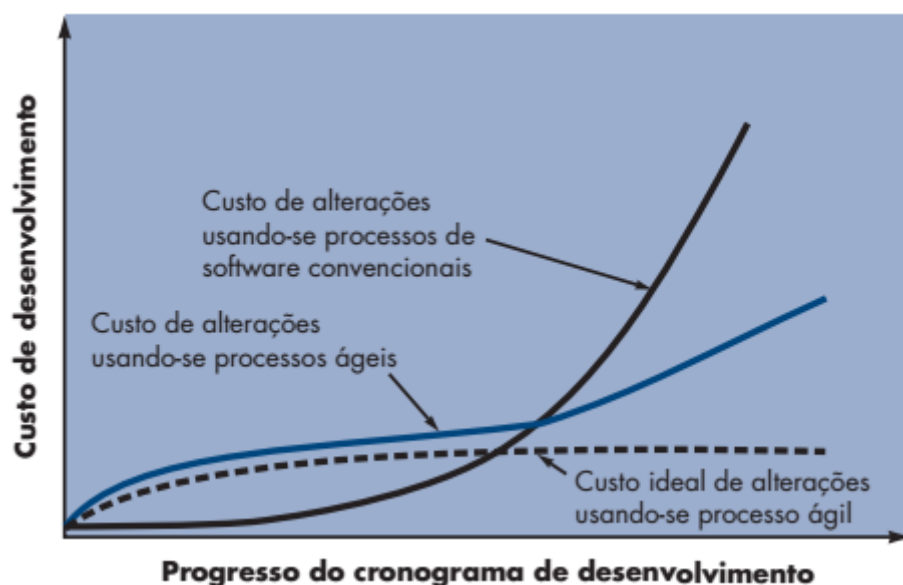
Estes fatores afetam a forma como uma aplicação é construída, na medida em que há mudanças frequentes de requisitos de usuários. Com isso, faz-se necessário que os processos de *software*, antes baseados em coletar requisitos de usuários, planejar, construir e testar, adequem-se a essa nova realidade.

Pressman (2011) prega que as mudanças em um projeto geram um custo de desenvolvimento não linear conforme o projeto avança. Considerando as abordagens estáticas de desenvolvimento de *software*, todos os requisitos são elencados, projetados, construídos e entregues ao usuário.

Qualquer alteração solicitada no meio de algum destes processos exige que os responsáveis pelo desenvolvimento interrompam suas atividades e retornem à etapa de *design*, para verificação da viabilidade da solicitação do cliente.

Em um paradigma ágil, as equipes estão em constante comunicação com o cliente e este fluxo constante de *feedbacks* faz com que qualquer alteração que apareça em uma determinada etapa possa ser melhor manuseada, estudada e implementada pelas equipes de desenvolvimento dentro de seu fluxo de trabalho, reduzindo-se assim, o custo inerente ao processo (Figura 9).

Figura 9: Custos de alterações como uma função do tempo em desenvolvimento



Fonte: Pressman, 2011



As bases que fundamentam o desenvolvimento ágil são as de entrega incremental e foco no valor percebido pelo cliente (e não a entrega de um protótipo). Como fundamenta o *Agile Manifesto* (2020), o foco deve ser na colaboração, na resposta às mudanças e nos indivíduos.

Duarte (2016) define que a entrega de valor tem que ser contínua e não pode ter um lapso temporal grande e que, a cada etapa, um incremento do produto necessita ser entregue ao cliente para satisfazer suas expectativas.

Desta forma, verifica-se a importância do *feedback* contínuo para o projeto, uma vez que gera transparência e comprometimento necessários para o alcance de melhores resultados.

Dentre todos os métodos ágeis de desenvolvimento de software, o trabalho se baseou nos conceitos do *SCRUM*, visto que é um dos *frameworks* mais utilizados em múltiplas vertentes de projetos (*software* ou não).

### 3.4.1 Framework Scrum

Os criadores do *SCRUM*, Sutherland e Schwaber, o definem como: um *framework* para desenvolver, entregar e manter produtos complexos. O *SCRUM* é um *framework*, e não uma metodologia.

Uma metodologia define aquilo que deve ser feito, é um guia, um direcionamento composto por um conjunto de diretrizes voltadas para uma gestão eficiente e eficaz em projetos.

O *SCRUM* é uma proposta de trabalho na qual diversas técnicas são aplicadas para se garantir a qualidade (DA SILVA; LOVATO, 2016, apud CRUZ, 2013).

Tem sido amplamente utilizado no desenvolvimento de *software*, *hardware*, aplicações embarcadas, veículos autônomos, escolas, governos e *marketing*. Sua base é formada pela teoria do controle empírico dos processos, a qual define o conhecimento como advindo da experiência e a tomada de decisões baseadas no que é conhecido (SUTHERLAND; SCHWABER, 2013).

De acordo com a pesquisa realizada por Sharma e Hasteer (2016), a adoção do *framework SCRUM* cresceu significativamente, tanto no âmbito das indústrias de desenvolvimento de software quanto em áreas de pesquisa. Os autores demonstram esse aumento principalmente com a informação obtida através do *9th Annual State of Agile Survey 2014*, que enaltece que a adoção ao *framework* aumentou em 56% quando comparado a outras metodologias.

O *SCRUM*, segundo seus criadores, emprega a interatividade e a abordagem incremental para otimizar o controle e a previsibilidade dos riscos (SUTHERLAND; SCHWABER, 2013). Baseia-se em três pilares:

- transparência: os aspectos significantes precisam ser visíveis para os responsáveis pela resposta;
- inspeção: os artefatos e o progresso precisam ser inspecionados para garantir que a meta não terá variações indesejáveis;
- adaptação: determina os limites de aceitação de desvio do processo. Desta forma, se houver uma determinada variação, o processo precisará de ajustes.

Os pilares são interligados, pois para ocorrer a inspeção é necessário que haja transparência. Sem transparência não há inspeção adequada, adaptação, engajamento, confiança, evolução do time e sucesso no projeto (DUARTE, 2016).

Embora o *SCRUM* possua uma série de artefatos e eventos que devem ser utilizados à risca para que a sinergia entre as etapas se conclua e, assim, a entrega de valor seja realmente a esperada, Duarte (2016) analisa que boa parte das empresas que adota o *framework* não o faz em sua totalidade.

No entanto, isto pouco importa, desde que haja a entrega de resultado para o cliente, como citado por Duarte (2016), considerando o caso do uso do *Spotify* “construa princípios sólidos e metas claras, mas adapte a execução conforme a necessidade - isso é ser ágil”.

A adaptabilidade do *framework* é importante para sua adoção, pois os métodos tradicionais falham no aspecto de serem estáticos e seguirem um modo sequencial, com ênfase em documentação e rigidez a qualquer mudança (SHARMA; HASTEER, 2016).

O envolvimento do usuário final em uma metodologia convencional é menor, lenta e consome um grande tempo do processo (SHARMA; HASTEER, 2016).

De acordo com o *Scrum Guide* (SUTHERLAND; SCHWABER, 2013), os componentes do *SCRUM* são:

#### **Eventos:**

- *Sprint*: é o coração do *SCRUM*, composto por outros eventos que são utilizados para alcançar alguma meta. Toda *Sprint* possui uma meta a ser desenvolvida, um plano flexível e desenhado que irá guiar a construção, o trabalho e o incremento a ser realizado.

Segundo Knapp *et al.* (2017), este evento força a equipe a se concentrar nas questões mais urgentes. Nenhum problema é grande demais que não possa ser condensado em *Sprints*.

- *Sprint Planning*: o trabalho a ser desenvolvido na *Sprint* precisa ser criado junto ao time *SCRUM*, o que se faz dentro de uma reunião denominada *Sprint Planning*.
- *Daily SCRUM*: reunião diária para verificação do que se está desenvolvendo dentro de uma *Sprint*. Meio para melhorar a colaboração e performance das inspeções do trabalho.
- *Sprint Review*: averiguação realizada ao final da *Sprint* para verificar o incremento produzido e adaptar o *Backlog* caso seja necessário.
- *Sprint Retrospective*: ocorre após o *Sprint Review* e antes do próximo *Sprint Planning*. Oportunidade para a equipe se inspecionar e criar um plano de melhorias para *Sprint* seguinte.

A chance de revisitar o processo e ajustar a próxima *Sprint* confere a vantagem de poder errar, aprender com esse erro e acertar (Duarte, 2016).

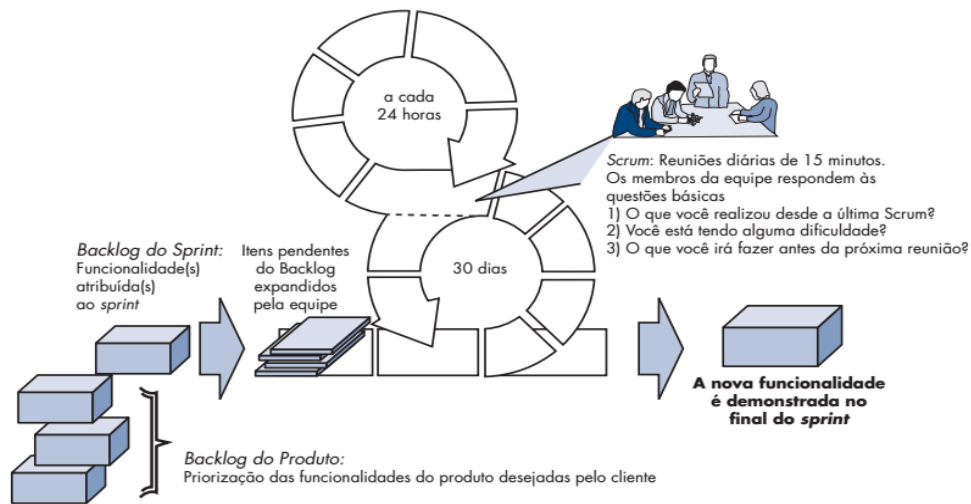
#### **Artefatos:**

- *Product Backlog*: é uma lista ordenada de tudo o que é conhecido e necessário para o produto. Nunca está completo, está sempre em evolução.
- *Sprint Backlog*: é um conjunto de itens selecionados do *Product Backlog* que definem onde a equipe irá desempenhar suas funções (metas da *Sprint*).

A *Sprint Backlog* pode ser adaptada a mudanças, de acordo com a *Daily Scrum* realizada.

- *Incremento*: é o somatório de todos os itens do *Product Backlog* completados após uma *Sprint* e o valor dos incrementos de todas as *Sprints* anteriores.

Os eventos e artefatos (componentes do *SCRUM*) mencionados são mostrados na Figura 10.

Figura 10: Fluxo do processo *SCRUM*

Fonte: Pressman, 2011

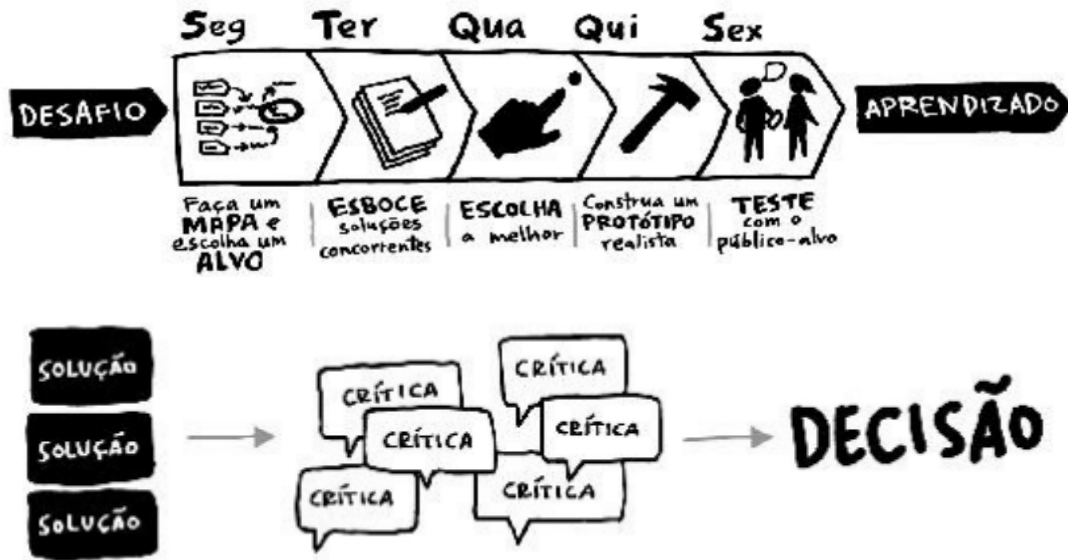
Todos os eventos citados possuem tempo limite para sua execução. É importante manter a *Sprint* o mais minimalista possível, bem detalhada e especificada, para que se evite trabalhos que não sejam realmente integrados à etapa que deverá ser desenvolvida durante o mês da *Sprint* (DUARTE, 2016).

Tal priorização pelo tempo e a minimização de trabalho não essencial conduz a níveis relativamente mais altos de eficiência e qualidade das entregas incrementais (DUARTE, 2016).

De acordo com Knapp *et al.* (2017), não existe um problema que não possa ser esboçado em *sprints*, que auxiliam testes de novas ideias e a fazer mais coisas em menos tempo.

Os autores listam uma série de atividades que precisam ser desenvolvidas para que a *Sprint* possa funcionar da forma correta durante a semana, entre eles (Figura 11):

- **Segunda-feira:** mapeamento do problema e escolha de onde se concentrar;
- **Terça-feira:** esboço de soluções;
- **Quarta-feira:** tomada de decisões e transformação de ideias em hipóteses;
- **Quinta-feira:** construção de um protótipo realista;
- **Sexta-feira:** testes de validação.

Figura 11: Esboço de *Sprint*

Fonte: Knapp *et al.*, 2017

É válido sempre lembrar que, conforme mencionado por Duarte (2016), a equipe de desenvolvimento não objetiva simplesmente escrever códigos, mas sim fazer parte de projetos, ser parte de algo desafiador e se comprometer com algo que acredita estar certa.

Empresas não querem simplesmente *softwares* instalados em servidores ou máquinas de funcionários, mas sobretudo soluções para problemas, produtividade e competitividade (DUARTE, 2016).

### 3.5 DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVOS PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS

De acordo com os dados levantados pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - Tecnologia da Informação e Comunicação (PNAD Contínua TIC) 2018, do IBGE, o número de aparelhos celulares conectados à *internet* no Brasil aumentou de 97% para 98,1% de 2017 a 2018, enquanto houve uma redução de uso de aparelhos como computadores (de 56,6% para 50,7%) e tablets (14,3% para 12%) (AGENCIA BRASIL, 2020).

Além disso, a pesquisa também indica que 79,3% da população brasileira utiliza um aparelho celular (AGENCIA BRASIL, 2020).

Em outra pesquisa de julho/2019, verifica-se o crescente número de usuários pelas plataformas disponíveis (CONSUMIDOR MODERNO, 2020). Cerca de 91% de usuários do Brasil são adeptos à plataforma *Android* (Google), enquanto apenas 7% utilizam

*smartphones iOS (Apple)*, e, segundo os dados levantados pela pesquisa, a quantidade de aparelhos conectados supera o número da população mundial (7,9 bilhões de dispositivos).

Infere-se que as pessoas estão usando cada vez mais *smartphones* e outros dispositivos móveis para acessar a *internet*, e com isso é necessário prover uma melhor experiência de acesso e uso para esses usuários (RAKESH; KANNAN, 2017).

Os dispositivos móveis, cada vez mais inerentes à vida cotidiana, evoluem continuamente (seja em questão de *hardware* ou *software* mais avançados) e oferecem cada vez mais recursos para a população, como meios de entretenimento, acesso à informação e solução de problemas do dia a dia (DA SILVA; SANTOS, 2014).

Com o crescente uso de aparelhos e as melhorias em redes de internet, os professores precisam se adequar para transformar os dispositivos conectados em facilitadores do conhecimento, e não em itens de dispersão (SONEGO; BEHAR, 2015).

Transformar o aprendizado pelo uso de tecnologias é um desafio para os professores, que precisam estar preparados e capacitados (SONEGO; BEHAR, 2015).

Segundo Sonego e Behar (2015), o *M-Learning* se diferencia do *E-Learning* pelo fato de desenvolver a aprendizagem móvel a partir de dispositivos adequados, promovendo um ensino individual e ao mesmo tempo colaborativo, presencial ou virtual.

É essencial definir as bases conceituais dos dois sistemas operacionais mais utilizados (*Android* e *iOS*), assim como os tipos de desenvolvimento de aplicativos adotados no mercado atualmente.

Tanto *Google* quanto *Apple* trabalham intensamente na construção de seus sistemas operacionais, impondo particularidades na escolha de uso de metodologias de desenvolvimento pelos desenvolvedores de aplicações.

### **3.5.1 Sistemas Operacionais**

#### *3.5.1.1 Android*

*Android* é um sistema operacional baseado no *kernel* do *Linux*, criado por Andy Rubin, Rich Miner, Nick Sears e Chris White. Em sua criação, a ideia era fornecer um sistema simples para os desenvolvedores e gratuito (*open source*) a todas as pessoas que quisessem ter acesso.

Em 2005, a *Google Inc.* adquiriu o *Android*, e com isso iniciou sua Divisão de Pesquisa em Tecnologia Móvel (CALLAHAM, 2020).

Por ser um *open source*, a *Google* disponibiliza as ferramentas de criação *Android* (*Android SDK*) para desenvolvedores, além de fornecer seu sistema para as mais variadas empresas fabricantes de aparelhos, difundindo seu sistema operacional e consequentemente, sendo líder do mercado.

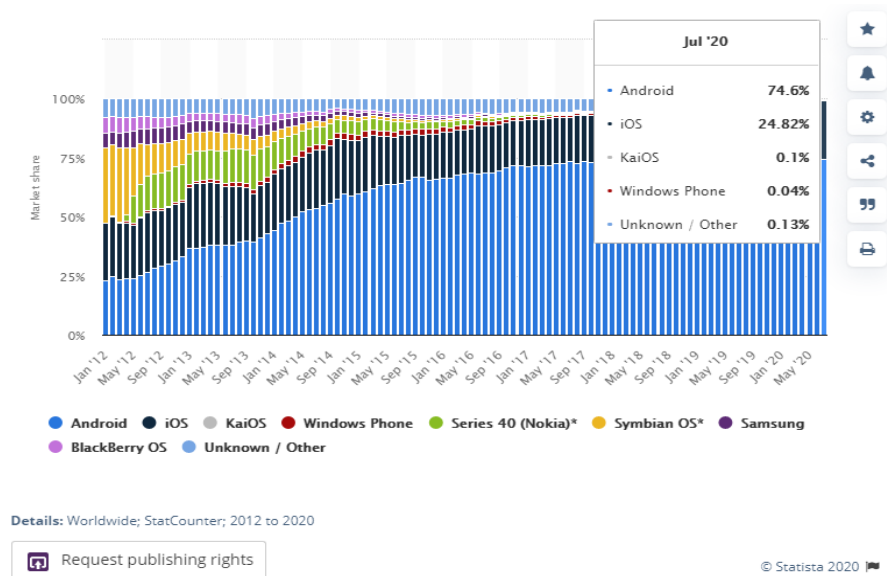
Além disso, a Aliança *Open Handset* (*Open Handset Alliance*) formada por 84 companhias de tecnologia em busca de uma experiência mais rica, melhor e com menor custo em um ecossistema móvel aberto favoreceram esse domínio do sistema operacional da *Google* frente aos concorrentes (OPEN HANDSET ALLIANCE, 2021).

As vantagens do sistema *Android*, de acordo com Rakesh e Kannan (2017), envolvem:

- possibilidade de desenvolvimento a partir de qualquer plataforma;
- maior abertura do ambiente do sistema, sendo possível o acesso de histórico de chamadas e notificações entre aplicativos, assim como compartilhamento de conteúdo;
- os aplicativos podem ser instalados a partir de qualquer fonte (não sendo necessário ser somente pela *Play Store*).

Atualmente, o *Android* é o Sistema Operacional líder do mercado mundial, tendo ultrapassado 74% de participação de mercado, somando mais de 2,5 bilhões de *smartphones* ativos no mundo (ANDROID, 2020), em comparação com seus concorrentes (Figura 12).

Figura 12: *Market share* mundial – S.O para dispositivos móveis até Jul/2020

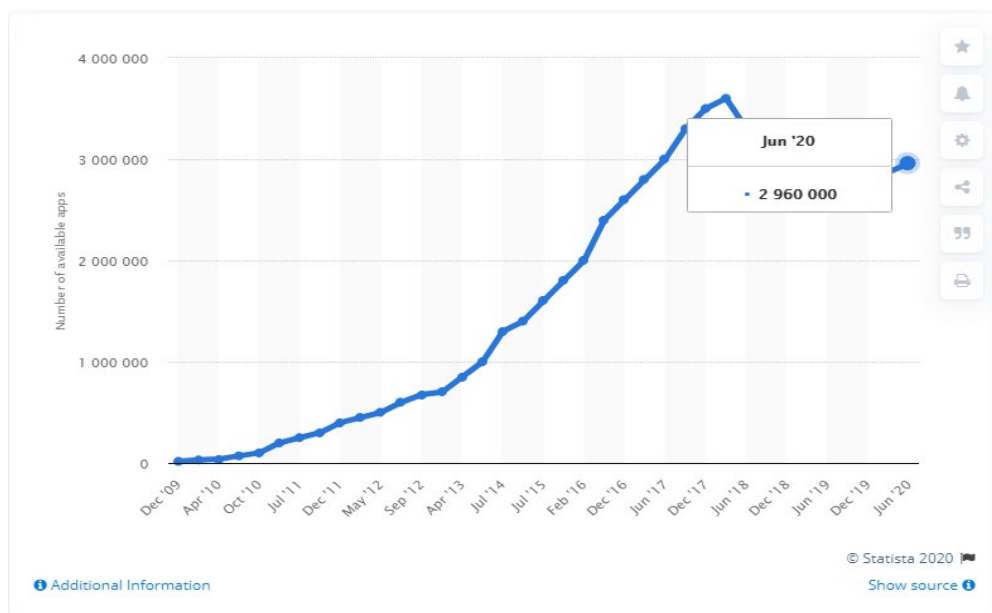


Fonte: Statista, 2020

A plataforma de disponibilização de aplicativos é a *Google Play Store*. Esta possuía, até Junho/2020, uma base de aproximadamente 3 milhões de aplicativos disponíveis, entre pagos e gratuitos (Figura 13).

Dentro da plataforma, um desenvolvedor pode submeter uma aplicação para que seja avaliada e disponibilizada para usuários a partir do aceite nos termos do Contrato de Desenvolvedor e pagamento da taxa vitalícia da licença de US\$ 25,00 (GOOGLE PLAY, 2020).

Figura 13: Aplicativos disponíveis *Google Play Store* - Junho 2020



Fonte: Statista, 2020

### 3.5.1.2 iOS

Desenvolvido pela *Apple Inc.*, o *iOS* foi lançado em 2007 juntamente com o primeiro *iPhone*. Seu *kernel* é baseado em *XNU*, que por sua vez é o *kernel* utilizado no *MacOS* (MEYER, 2020).

Atualmente, é reconhecido como um dos melhores sistemas operacionais justamente por ser, ao contrário da *Google* com o *Android*, totalmente integrado a um *hardware* que é fabricado pela mesma empresa, podendo usufruir assim de todas as suas especificações técnicas.

As vantagens do sistema *iOS*, de acordo com Rakesh e Kannan (2017), são:

- novos recursos são disponibilizados mais rapidamente;
- a *API OpenGL* é um padrão gráfico da plataforma;



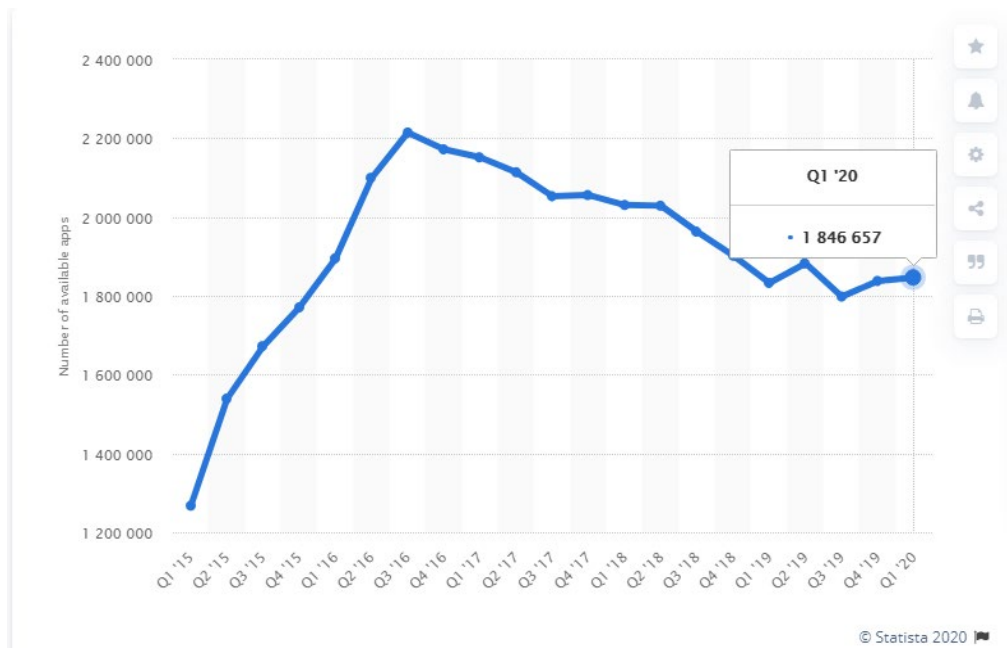
- navegação não prescritiva - os usuários podem definir os comportamentos de navegação entre os aplicativos.

Apesar de ser uma empresa considerada de nicho de mercado, a *Apple* é uma das empresas que mais crescem, totalizando mais de US\$ 2 trilhões de dólares de valor de mercado (INFOMONEY, 2020).

Para desenvolver e publicar aplicativos no repositório da empresa (*App Store*) é necessária a criação de uma conta de desenvolvedor, bem como o pagamento de uma taxa de licença anual no valor de US\$ 99,00 (IOS, 2020).

A Figura 14 apresenta o crescimento médio de aplicativos ativos disponibilizados pelo repositório.

Figura 14: Aplicativos disponíveis *Apple Store* - primeiro quarto de 2020



Fonte: Statista, 2020

### 3.5.2 Tipos de aplicativos

Dentro das possibilidades de escolha para desenvolvimento de aplicativos móveis, há várias vertentes que necessitam ser analisadas para que uma melhor abordagem seja escolhida para o projeto.

As possibilidades são descritas a seguir.

### 3.5.2.1 Aplicativos nativos

Aplicativos nativos são desenvolvidos especificamente para uma determinada plataforma, utilizando-se de ferramentas proprietárias (linguagem, ambiente de desenvolvimento e emulador).

A partir do desenvolvimento nativo, obtém-se aplicativos que conseguem extrair melhor os recursos e processamento dos equipamentos. Ressalta-se que, por mais que novas tecnologias tenham evoluído, tais aplicativos ainda possuem um melhor desempenho (PREZOTTO; BONIATI, 2014).

Segundo Da Silva e Santos (2014), o que diferencia o desempenho de aplicações nativas é o uso de *APIs*, entendidas como rotinas e padrões de programação para acesso e conexão entre aplicações. Com isso, o desenvolvedor pode usufruir ao máximo de recursos disponibilizados pelas plataformas.

Desenvolver aplicativos nativos exige uma equipe que possua conhecimentos específicos, pois cada plataforma possui sua particularidade e um aplicativo escrito para determinado dispositivo não irá funcionar em outro. Não há compatibilidade entre os sistemas – o que acarreta, portanto, o aumento do custo de desenvolvimento de uma nova aplicação para a nova plataforma, caso a empresa decida implementar.

Com isto, o custo de desenvolvimento de aplicativos nativos geralmente é maior devido à necessidade de várias equipes implementarem para cada dispositivo, como observado por Fortunato e Bernardino (2018).

Outro ponto importante a se destacar no que diz respeito ao desenvolvimento nativo é a possibilidade de disponibilização dos aplicativos em repositórios de aplicação proprietários, o que pode aumentar a visibilidade do *software* e também ser uma fonte de monetização para os desenvolvedores (DA SILVA; SANTOS, 2014).

Conforme demonstrado em artigo publicado por Sousa (2020), somando-se as receitas de *Play Store* (Google) e *App Store* (Apple), tem-se aproximadamente US\$ 23 bilhões de dólares, sendo que somente o repositório da *Google* obteve 22 bilhões de *downloads* de aplicativos em 2020.

No caso dos sistemas operacionais citados no tópico anterior, as linguagens, ferramentas de desenvolvimento, repositório e valores de licença para desenvolvedores são mostradas na Tabela 1. Verifica-se uma enorme diferença entre os valores praticados em licenças pelas empresas (M. DE LIMA, 2019).

Tabela 1: Características dos sistemas operacionais móveis.

Plataforma	Empresa	Linguagem	IDEs	Repositório	Licença
Android	Google Inc	Java, Kotlin	Android Studio	Play Store	U\$25,00 (vitalícia)
iOS	Apple Inc	Swift, Objective C	XCode	App Store	U\$99,00 (anual)

Fonte: Adaptado de F. de Lima, 2019

Com as diferenças analisadas e o maior acesso aos aparelhos *Android*, a base de aplicativos do repositório da *Google* alcançou aproximadamente três milhões de aplicativos (pagos e gratuitos) (EISHIMA, 2020).

O desempenho de programas nativos é superior pelo fato de o código desenvolvido ser um arquivo de imagem binário executável, o qual é armazenado diretamente no sistema do dispositivo.

Com isso, o desenvolvedor consegue usufruir do *hardware* do aparelho através do uso das *APIs*, sem a necessidade de um *middleware* (aplicação intermediária) entre o código desenvolvido e o sistema operacional (DA SILVA; SANTOS, 2014), conforme demonstrado na Figura 15.

A parte visual do *software* é controlada pelo sistema operacional do aparelho, logo, tem-se uma padronização de *design*.

Figura 15: Interação de aplicativos nativos com dispositivos móveis



Fonte: Autor, 2020

### 3.5.2.2 Progressive Web Apps (PWAs)

O desenvolvimento de aplicativos baseados em internet não é novidade.

Os conhecidos *web apps* já possuíam essa característica de serem responsivos, *i.e.*, se adequarem aos dispositivos de execução, e por serem disponibilizados diretamente em servidores de *internet*, não exigindo atualização em repositórios de aplicativos quando há uma alteração no *software* (FORTUNATO; BERNARDINO, 2018).

Os *Web Apps* são uma alternativa menos dispendiosa financeiramente do que o desenvolvimento de aplicações nativas (FRANSSON; DRIAGUINE, 2017).

Elas podem ser adicionadas e carregadas a partir da área de trabalho. Porém, os recursos não estarão disponíveis sem conexão de *internet* (FRANSSON; DRIAGUINE, 2017).

Segundo Prezzoto e Boniati (2014), somente aplicações nativas e híbridas podem ser disponibilizadas em repositórios, como *Play Store (Google)* e *App Store (Apple)*, e isso seria um fator negativo ao se adotar os *Web Apps*, pois quando uma empresa adota este tipo de aplicativo, perde a visibilidade que os catálogos de aplicativos *online* oferecem, bem como a possibilidade de monetização pelo seu trabalho.

No entanto, com a evolução das ferramentas, *frameworks* como *Angular* e *React* possibilitaram a inovação dos *web apps*, que se tornaram *PWAs*, que são aplicativos que podem se comportar de modos diferentes, adequando-se e permitindo variadas funcionalidades a depender do tipo de plataforma em que é executada.

Os *PWAs*, diferentemente dos *Web Apps*, podem ser executados *offline*, pois partes de seus recursos são registrados nos arquivos de sistema, assim como em *cache*, o que também possibilita um acesso rápido à aplicação (através do uso de *service workers*) (FRANSSON; DRIAGUINE, 2017).

Fransson e Driaguine (2017) elencam também que outra vantagem dos *Progressive Web Apps*, qual seja, a possibilidade de disponibilização em lojas de aplicativos.

Para publicar o *PWA*, é necessário utilizar programas que fazem um encapsulamento dos arquivos em forma de aplicativos nativos, bem como adicionam configurações para que as plataformas possam realizar curadoria da aplicação.

Apesar de utilizar tecnologias baseadas na *W3C*, é possível acessar recursos nativos dos aparelhos, pois os *frameworks* de desenvolvimento como *Angular* e *React* possuem recursos para acesso a estes serviços (FORTUNATO; BERNARDINO, 2018).

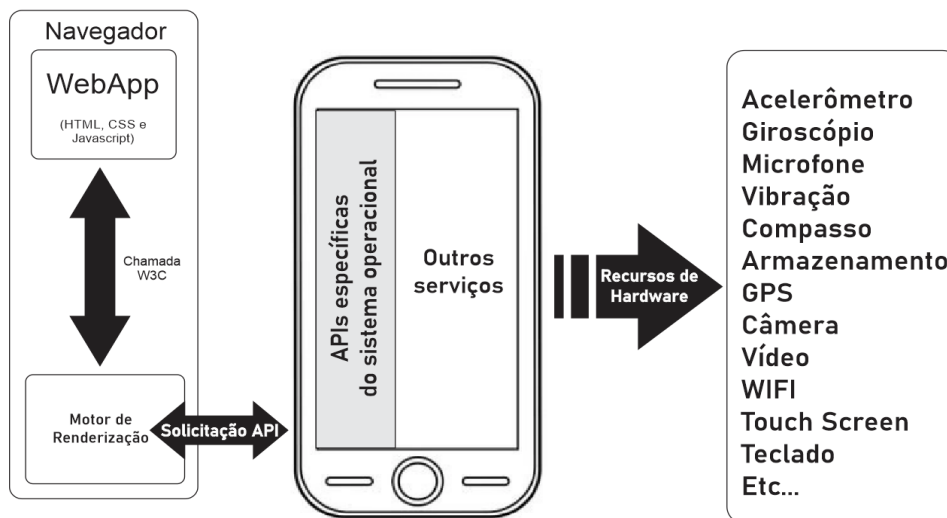
Segundo Fortunato e Bernardino (2018), a ideia central do *PWA* é que ele se comporte como um sistema nativo e que seja independente de plataforma, navegador ou sistema operacional (*cross-platform*).

O único requisito do dispositivo que irá executar a aplicação é possuir um navegador, pois o código de desenvolvimento do aplicativo é baseado em tecnologias *web*, como *HTML*, *Javascript* e *CSS*. O *CSS* (*Cascading Style Sheets*) controla o *design* das páginas, logo temos uma variabilidade maior quando comparado com aplicativos nativos (FORTUNATO; BERNARDINO, 2018).

Fortunato e Bernardino (2018) demonstram o conceito do *Progressive Web App* quando citam um aplicativo para *upload* de fotos. No caso de ser executado em *smartphones* ou aparelhos que possuam câmera, o *software* solicitará as *APIs* correspondentes e abrirá o dispositivo para uso. Ao contrário, ao ser executado em navegadores via *desktop*, permitirá o envio de uma foto a partir de um formulário.

A interação entre o programa desenvolvido e o aparelho é demonstrada na Figura 16.

Figura 16: Interação de *web apps* com dispositivos móveis



Fonte: Autor, 2020

A desvantagem de se desenvolver *Progressive Web Apps* é a falta de unificação entre navegadores, embora Fortunato e Bernardino (2018) verifiquem a existência de esforços para que essa unificação possa acontecer brevemente.

Porém, para aplicações em que se exige utilização de recursos nativos de aparelhos, o uso de *PWAs* pode ser um obstáculo de desenvolvimento. Também é necessário um servidor remoto para que o serviço seja disponibilizado ao usuário (FORTUNATO; BERNARDINO, 2018).

Em seus estudos, Fransson e Driaguine (2017) mostram que, embora a tecnologia de *PWA* tenha se desenvolvido bastante nos últimos anos, ainda há uma perda relativa de desempenho e utilização de memória quando se trata do acesso a determinados recursos como a câmera do dispositivo.

Contudo, o mesmo estudo mostra que a utilização de geolocalização não é afetada significativamente por tal problema de desempenho, o que demonstra que a resposta varia de acordo com cada recurso acessado.

Uma estratégia para equipes de desenvolvimento em empresas que possuem recursos limitados, conforme ressaltado por Fortunato e Bernardino (2018), é o desenvolvimento de *PWAs* com o fim de atrair usuários e mostrar sua ideia para que, posteriormente, possam desenvolver uma aplicação nativa, fazendo com que as funcionalidades que não existiam no *Progressive Web App* possam ser oferecidas como um recurso extra.

### 3.5.2.3 Aplicativos multiplataformas

Rakesh e Kannan (2017) definem as aplicações multiplataformas como o melhor dos dois mundos (nativos e *web apps*).

Utilizam-se de tecnologias *web* e são compiladas para diferentes dispositivos a partir de um só código base (escreva uma vez, rode em qualquer lugar), reduzindo consideravelmente os custos de desenvolvimento e tempo de implementação.

Ao contrário das *PWAs*, os aplicativos híbridos contam com *frameworks* de interface do usuário para desenvolvimento do *layout* do aplicativo, o que pode oferecer mais funcionalidades com relação ao dispositivo, mas também pode deixar a aplicação um pouco mais lenta em comparação a soluções nativas, pois o acesso às *APIs* nativas se dá através de chamadas *Javascript* externas (RAKESH; KANNAN, 2017).

O desenvolvimento híbrido baseia-se em utilização de *frameworks* que encapsulam bibliotecas que oferecem ao desenvolvedor toda a gama de recursos que ele pode disponibilizar dentro de seu aplicativo.

Dentre os principais *frameworks* para desenvolvimento híbrido, destacam-se:

- ***React Native:***

Publicado pela *Facebook* em 2015, é um dos *frameworks* de código aberto mais utilizados para desenvolvimento de aplicações híbridas. É baseado em *React* (REACT NATIVE, 2020).

Como cita F. de Lima (2019), a principal desvantagem do *React Native* é a utilização das pontes de compilação da linguagem para o sistema operacional, o que causa pequenos problemas de desempenho.

Porém, as vantagens são: a estrutura em componentes, o alto engajamento da comunidade, tornando seus códigos e funções bastante reutilizáveis, além de a documentação presente no site servir como um guia de fundamentos para novos desenvolvedores.

A curva de aprendizado também é baixa, principalmente para desenvolvedores já acostumados com tecnologias *web*.

F. de Lima (2019) destaca em seu trabalho que o *React Native* é o *framework* mais conhecido e utilizado atualmente.

- ***Ionic*:**

*Framework* criado em 2012 desenvolvido sobre a plataforma do *Apache Cordova* (IONIC, 2020) e que engloba as principais estruturas já estabelecidas e comprovadas para desenvolver um *SDK* robusto (DORMANN, 2020).

F. de Lima (2019) destaca a compatibilidade com a tecnologia *web AngularJs*, proporcionando um aumento substancial do que pode ser utilizado e criado com o *Ionic*.

Atualmente o *Ionic* também disponibiliza compatibilidade com o *React*, do *Facebook*.

No estudo de F. de Lima (2019), o *framework Ionic* obteve desempenho relativamente inferior em performance e uso de memória, quando comparado com seus concorrentes.

Como desvantagem de uso, o autor cita que para um código funcionar com recursos nativos de outras plataformas há a necessidade de se realizar ajustes e adaptações, e o processo de atualização/desenvolvimento das bibliotecas para acesso nativo pode demorar.

Além disso, a utilização de um *WebView* pode tornar um aplicativo desenvolvido em *Ionic* muito lento, sendo interessante sua adoção para pequenos projetos (F. DE LIMA, 2019).

- **Vue.js:**

*Framework* progressivo para construção de interfaces com usuários baseada em *Javascript*, centrado na renderização declarativa e na composição de componentes visuais (VUE, 2020).

Possui uma curva de aprendizagem menor e sua biblioteca principal é focada exclusivamente na camada visual.

Foi criada com base nas virtudes do *React* e do *Angular*, tentando minimizar os problemas identificados nas duas tecnologias (FORTUNATO; BERNARDINO, 2018).

A partir do estudo de F. de Lima (2019), verificou-se que o *Vue* possui pouca documentação e baixo engajamento da comunidade apesar de possuir bom desempenho.

- **Flutter:**

Desenvolvido pela *Google Inc.* a partir de 2017, o *Flutter* tem se tornado popular atualmente, considerando-se o seu crescimento exponencial com a adoção da tecnologia por várias grandes empresas (como *AliBaba*, *BMW*, *Ebay* e *Nubank* (NUBANK, 2020) e *iFood* (MOVILE, 2020)).

O *Flutter* baseia-se em componentes e possui uma alta escalabilidade.

O fato de não utilizar *Javascript* e sim a linguagem *DART* faz com que a compilação seja realizada AOT (*Ahead of time*), realizando a compilação antes da inicialização da aplicação (F. DE LIMA, 2019).

F. de Lima (2019) cita como vantagens para a escolha do *Flutter* o fato de os aplicativos gerados terem alto desempenho e serem bem fluidos, possuírem componentes próprios baseados em *Material Design*, ser de fácil configuração e ter uma baixa curva de aprendizagem.

Como aspecto negativo, o uso da linguagem *DART* pode não ser um atrativo, bem como o fato de o *framework* ser extremamente novo.

A prescindibilidade de um servidor remoto para a disponibilização do serviço e a independência de navegadores são algumas das principais vantagens da utilização de aplicações híbridas. Pode-se elencar também o fato de ter um custo menor de desenvolvimento e de não exigir conhecimentos específicos de plataforma para implementação (RAKESH; KANNAN, 2017).



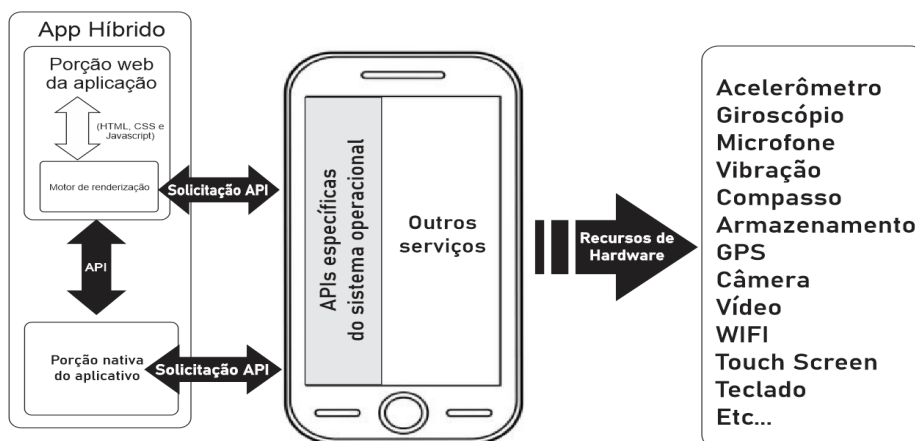
Como desvantagem ao desenvolvimento de aplicações híbridas tem-se uma perda de desempenho em relação a aplicações nativas, pois a necessidade de se utilizar um *framework* para comunicar o código desenvolvido com as *APIs* pode consumir mais memória e processamento do aparelho (RAKESH; KANNAN, 2017).

Todavia, segundo a abordagem de avaliação por métrica de Reis (2019), verificou-se que não há uma perda de desempenho tão grande nos aplicativos híbridos em comparação com os *Progressive Web Apps*, e que novas abordagens e melhorias em *frameworks* existentes podem auxiliar um aplicativo híbrido a ter um desempenho bem semelhante a um nativo.

M. de Lima (2019) define que o uso da vertente de desenvolvimento híbrido para aplicativos móveis deve se dar principalmente quando há a necessidade de aplicações menos robustas e com uma programação mais rápida.

A Figura 17 apresenta a forma de interação entre um aplicativo híbrido e o sistema operacional do dispositivo.

Figura 17: Interação de aplicativos híbridos com dispositivos móveis



Fonte: Autor, 2020

### 3.6 EXPERIÊNCIA DE USUÁRIO (*USER EXPERIENCE - UX*)

Para disponibilizar um aplicativo que consiga suprir os anseios dos usuários, faz-se necessário o estudo não somente dos métodos e *frameworks* de engenharia e tecnologias de dispositivos, mas também os aspectos de *design* de serviços e aplicações que possam ser relevantemente traduzidos para o cotidiano de quem usará a tecnologia.

O desenvolvedor deve ter em mente que o *software* necessita ser alinhado aos objetivos de negócio e focar na experiência holística de uso, principalmente considerando a jornada do usuário dentro da aplicação (AELA.IO, 2019).

Por isso, é requisito primordial a usabilidade da aplicação. Por usabilidade, Allabarton (2021) define como a facilidade de uso e capacidade de aprendizagem pelo usuário. Quanto mais fácil de se operar, melhor será a experiência do usuário.

O termo *UX (User Experience)*, cunhado por Donald A. Norman enquanto trabalhava na *Apple* verifica a percepção da importância que a experiência do usuário possui no desenvolvimento de novos produtos, sejam estes tecnológicos ou não. A partir dessa melhoria para o usuário, tem-se uma fidelização dos clientes, redução em custos e aumento da percepção de valor agregado (CODIGO FONTE TV, 2019).

Há a necessidade de ressaltar, contudo, que *UX* não é como o produto se parece, e sim como o usuário se sente ao utilizá-lo. É focar em utilidade, facilidade de uso e eficiência nas interações com o produto/serviço e como este pode ser continuamente melhorado (ALLABARTON, 2021).

Considerar os aspectos que envolvem os cenários e os usuários que serão afetados pelo serviço torna-se essencial no contexto do desenvolvimento de uma aplicação, pois, quando se trabalha em premissas da própria experiência, por possuírem toda uma história com os processos da aplicação, a equipe de desenvolvimento frequentemente falha ao entregar uma experiência satisfatória ao usuário (ALLABARTON, 2021).

As pessoas criam modelos mentais de tudo aquilo com o que interagem. Estes modelos são formados pela experiência, treinamento ou instrução, servindo como guias para ajudar em seus objetivos e para entender o mundo (NORMAN, 2013).

A partir desta definição, Norman (2013) analisa que os conceitos de produto por usuários e desenvolvedores formam dois vértices distintos, e a comunicação eficiente auxilia a construção de bons modelos conceituais.

Norman (2013) também reflete sobre os desafios impostos pela rapidez das inovações tecnológicas: ao mesmo tempo que simplificam a vida humana fornecendo mais funções para os equipamentos, são uma complicação por dificultarem o uso. O autor define esta situação como o Paradoxo da Tecnologia.

Conforme artigo da Editora Aela.io (2019), *User Experience* não é somente planejar o sistema quanto ao seu desenho (*layouts*, telas e botões), e sim, pensar em toda a interação do usuário e processamento de dados do início ao fim. É a aplicação multidisciplinar das seguintes competências:

- *Design* de interação
- Arquitetura da informação
- *Design* visual

- Psicologia
- *Storytelling*
- *Design Thinking*

Aguillard (2019) considera a Arquitetura da Informação como um dos aspectos mais importantes dentro do processo de desenvolvimento da experiência do usuário por se tratar da prática de organizar o conteúdo da aplicação de forma a apresentar de forma fácil e intuitiva os passos para se completar a tarefa pretendida.

É necessário, portanto, entender o que se pretende desenvolver, os anseios dos usuários e abstrair ao máximo o contexto real para que a aplicação agregue valor ao cotidiano dos *stakeholders*.

Para isso, o desenvolvedor deve realizar pesquisas e entrevistas, para conseguir de fato desenhar a aplicação centrada na experiência do usuário da melhor forma possível.

Allabarton (2021) define *UX* como sendo um processo contínuo, em que novas implementações podem gerar novos requisitos que irão influenciar na decisão de melhorar novamente a experiência da aplicação. Para alcançar a melhor experiência de usuário, faz-se necessário seguir um processo de desenvolvimento, compreendida em:

- Pesquisa de usuário
- *Design*
- Teste
- Implementação

A pesquisa de usuário ensina a equipe de desenvolvimento sobre o comportamento, objetivos, motivações e necessidades dos usuários, através da criação de alguns artefatos, como *Personas*, Jornada de usuário e cenários. A pesquisa elenca também como os usuários navegam pelo sistema, como se sentem quando interagem com o produto e onde encontram problemas (ALLABARTON, 2021).

Schön *et al.* (2017) em seus levantamentos de revisão verificaram que as histórias de usuário são o artefato mais utilizado quando do *design* da experiência do usuário.

Através do estudo prévio do cenário da aplicação, a equipe de desenvolvimento pode guiar a implementação do serviço através da utilização de ferramentas como *Wireframes*, que são esboços das interfaces e interações do usuário com as telas do sistema (Figura 18).

Figura 18: Exemplo de *Wireframe*



Fonte: Adobe, 2021

O *Wireframing* auxilia a descoberta de diferentes métodos de representação de conteúdo e informação, assim como priorizar a informação já encadeada através da Arquitetura de Informação, em ordem de importância para o usuário (AELA.IO, 2019; ALLABARTON, 2021).

Após a validação do *Wireframe*, um protótipo é desenvolvido, sendo este uma versão mais simplificada do produto final, em que os testes de aceitação pelos usuários ocorrerão.

Com o uso do protótipo a intenção de um recurso fica mais clara para o usuário, possibilitando sua reparação antecipada no caso de inconsistências e erros, consequentemente reduzindo custos e tempo de desenvolvimento (AELA.IO, 2019; ALLABARTON, 2021).

King (2014) cita que a quantidade de dados gerados por aplicações reflete tanto no controle quanto nas responsabilidades das equipes de desenvolvimento. Além disso, cita dois questionamentos principais que devem ser analisados para melhorar continuamente a forma de agregar valor às aplicações. São eles:

- O que as pessoas querem alcançar ao utilizar um produto/serviço?
- O produto/serviço está entregando valor para o usuário de forma correta?

Com base nesses questionamentos, por exemplo, a equipe de desenvolvedores do *Spotify* aprimora continuamente sua plataforma visando melhorar a sensação do usuário ao utilizar o serviço (KING, 2014).

## 4 MÉTODOS

### 4.1 ASPECTOS GERAIS DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO

Considerando os aspectos levantados no referencial teórico, foi desenvolvido o aplicativo ADSI-F (Aplicativo de Dimensionamento e Simulação Industrial - Módulo

Equipamentos de Filtração), uma solução tecnológica para profissionais da indústria e alunos de Engenharia Química voltada para projetos de equipamentos de filtração.

No perfil educativo, o aplicativo demonstra sequencialmente como é realizado o dimensionamento de equipamentos de filtração e simulação de produção em escala industrial, de acordo com testes de bancada realizados em laboratório, revelando-se uma fonte de conhecimento e de mitigação de dúvidas. Para este perfil, vídeos sobre os equipamentos são disponibilizados, bem como representações de como operam.

Já no perfil profissional, o aplicativo mostra os resultados finais, sem o vínculo educacional do perfil anterior.

A escolha por um aplicativo híbrido ocorreu por trazer uma maior flexibilidade com o *layout* do produto final, rapidez de implementação da aplicação e possibilidade de desenvolvimento para *iOS* e *Android*.

Na Tabela 2, itens marcados por asterisco (\*) indicam que não há total correlação daquilo que é medido, por exemplo, *PWAs* podem ser disponibilizados em repositórios, porém alguns critérios podem dificultar a disponibilização.

Tabela 2: Análise de cada contexto de desenvolvimento

<b>Tipo</b>	<b>Acesso ao dispositivo</b>	<b>Custo de desenvolvimento</b>	<b>Repositórios de aplicativos</b>	<b>Multiplataforma</b>
Nativo	SIM	CARO	SIM	NÃO
PWA	PARCIAL	BARATO	SIM*	SIM
Híbrido	SIM	BARATO	SIM	SIM*

Fonte: Adaptado de Prezotto e Boniati, 2020

O *Flutter* foi utilizado como *framework* de desenvolvimento por ser uma tecnologia que vem crescendo no mercado. Ele apresenta características visuais agradáveis, uma curva de aprendizado reduzida, rapidez de implementação e possui em seu cerne a linguagem *DART* que, embora não tenha a adesão que o *Javascript* possui, é fundamentada no paradigma de orientação a objetos, o que facilita o trabalho de abstração da realidade dos equipamentos para o projeto.

Por mais que os estudos indiquem que o *React Native* seja líder de mercado e uma linguagem madura e consolidada, a escolha pelo *Flutter* é também explicada pelo fato de ser uma aposta da *Google*, gigante do mercado e gerador de tendências e proprietária do *Android*, logo as atualizações do sistema operacional tendem a ter uma paridade com as atualizações propostas pelo *Flutter*.

Para manter uma base dos dados e simulações registradas durante o uso da aplicação, a plataforma *Firebase* foi utilizada. De acordo com Silva (2022) o *Firebase* pode ser rotulado como *Backend-as-a-Service (Baas)*, sendo uma plataforma de desenvolvimento de aplicativos móveis da *Google* que ajuda o desenvolvedor a criar, melhorar e expandir as aplicações.

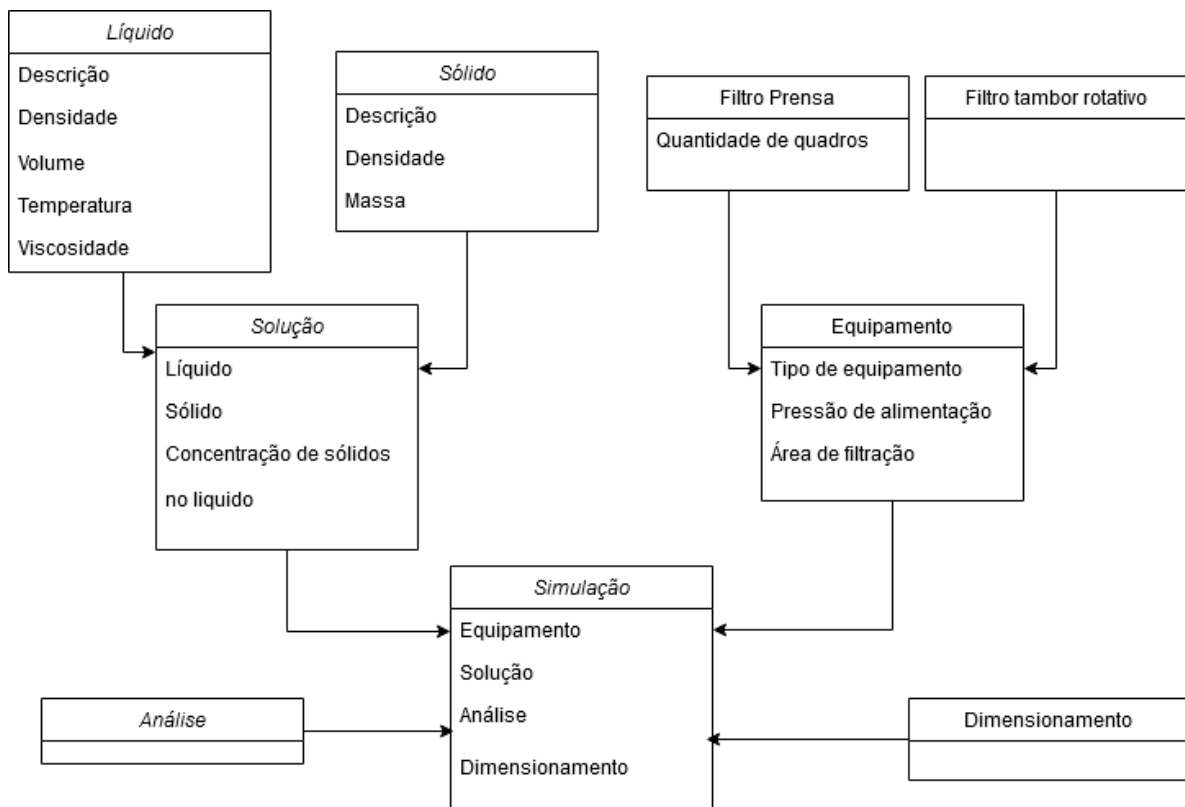
Entre as ferramentas fornecidas pelo *Firebase* estão estruturas de banco de dados, como o *Realtime Database* e o *Cloud Firestore*, que podem armazenar dados estruturados em documentos e sincronizar os aplicativos correspondentes em milissegundos sempre que ocorre uma transformação de dados (SILVA, 2022).

O *Cloud Firestore* foi a ferramenta escolhida, sendo um banco de dados em nuvem *NoSQL* flexível, escalonável que possibilita armazenar e sincronizar dados para o desenvolvimento do lado servidor e cliente (FIREBASE, 2022). Entre suas principais características estão:

- flexibilidade: disponibiliza estruturas de dados hierárquicas flexíveis. Armazena os dados em documentos, organizados em coleções.
- consultas expressivas: pode-se utilizar consultas para recuperar documentos individuais e específicos ou recuperar todos os documentos em uma coleção que corresponda aos parâmetros da consulta.
- atualizações em tempo real: sincronização de dados para atualizá-los em qualquer dispositivo conectado.
- suporte *offline*: armazena em cache os dados ativamente usados pela aplicação, possibilitando escrita, leitura e consulta de dados mesmo que o dispositivo esteja desconectado. Quando o dispositivo retorna ao estado *online* as alterações são sincronizadas com o *Cloud Firestore*.
- projetado para escala: oferece replicação automática de dados em várias regiões, fortes garantias de consistência, operações atômicas em lote e suporte real a transações.

Os dados serão registrados de forma a obedecer o padrão de componentização do ADSI-F. Embora os dados do *Firestore* não sejam relacionais, os documentos para registro dos componentes foram criados de modo a facilitar o entendimento da aplicação de forma holística, conforme Figura 19. Os aspectos específicos, diferenciados principalmente na etapa de registro de simulações, serão apresentados em cada seção.

Figura 19: Diagrama de classe genérico – ADSI-F



Fonte: Autor, 2022

Utilizou-se conceitos adaptados de metodologia ágil no decorrer do projeto visando a frequente interação entre desenvolvedor e orientador, objetivando obter validações mais rápidas dos protótipos para uma entrega de valor constante, com agilidade e qualidade.

Contudo, o panorama de desenvolvimento não foi adotado na totalidade, pois o projeto possuía em seu escopo um desenvolvedor e um orientador, o que não possibilitou a separação de times, nem revisões da forma como a metodologia descreve ser o correto.

Adaptou-se o *framework SCRUM*, principalmente a formulação de *Sprints* para guiar os fluxos de desenvolvimento.

Dentre as várias abordagens de Engenharia, o estudo foi baseado no aspecto de Metodologias Ágeis (*Agile Development*), que atualmente estão em foco pela possibilidade

de maior integração do usuário final com as equipes de desenvolvimento, *feedback* rápido e troca de experiências, visando à entrega de valor de forma rápida e consistente.

Conforme mencionado anteriormente, decidiu-se pela adequação de metodologia e boas práticas por ser um projeto que consta de uma equipe reduzida, portanto, determinadas escolhas não foram realizadas por *brainstormings* ou por *Daily Scrums*.

As tarefas que foram intercaladas no cronograma foram realizadas via *Sprint* (Figura 20).

Figura 20: Cronograma de desenvolvimento do projeto

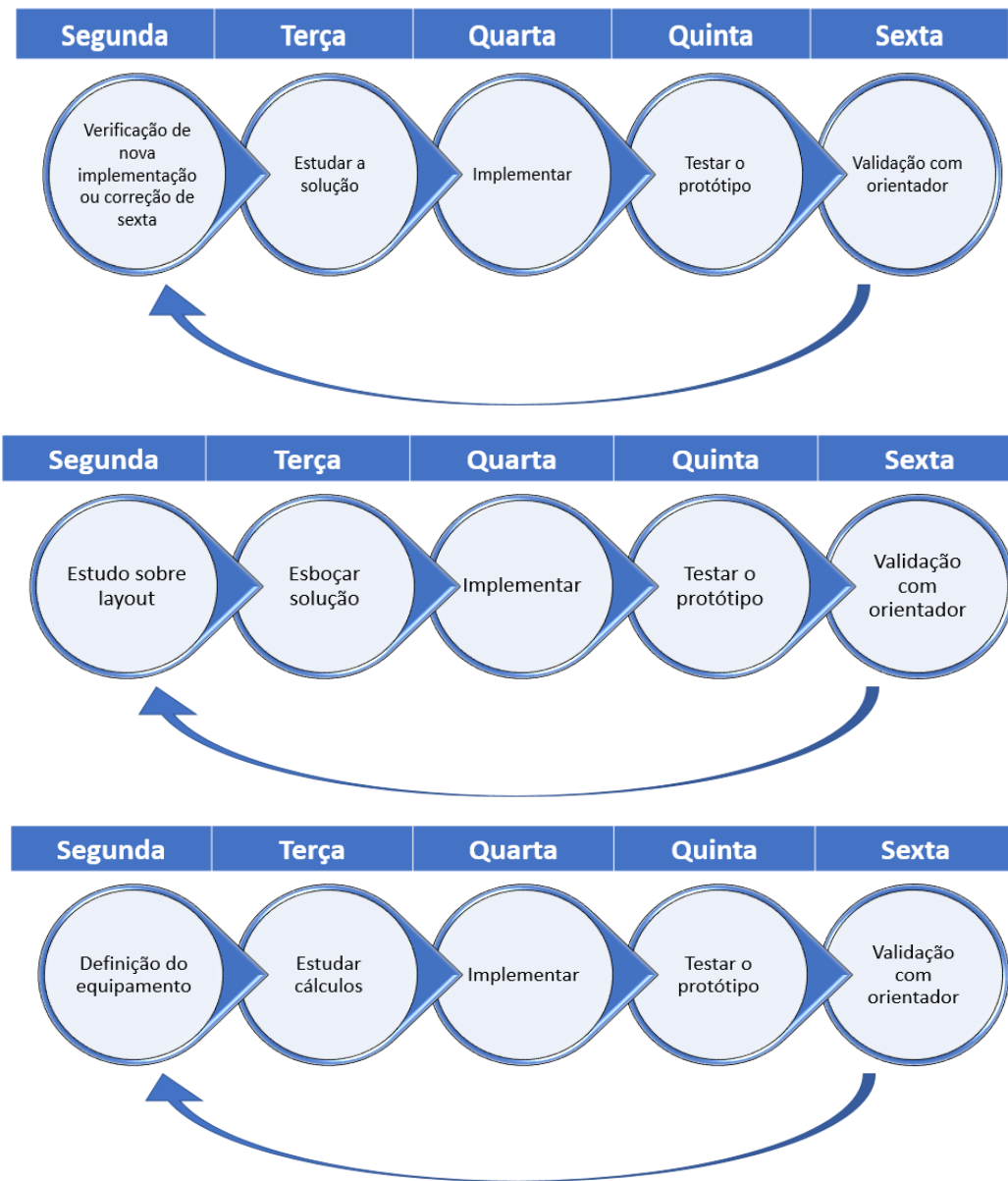
Descrição	Meses/Ano													
	ago./20	set./20	out./20	nov./20	dez./20	jan./21	fev./21	mar./21	abr./21	mai./21	jun./21	jul./21	ago./21	set - dez/21
Elaboração do projeto de pesquisa	■	■												
Correções e validações do projeto de pesquisa			■	■	■									
Escrita de revisão bibliométrica		■	■											
Estudo de Flutter			■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Definições sobre equipamentos e prototipação				■		■		■		■				
Feedbacks do orientador						■		■		■		■		
Ajuste do aplicativo e dissertação / registro de software para defesa														■

Fonte: Autor, 2020

A divisão das *sprints* ocorreu de acordo com o instante em que o projeto se encontrava: a avaliação de *layout*, estudos sobre equipamentos que seriam disponibilizados no aplicativo e *feedbacks* para validação do conteúdo do *software*.

Um esboço de como as *Sprints* foram utilizadas dentro do projeto são ilustradas na Figura 21.



Figura 21: Esboço de *Sprint*

Fonte: Autor, 2020

#### 4.2 ADSI-F

O aplicativo ADSI-F (Figura 22) foi desenvolvido com o objetivo de ser uma ferramenta simples e intuitiva para o dimensionamento e projeto de equipamentos de filtração.

Figura 22: Tela de apresentação – ADSI-F



Fonte: Autor, 2021

A implementação modular em forma de componentes que o *Flutter* provê facilita a criação rápida de telas, o que conceitualmente auxilia a adoção de uma metodologia de desenvolvimento ágil.

Passada a etapa de inicialização na *SDK* (*software development kit*), o desenvolvimento passou a ser mais fluido, facilitando bastante a implementação, abrindo espaço para novas atualizações do *software* com adições de outros equipamentos de filtração.

A seguir, serão apresentados os aspectos gerais do aplicativo desenvolvido e o comportamento do sistema através dos módulos.

Ao iniciar o aplicativo, uma tela de carregamento é mostrada enquanto o sistema carrega todos os módulos necessários para seu funcionamento.

Uma das características que marcam positivamente o *Flutter*: a compilação *AOT* (*Ahead Of Time*), em que o processo de compilação ocorre antes da execução do aplicativo.

Esta característica proporciona um tempo de inicialização mais rápido quando o aplicativo é publicado, enquanto sua compilação é *JIT* em desenvolvimento (*Just-in-Time* – em tempo de execução), facilitando a utilização do recurso *Hot-Reload* (OBINNA, 2021).

#### 4.2.1 Pensando na UX da aplicação

Conforme introduzido na seção 3.6 (i.e Experiência de usuário), é importante analisar a forma como os usuários irão interagir em uma aplicação antes de seu desenvolvimento, visando um melhor gasto de tempo, esforços e custo no processo de *software*.

Contudo, com a adaptação do *framework SCRUM* fez-se necessário analisar o impacto de uma abordagem focada ao usuário (*Human-centered design*) com uma metodologia de desenvolvimento ágil e verificar se há benefícios mútuos para a adoção.

Para essa validação, a revisão sistemática de literatura proposta por Schön *et al.* (2017) oferece suporte para a importância de um melhor uso das metodologias, principalmente quanto ao levantamento e alterações de requisitos de *software* junto a usuários e *stakeholders*.

Apesar da grande quantidade de estudos sobre o desenvolvimento de sistemas que incluem o envolvimento do usuário, somente metade dos resultados verificaram o vínculo do usuário diretamente no processo de desenvolvimento (SCHÖN *et al.*, 2017).

Schön *et al.* (2017) também sinalizam que este envolvimento é necessário para que o processo seja validado durante todas as fases, não tendo um levantamento de requisitos inicial como um ponto único confiável.

Integrar uma metodologia de *software* ágil ao desenvolvimento centrado no usuário é desafiador. O envolvimento dos *stakeholders* é um fator crítico de sucesso pois, comparado com abordagens tradicionais, este envolvimento não é limitado a fases iniciais de desenvolvimento, ocorrendo durante todas as fases do processo (SCHÖN *et al.*, 2017).

Conclui-se, portanto, que por serem conceitos relativamente novos e ainda em desenvolvimento, é necessário reforçar a importância do pensar em experiência de usuário dentro de metodologias específicas, como no caso o *SCRUM*.

No campo do projeto ADSI-F, alguns fatores impediram a adoção sistemática dos processos de *design* de *UX* desde o ponto inicial, por exemplo, o escopo de equipe (orientador e orientando), além da situação da pandemia do novo coronavírus, impedindo principalmente, contato com acadêmicos e profissionais, que seriam os potenciais usuários da aplicação.

Contudo, olhando de forma holística de como o processo de dimensionamento de equipamentos de filtração é realizado, pode-se separar os perfis genéricos de usuário (*personas*) de acordo com as necessidades de cada grupo.

O desenvolvimento, portanto, pautou-se inicialmente em agrupar os pontos importantes para os perfis (estudante ou profissional).

Um estudo sobre os recursos que são relevantes a cada tipo de usuário foi realizado conforme Figura 23.

Figura 23: Perfis genéricos de usuário

	<p style="text-align: center;"><b>Perfil: Estudante</b></p> <p><b>Objetivos:</b> Aprender os conceitos relacionados ao dimensionamento de equipamentos de filtração a partir de simulações de exercícios.</p> <p><b>Comportamento do sistema: Instrucional.</b> Sistema dará liberdade para o usuário, contudo irá bloquear o registro de dados quando as unidades métricas não apresentarem consistência com as grandezas representadas de acordo com o especificado</p> <p><b>Módulos tutoriais: Presente</b></p>
	<p style="text-align: center;"><b>Perfil: Profissional</b></p> <p><b>Objetivos:</b> Projetar equipamentos de filtração visando redução de incertezas ao se dimensionar equipamentos.</p> <p><b>Comportamento do sistema: Voltado para resultado.</b> O interesse do perfil profissional será prover ao usuário o resultado do dimensionamento a partir de poucas manipulações e interações com o sistema, permitindo uma experiência mais direta.</p> <p><b>Módulos tutoriais: Não presente</b></p>

Fonte: Autor, 2021

Após o levantamento das necessidades de cada perfil de usuário, foi desenvolvido um *wireframe* indicando o fluxo operacional do sistema (conforme apresentado no Apêndice A). As particularidades de cada perspectiva de usuário são:

➤ Estudante

Este perfil apresenta um teor educativo, sendo que pela necessidade de seguir passo a passo o processamento do usuário, um dos recursos inseridos nesse perfil foi o módulo de conversão de unidades (explicado na seção 4.2.1.1). Além disso, possui módulos tutoriais (Seção 4.2.1.2) que auxiliam o usuário na manipulação dos dados e uso do aplicativo.

Por mais que o ADSI-F vise ser intuitivo, um auxílio para o usuário que o executará pela primeira vez, ou que esteja iniciando seus estudos na área de Operações Unitárias é essencial para tornar a experiência mais agradável e interessante.

➤ Professional

Perfil que tem como principal característica apresentar o resultado com o menor número de interações e esforço possível.

Por se tratar de um usuário que necessita desta agilidade para a tomada de decisões, alguns pontos são dispensados quando do processamento dos dados, por exemplo, os tutoriais (exceto tutorial inicial) e o módulo de conversões, presentes no perfil acadêmico.

#### 4.2.1.1 Módulos de tutoriais

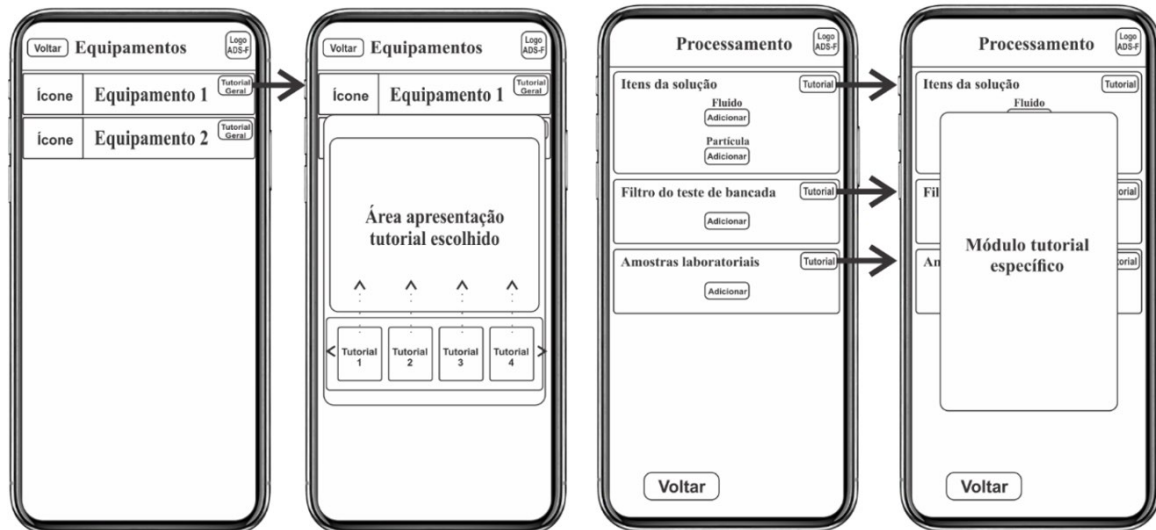
Os módulos de tutoriais foram criados para facilitar o uso da aplicação pelo usuário. Esses componentes não aparecem para o usuário automaticamente, pois há a necessidade de interação com os botões de informação, disponibilizados sempre nos cantos direitos da tela, criando um padrão de *layout* para quem utilize o sistema.

Ao clicar sobre o botão de acesso ao módulo de tutoriais, o usuário terá a sua disposição, textos, imagens, vídeos e tabelas com informações sobre determinada etapa de processamento de dimensionamento do equipamento selecionado.

O ADSI-F possui módulos de tutorial geral, para conhecimento prévio da aplicação, e específicos, que auxiliam a experiência do usuário entre os módulos. O primeiro, presente na tela inicial de escolha dos equipamentos (Seção 4.2.3) sendo comum para todos os perfis de usuário, enquanto o segundo só é disponibilizado para a perspectiva acadêmica, estando presente em toda a jornada do usuário, para que a experiência seja mais intuitiva, sendo este um ponto de mitigação de dúvidas.

A Figura 24 mostra o esboço do *wireframe* dos componentes de tutorial (geral e específicos).

Figura 24: *Wireframe* módulos tutoriais



Fonte: Autor, 2021

#### 4.2.1.2 Módulos de conversão de unidades

Outra característica que diferencia as perspectivas dentro do ADSI-F é a presença do módulo de conversão de unidades métricas para auxiliar o usuário.

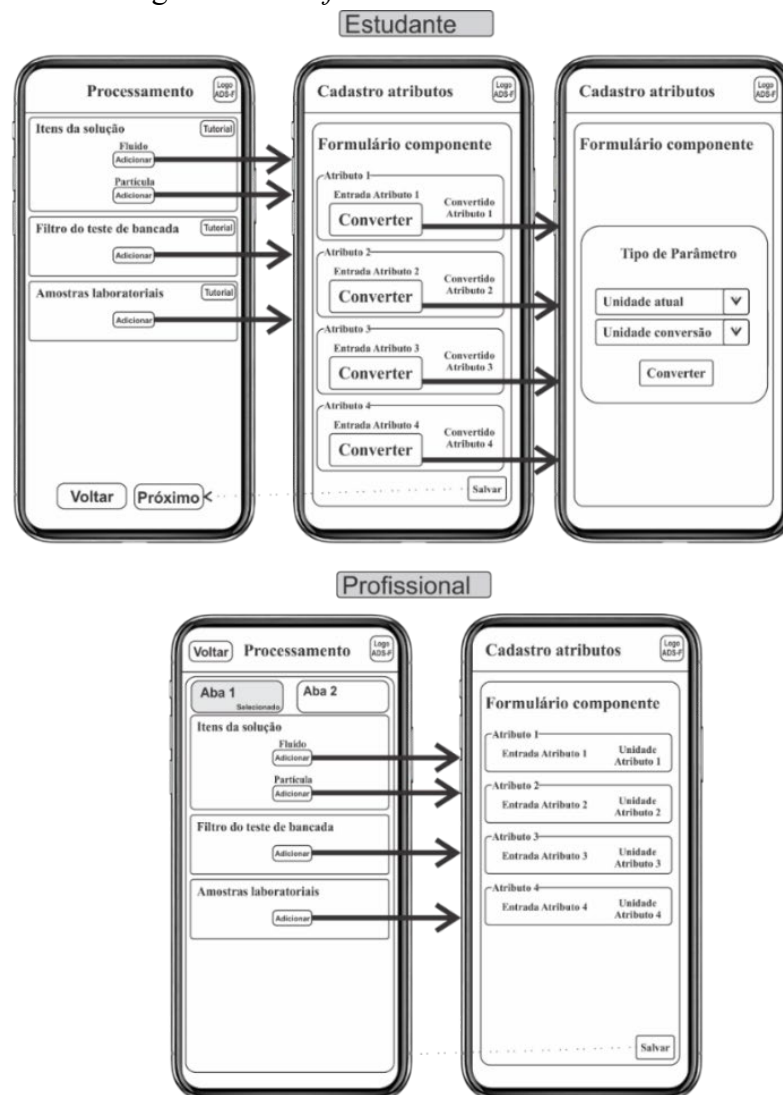
Quando acadêmico, ao resolver exercícios propostos em aula, o usuário poderá ter variadas unidades métricas dos parâmetros que necessitem ser convertidos para o processamento consistente e correto dos cálculos.

No caso deste usuário, o sistema evita o acesso à próxima etapa caso as unidades não sejam informadas no padrão esperado. Dentro da aplicação, todas as unidades deverão ser preenchidas de acordo com o sistema CGS.

Há duas possibilidades de inserção de dados pelo estudante, podendo informar na unidade correta, ou efetuando-se a conversão para a unidade desejada.

Já o profissional, pela necessidade de adquirir rapidamente os resultados para tomada de decisão, poderá informar os dados brutos. O próprio ADSI-F irá realizar a conversão das unidades de acordo com o padrão estabelecido.

As diferenças entre os perfis estudante e profissional, quanto aos formulários dos parâmetros dos componentes de filtração, podem ser visualizadas na Figura 25.

Figura 25: *Wireframe* módulo de conversão

Fonte: Autor, 2021

#### 4.2.1.3 Dados numéricos

De modo a padronizar a manipulação de dados de ambos perfis de usuário dentro do ADSI-F, decidiu-se convencionar o modo como as informações numéricas são mostradas em tela, utilizando-se tanto três casas decimais quanto notação científica na base dez (ex.:  $0,456 \times 10^3$ ).

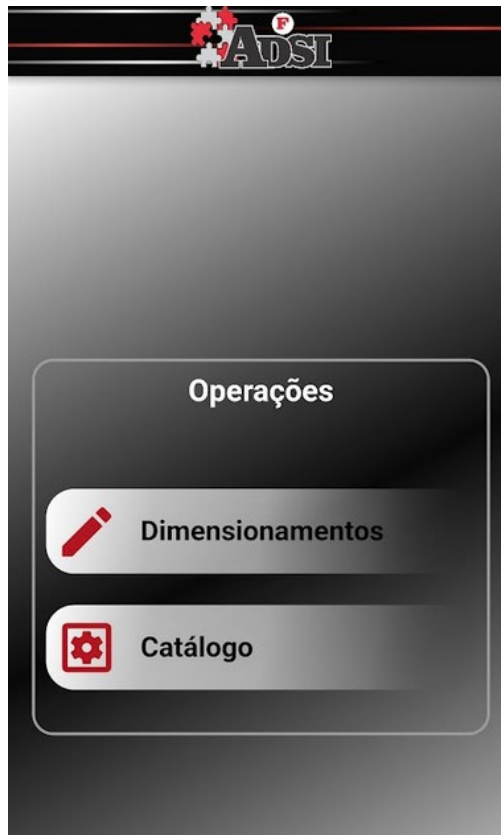
O usuário deverá informar os valores de forma completa, sem notação científica (como no exemplo acima,  $0,456 \times 10^3 = 456$ ), e o próprio sistema trabalhará a informação para mostrar o resultado na notação padrão.

Considerando o aspecto de internacionalização dos aplicativos atuais, o ADSI-F aceita como marcador de casas decimais, tanto o símbolo vírgula (,) quanto o ponto final (.).

#### 4.2.2 Tela inicial

Após o sistema carregar todos os componentes necessários para sua execução, a tela de escolha do tipo de operação a ser executada é apresentada (Figura 26).

Figura 26: Tela de seleção de operação



Fonte: Autor, 2021

As possíveis escolhas são:

- **Dimensionamentos:** o fluxo seguirá para a seção 4.2.3, em que o usuário definirá tanto o perfil de execução da aplicação (acadêmico/profissional), quanto o equipamento que será dimensionado e efetuará o processamento dos dados conforme fluxo estabelecido.
- **Catálogo de filtros:** módulo operacional para parametrização da execução do aplicativo com os catálogos de filtros comerciais disponíveis e cadastrados na aplicação.



### 4.2.3 Dimensionamentos

#### 4.2.3.1 Escolha do Perfil

Ao escolher a opção de dimensionamentos na tela anterior (Figura 26), a tela de escolha do perfil do usuário será disponibilizada (Figura 27). As particularidades de cada perfil foram descritas na seção 4.2.1.

Figura 27: Escolha de perfis para processamento

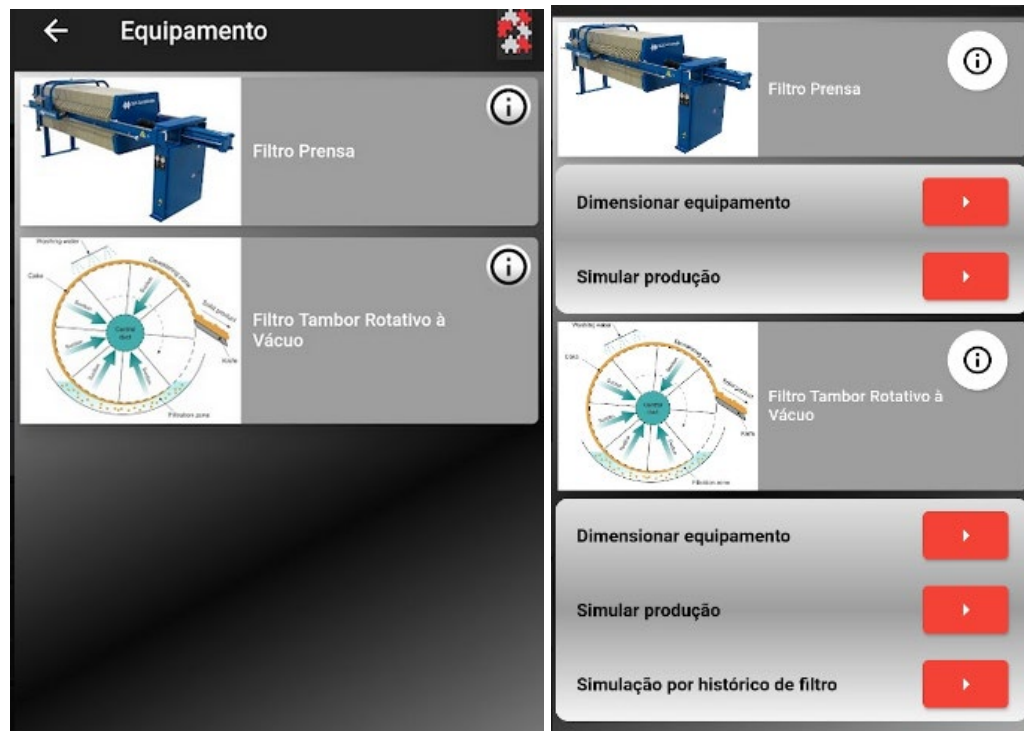


Fonte: Autor, 2021

#### 4.2.3.2 Tela de equipamentos

A segunda tela apresenta opções de equipamentos de filtração e tipos de simulações que podem ser executadas utilizando o aplicativo (Figura 28).

Figura 28: Escolha do equipamento a ser dimensionado



Fonte: Autor, 2021

O ADSI-F (Aplicativo de Dimensionamento e Simulação Industrial – Módulo Equipamentos de Filtração) foi planejado para equipamentos de filtração, e os Filtros Prensa e de Tambor Rotativo à Vácuo foram implementados por serem os filtros mais comuns na indústria de processos. As particularidades de cada filtro serão apresentadas nas seções posteriores.

O aplicativo permite realizar diferentes simulações de dimensionamento para os equipamentos propostos. O comportamento do sistema se altera de acordo com a escolha do tipo de simulação, propondo novas entradas de dados e novas formas de resolução para os problemas apresentados. São esses:

- **Dimensionar equipamento:** Será possível obter uma simulação do dimensionamento do equipamento industrial com base no teste de bancada realizado em laboratório. Após a determinação dos parâmetros operacionais em escala laboratorial e obtenção do fator de *Scale-Up* do sistema, o usuário poderá definir a produção industrial requerida, além de tempos de filtração e lavagem a fim de obter o dimensionamento da área de filtração total, assim como a quantidade de quadros e placas necessários para se atingir os parâmetros industriais estabelecidos.

- **Simular produção:** Ao executar essa simulação, o usuário informará os dados dos componentes de filtração e testes realizados em laboratório, assim como na proposta anterior. Contudo, o usuário deverá informar a especificação do equipamento em escala industrial para que o sistema calcule os critérios de produção de acordo com as entradas de dados.
- **Simulação por histórico do filtro:** Será possível obter os parâmetros de ângulo de submersão, rotações do tambor ou produção (gal/min) de uma filtração, a partir do conjunto de dois dados históricos baseados em processos anteriores de uma mesma solução em um mesmo equipamento. Essa simulação somente está disponível para tambores rotativos.

#### 4.2.3.2.1 Filtro Prensa

O Filtro Prensa (Figura 29a) apresenta placas e quadros separados entre si pelo meio filtrante, em que algumas partículas sólidas entram e são depositadas nos poros de seu septo. Tais quadros possuem estruturas por onde a torta pode ser coletada (McCABE *et al.*, 1993; CREMASCO, 2014).

No início do processo, o filtro executa o processo de filtração, mas depois de um determinado tempo, a própria torta formada no meio filtrante realiza o procedimento (Figura 29b).

Figura 29: Filtro prensa e formação de torta



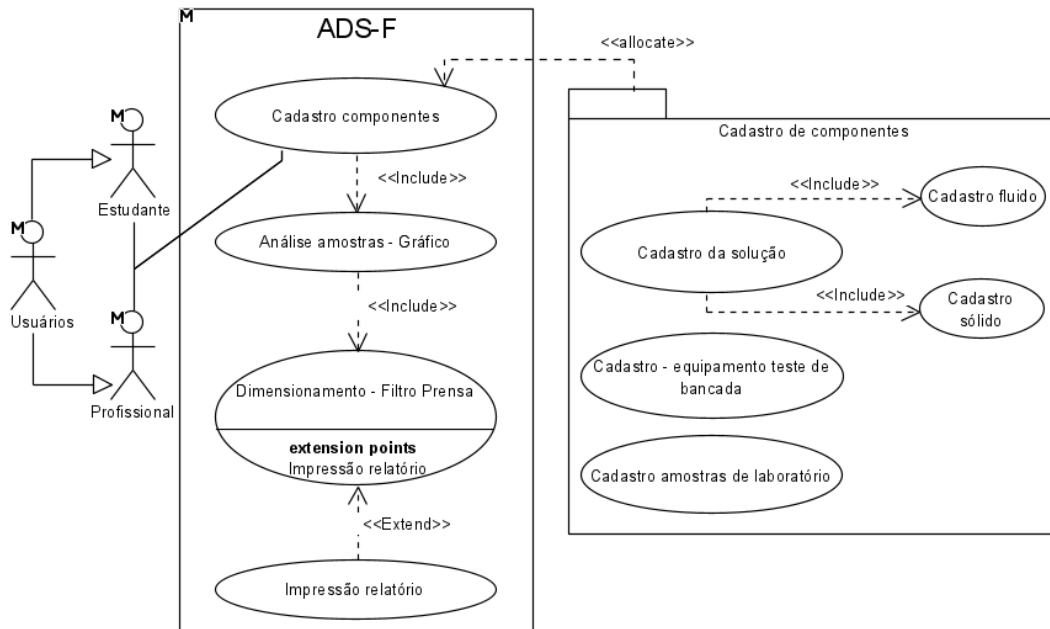
Fonte: Autor, 2021

Com isso, é necessária a desmontagem e limpeza do sistema após um ciclo de filtração (quando os quadros se enchem de torta) (MCCABE *et al.*, 1993; CREMASCO, 2014).

A Figura 30 apresenta o Diagrama de Caso de Uso geral do dimensionamento do Filtro Prensa e simulação de produção industrial dentro do ADSI-F, mostrando os passos que

o usuário terá que realizar para projetar o filtro industrial de acordo com os parâmetros informados.

Figura 30: Diagrama de Caso de Uso – Fluxo geral Filtro Prensa



Fonte: Autor, 2021

#### 4.2.3.2.2 Filtro de Tambor Rotativo à vácuo

O Filtro de Tambor Rotativo à vácuo (Figura 31) é o filtro contínuo à vácuo mais comum nas indústrias, sendo possível encontrar várias opções de equipamento no mercado, como projetos em que não há compartimento entre o tambor, ou modelos em que o vácuo é aplicado em toda a superfície do meio filtrante (MCCABE *et al.*, 1993).

Figura 31: Filtro de Tambor Rotativo á vácuo



Fonte: Peçanha, 2014

Peçanha (2014) detalha os seguintes princípios do filtro de Tambor Rotativo (Figura 30a):

- o vácuo é obtido por bombas à vácuo ou bateria de ejetores que empregam vapor d'água como fluido motriz;
- uma válvula de várias vias (segredo industrial e patentes) permite a execução de distintas operações na superfície do tambor, como a filtração, drenagem da torta, lavagem da torta e sopro.
- o tambor oco é parcialmente submerso na suspensão a ser filtrada. Ele gira através de um motor elétrico, por meio de polias e correias, podendo também ser definido o quanto ele será submerso na suspensão;
- o tanque que contém a suspensão opera aberto para a atmosfera e é agitado mecanicamente para prevenir a decantação dos sólidos;

Após a rotação, a torta é depositada sobre o meio filtrante que recobre a superfície do tambor, sendo removida por um raspador (faca) que opera em paralelo ao eixo do tambor (PEÇANHA, 2014).

Antes de entrar em contato com o raspador, um jato d'água, vindo do interior do tambor, por uma das vias da válvula anteriormente citada, atravessa o meio filtrante e descola a torta da sua superfície (PEÇANHA, 2014).

Com a rotação do tambor, a torta desliza pelo raspador, enruga-se devido ao atrito, fragmenta-se e cai, por gravidade, em um depósito (PEÇANHA, 2014).

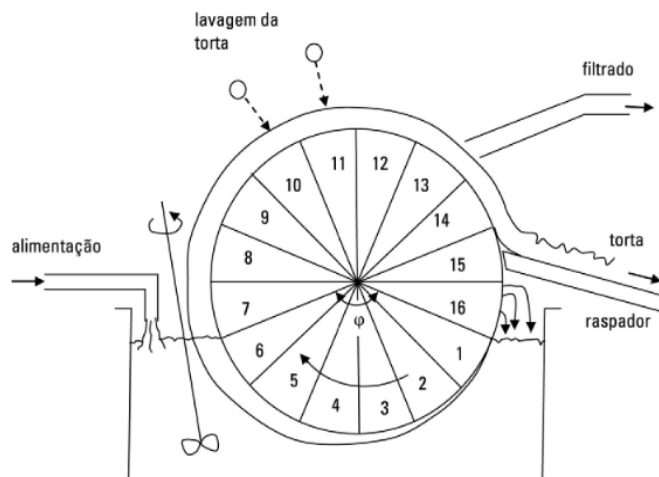
Peçanha (2014) descreve também que, abaixo do raspador, outro jato de vapor, proveniente do interior do tambor limpa o meio filtrante antes do reinício do ciclo. Com isso, os sólidos caem no próprio tanque que contém a suspensão, evitando-se perda.

Estas fases do ciclo podem ser observadas através da definição de Peçanha (2014) dos dezesseis setores do tambor, que são:

- Setores 1 a 6: filtração (a torta aumenta continuamente de espessura).
- Setores 7 a 9: drenagem da torta.
- Setores 10 e 11: lavagem da torta (eventual).
- Setores 12 a 14: drenagem da torta.
- Setores 15 e 16: descolamento da torta e limpeza do meio filtrante.

A representação dos dezesseis setores é visualizada no corte transversal do filtro de tambor rotativo à vácuo, conforme Figura 32.

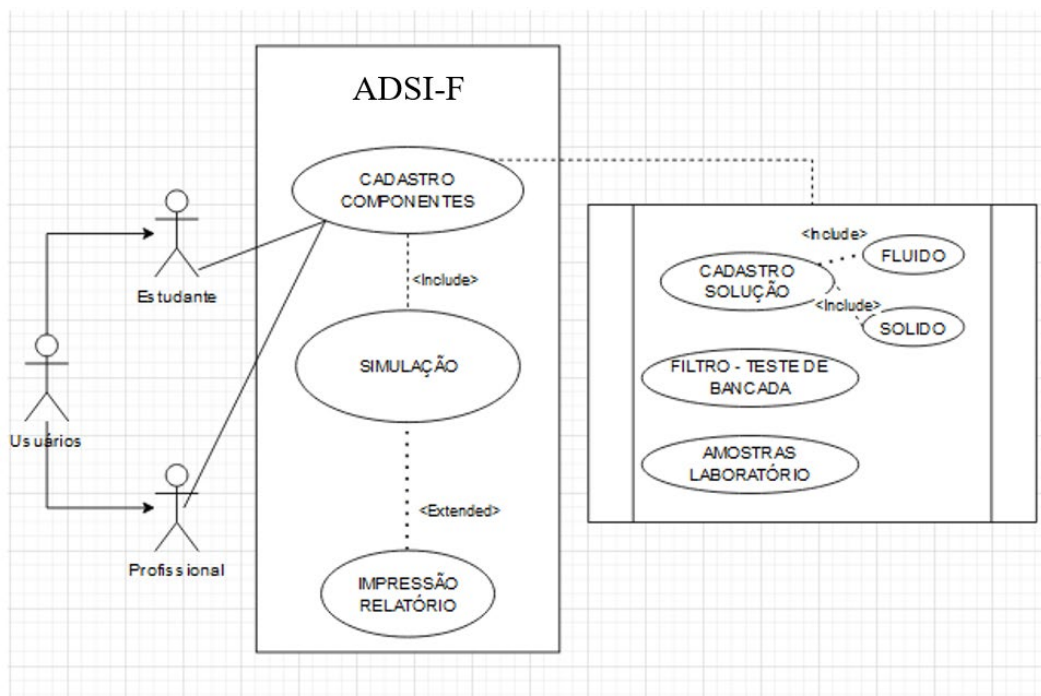
Figura 32: Corte transversal em setores



Fonte: Peçanha, 2014

A Figura 33 apresenta o Diagrama de Caso de Uso dos dimensionamentos de equipamento e simulação de produção do Filtro de Tambor Rotativo dentro do ADSI-F, mostrando os passos que o usuário terá que realizar para projetar o filtro industrial de acordo com os parâmetros informados.

Figura 33: Diagrama de Caso de Uso – Fluxo geral Filtro de Tambor Rotativo



Fonte: Autor, 2021

#### 4.2.3.3 Cadastro dos parâmetros de alimentação do sistema

McCabe *et al.* (1993) definem a filtração como a remoção de partículas sólidas de um fluido mediante a passagem deste através de um meio de filtração ou septo, em que as partículas sólidas são depositadas.

O fluido pode ser um líquido ou um gás, e o produto da filtração pode ser o filtrado, os sólidos ou uma combinação entre eles.

A solução de alimentação pode passar por um pré-tratamento para aumentar sua taxa de filtração, como aquecimento, recristalização ou adicionando algum auxiliar de filtração como celulose ou terra diatomácea.

No ADSI-F, o primeiro *card* de componentes é o de “Solução” (Figura 34a).

O cadastro dos componentes é individualizado, agregando os atributos cadastrados em uma solução que será utilizada no restante do processamento.

Ao acessar a tela, o usuário poderá informar os dados do líquido e partículas que compõem a solução (Figura 34b).

Figura 34: Cadastro de solução: *Card* de informações (a) e tela de cadastro (b)



Fonte: Autor, 2021

##### 4.2.3.3.1 Solução

Como componente principal de um sistema de filtração, tem-se a adição de uma solução (líquido + partículas sólidas) que será alimentada no equipamento (seja processo em batelada ou contínuo) e que resultará no produto final da filtração, seja o filtrado ou a torta retida no meio filtrante.

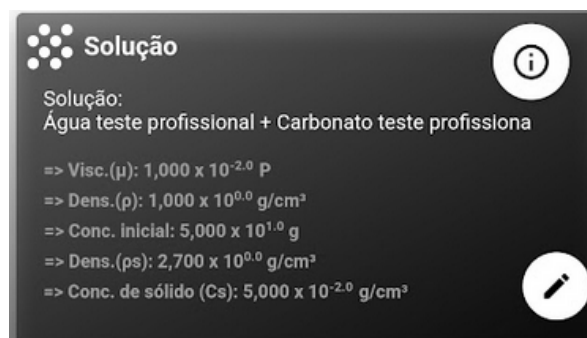
O aplicativo, como meio de definir a solução a ser alimentada, trabalha com cada componente de forma individual, possibilitando ao usuário fornecer dados para cada atributo específico da mistura.

O *card* da Figura 33a, após o preenchimento dos componentes líquidos e sólido, apresenta o resumo das principais informações cadastradas pelo usuário, conforme Figura 35.

A separação dos atributos dos componentes possibilita o cálculo de outros parâmetros necessários para futuras equações, por exemplo, a determinação da concentração de sólidos no líquido ( $C_s$ ) (Equação 9).

$$C_s = \frac{\text{massa de sólido (g)}}{\text{massa de líquido (g)}} \quad (9)$$

Figura 35: Dados da solução cadastrada



Fonte: Autor, 2021

Ressalta-se que, embora seja um componente essencial da filtração, é dispensável o cadastro da solução para dimensionamento do filtro tipo Tambor Rotativo à Vácuo. Contudo, caso o usuário tenha interesse em que tais informações constem no relatório final apresentado pelo ADSI-F, tais dados poderão ser cadastrados, sem afetar o processo de dimensionamento.

#### 4.2.3.3.1.1 Componente líquido

MacCabe *et al.* (1993) definem os fluidos como substâncias que não resistem permanentemente à deformações. A tentativa de mudar a forma da massa de um fluido resulta em camadas de fluidos deslizando um sobre o outro até que uma nova forma seja definida.

Um fluido em equilíbrio é considerado livre de tensão.

No aplicativo, os seguintes dados sobre o fluido são solicitados ao usuário:

- Descrição: nome pelo qual o líquido será registrado no processamento.
- Viscosidade ( $\mu$ ): caracteriza a resistência de um fluido ao escoamento, isto é, ao transporte microscópico de quantidade de movimento por difusão molecular. Quanto maior a viscosidade, menor será a velocidade com que o fluido se movimenta.



- Volume de líquido na suspensão inicial ( $V$ ): Quantidade de fluido que será utilizada, caso o usuário saiba os dados iniciais dos componentes da solução.
- Densidade do líquido ( $\rho$ ): relação existente entre massa e volume.
- Temperatura: grandeza escalar que determina o grau de agitação das moléculas de um corpo, indicando se ele está quente ou frio. A temperatura influencia a densidade do fluido.

A massa de líquido é a quantidade de matéria do líquido que será alimentado no sistema, calculada automaticamente através da Equação 10, de acordo com a densidade do líquido ( $\rho$ ) e volume ( $V$ ) anteriormente informados.

$$m = \rho V \quad (10)$$

O formulário para cadastro do componente líquido é demonstrado na Figura 36.

Figura 36: Formulários para cadastro de fluido: Estudante (a) e Profissional (b)

Figure 36 displays two mobile application screens for fluid registration, labeled (a) and (b). Both screens have a dark theme and a header titled 'Líquido'. At the top, there is a search icon and an information icon. Below the header, there is a text prompt: 'Todas as unidades deverão estar no CGS. Para visualizar o padrão, clique no botão de informação.' The form consists of several input fields with unit selection dropdowns and a 'Convertir...' button. Screen (a) includes fields for 'Volume de líquido na suspensão inicial', 'Densidade do líquido ( $\rho$ )', and 'Viscosidade ( $\mu$ )'. Screen (b) includes fields for 'Volume de líquido na suspensão inicial', 'Densidade do líquido ( $\rho$ )', 'Viscosidade ( $\mu$ )', and 'Temperatura'.

Fonte: Autor, 2021

Ao informar cada atributo, o usuário deverá também fornecer a unidade de medida referente ao dado.

Neste ponto, o ADSI-F possui comportamento específico de acordo com o perfil selecionado na tela inicial. Se o perfil escolhido for o “ESTUDANTE”, o sistema apresenta o botão “CONVERTER” ao usuário (Figura 37), que possibilita ao estudante realizar conversões dos valores informados conforme as unidades iniciais e finais escolhidas para cada tipo de atributo.

Figura 37: Módulo de conversão de volume



Fonte: Autor, 2021

O sistema bloqueia o processamento dos dados para o usuário caso as unidades informadas não estejam de acordo com os parâmetros utilizados pelo aplicativo (Tabela 3). As unidades deverão ser informadas de acordo com o CGS. Os dados obrigatórios são apontados com o carácter (\*).

Tabela 3: Unidades – cadastro de fluido – ADSI-F

Atributo	Unidade padrão
Volume	cm <sup>3</sup> (centímetro cúbico)
Viscosidade (*)	P (Poise)
Densidade do fluido (*)	g/cm <sup>3</sup> (grama por centímetro cúbico)

Fonte: Autor, 2021

Quanto ao atributo de temperatura, não será exigido nenhum tipo de unidade padrão, podendo ser informada livremente pelo usuário, como forma de catalogação de características físicas do fluido (relação da viscosidade com a temperatura).

Caso o usuário seja profissional, este deverá informar a unidade que possui (Figura 38), e o sistema fará todo o processamento necessário para converter os valores nas unidades da Tabela 3.

Figura 38: Informação de unidade – Perspectiva profissional

Todas as unidades deverão estar no CGS.

Líquido

Descrição

Água teste profissional

Todas as unidades deverão estar no CGS.

Para visualizar o padrão, clique no botão de informação.

Volume de líquido na suspensão inicial

1000,000 Unidade... cm<sup>3</sup>

Densidade do líquido ( $\rho$ )

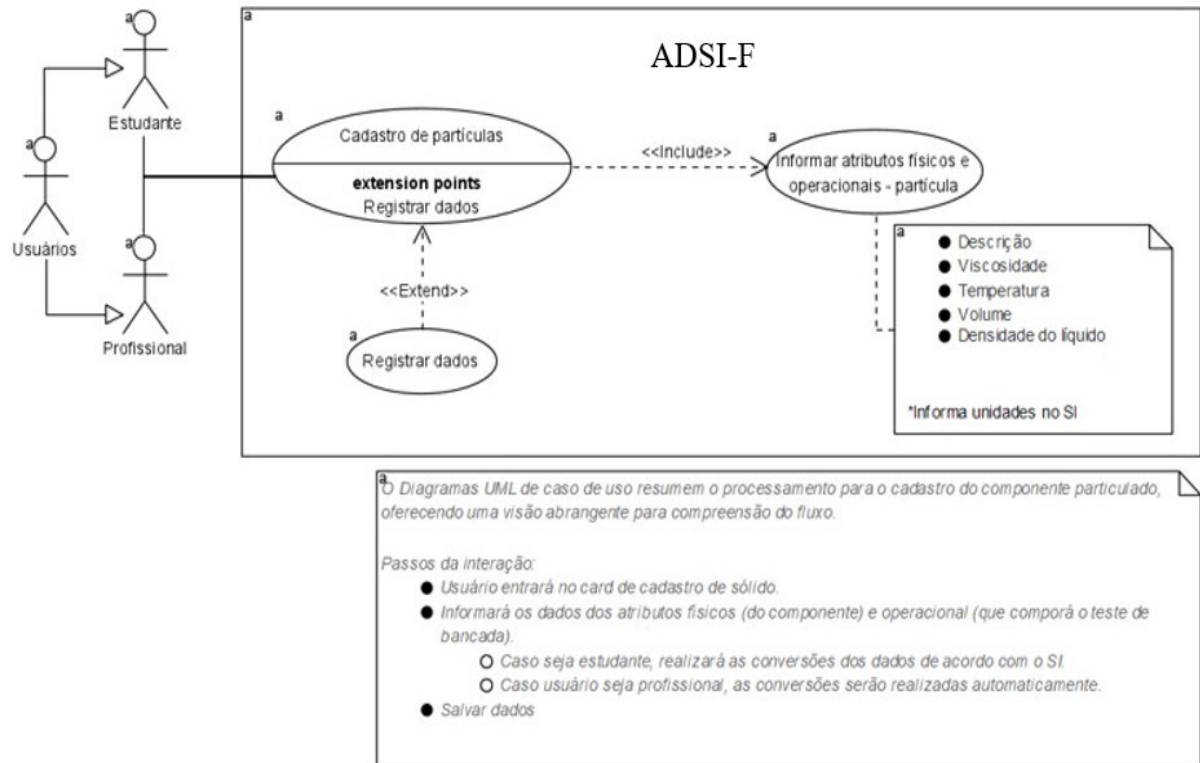
1,000 Unidade... g/cm<sup>3</sup>

Viscosidade ( $\mu$ )

Fonte: Autor, 2021

O cadastro do fluido como componente da filtração no ADSI-F segue os passos estabelecidos na Figura 39.

Figura 39: Diagrama de Caso de Uso – Cadastro do componente líquido

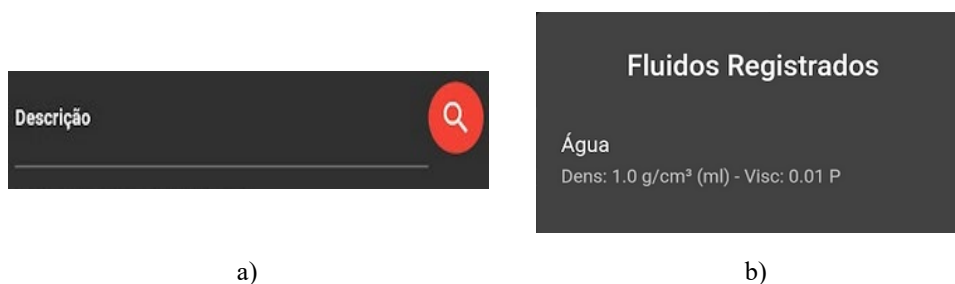


Fonte: Autor, 2021

Caso o usuário queira utilizar algum fluido registrado anteriormente, poderá consultar o banco de dados da aplicação e verificar se há algum item cadastrado, através do botão pesquisar, disposto ao lado da descrição do fluido (Figura 40a).

Uma nova tela será disponibilizada, com os atributos de componentes líquidos presentes no banco de dados do ADSI-F (Figura 40b).

Figura 40: Botão de busca (a) e *Pop-up* com líquidos cadastrados (b)



Fonte: Autor, 2021

#### 4.2.3.3.1.2 Componente sólido

Como informado por Cremasco (2014), conhecer as características das partículas ou da concentração destas é o coração da ciência de sistemas particulados, pois tais sistemas são regidos pela interação entre partículas, partícula/fluido e suas fases.

As características físicas e morfológicas das partículas afetam desde os fenômenos moleculares (difusão mássica) até o dimensionamento de uma coluna (no aspecto construtivo de um equipamento) (CREMASCO, 2014).

Independentemente do processo a ser utilizado para a separação (no caso do ADSI-F, a filtração), propriedades como porosidade, tamanho e distribuição de poros, área superficial e massa específica são de suma importância na compreensão dos fenômenos das operações unitárias.

Contudo, de modo a simplificar o real propósito do aplicativo, como atributos do sólido, o usuário deverá informar:

- Descrição: nome pelo qual o sólido será registrado no processamento.
- Massa de sólidos na suspensão inicial: massa de sólido que será incluída na solução aquosa para filtração.
- Massa específica do sólido ( $\rho_s$ ): relação da concentração inicial de sólido por volume de sólido, calculada com a Equação 11.

$$\rho_s = \frac{\text{massa da partícula}}{\text{volume da partícula}} \quad (11)$$

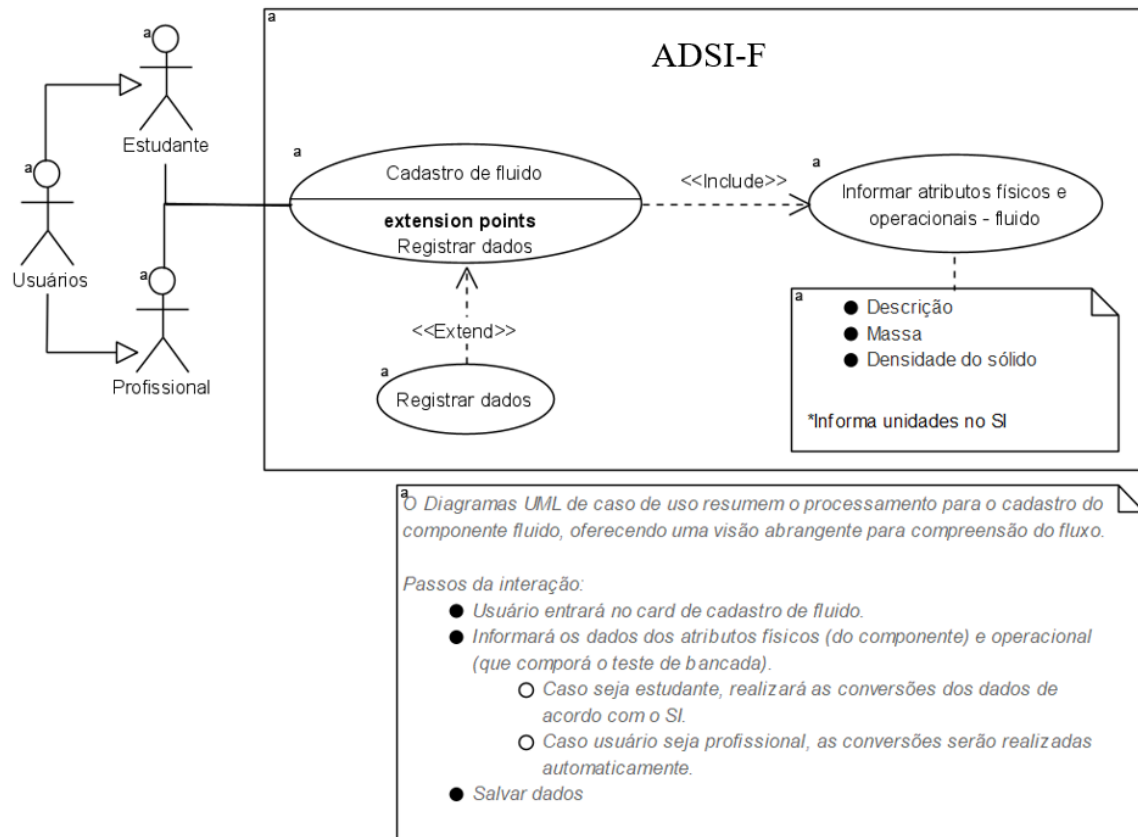
Os passos para cadastro do componente particulado podem ser analisados através do diagrama de caso de uso apresentado a seguir (Figura 41).

Assim como no cadastro do fluido, o ADSI-F verifica se o usuário é estudante ou profissional para disponibilizar o correto mecanismo de conversão de unidades.

O sistema é bloqueado ou realiza a conversão automática, caso as unidades registradas não estejam em conformidade com a notação dos cálculos requisitada pela aplicação, conforme a Tabela 4, assim como no módulo de cadastro do fluido.

As unidades deverão ser informadas de acordo com o sistema de unidades CGS. Os dados marcados com o caracter (\*) são obrigatórios.

Figura 41: Diagrama de Caso de Uso – Cadastro do componente sólido



Fonte: Autor, 2021

Tabela 4: Unidades – cadastro de partículas – ADSI-F

Atributo	Unidade padrão
Massa de sólidos na suspensão inicial	g (grama)
Densidade de partículas sólidas no líquido (*)	g/cm <sup>3</sup> (grama por centímetro cúbico)

Fonte: Autor, 2021

O formulário de cadastro do componente sólido preenchido pode ser visualizado na Figura 42.

Figura 42: Formulário - Cadastro do componente particulado: a) Estudante / b) Profissional

Figura 42 displays two screenshots of a mobile application form for registering a solid component. The form is titled 'Sólido' and includes a search icon (magnifying glass) and an information icon (i). The text indicates that all units must be in CGS and provides instructions to click the information button to view the standard. The form is divided into two main sections: 'Massa de sólidos na suspensão inicial' and 'Densidade de partículas no líquido (ps)'. Each section contains a 'Valor do atributo' field, a 'Unidade...' dropdown menu, and a 'Converter...' button. A red button at the bottom of each form reads 'Adicionar componente sólido'.

Fonte: Autor, 2021

Assim como no cadastro do componente líquido, o usuário poderá pesquisar particulados já cadastrados na aplicação, através do botão de pesquisa (Figura 43a). Uma janela *pop-up* será disponibilizada para que o usuário selecione o item que deseja incluir no formulário (Figura 43b).

Figura 43: Botão de busca (a) e *Pop-up* com particulados cadastrados

Figura 43 displays two screenshots related to searching for registered particulates. Screenshot (a) shows a search bar with a magnifying glass icon. Screenshot (b) shows a *Pop-up* window titled 'Particulados Registrados' displaying 'Carbonato' with a density of 'Dens: 2.7 g/cm³ (ml)'.

Fonte: Autor, 2021

Os dados de volume do líquido e massa de sólidos na solução inicial são fatores importantes para o cálculo da concentração de sólidos na solução. Contudo, caso o usuário não tenha preenchido tais valores no cadastro dos componentes, deverá informar o valor da

concentração no campo de entrada de dados que será disponibilizado pelo aplicativo, conforme Figura 44.

Figura 44: Informação de concentração de partículas na solução

**Cadastro dos componentes da solução**

Clique sobre o componente a ser cadastrado para iniciar o registro do componente. A solução é composta por FLUIDO e PARTÍCULAS, logo, os dois componentes deverão ser informados para prosseguir com o processamento

**Todas as unidades deverão estar no CGS.**

▼ Líquido

▼ Sólido

**Concentração de sólidos na solução**

Valor do atributo

Unidade.. ▼

Converter...

Fonte: Autor, 2021

#### 4.2.3.4 Processamento – Filtro Prensa

Após a definição dos componentes de filtração, deverão ser informados os dados referentes ao Filtro Prensa do teste de bancada laboratorial (Figura 45).

Figura 45: Card dos atributos do filtro de laboratório

🔍 **Dados do equipamento** ⓘ

+

Fonte: Autor, 2021

Por meio deste teste, o usuário coletará dados referentes ao volume de filtrado em cada instante de filtração, possibilitando construir assim, o gráfico que descreve a variação de  $\frac{t}{V}$  em função de V.



#### 4.2.3.4.1 Dados do equipamento de laboratório para teste de bancada

O teste de bancada é essencial para as definições posteriores das especificidades da torta formada e do instante em que o quadro do filtro teve seu volume completamente preenchido pela torta coletada.

Com a possibilidade de se alterar os itens do Filtro Prensa no ADSI-F, o usuário poderá simular o comportamento do teste para quadros de maior ou menor espessura, além de verificar a diferença de sua área para o dimensionamento do equipamento em escala industrial.

O usuário do sistema deverá informar:

- Quantidade de quadros: o total de quadros do equipamento de bancada.
- Área total de filtração ( $A_1$ ): se possuir a informação, o usuário poderá informar diretamente o valor da área de filtração total, deixando a opção “ÁREA CONHECIDA?” marcada.
- Comprimento: se o usuário possuir a informação de comprimento para cálculo automático da área, poderá deixar desmarcada a opção “ÁREA CONHECIDA?” da tela.
- Largura: como no item anterior, o usuário poderá informar a largura do meio filtrante para o cálculo da área de filtração total.
- Espessura ( $e_1$ ): o usuário deverá informar o valor da espessura do quadro do teste de bancada. Esta informação é importante para o cálculo do *Scale-up* no estágio de dimensionamento do equipamento industrial.
- Pressão da bomba do laboratório ( $\Delta P$ ): bomba que alimentará a suspensão no equipamento de bancada a uma determinada pressão fornecida pelo usuário.

Assim como os módulos anteriores, de acordo com o perfil escolhido, o sistema disponibiliza o correto componente de conversão de atributos.

A Tabela 5 mostra quais são as unidades que deverão ser utilizadas para este módulo. As unidades deverão ser informadas de acordo com o CGS. Os dados indicados com o caracter (\*) são obrigatórios.

Tabela 5: Unidades – cadastro do filtro de bancada – Filtro Prensa

Atributo	Unidade padrão
Comprimento	cm (centímetro)
Largura	cm (centímetro)
Espessura ( $e_1$ ) (*)	cm (centímetro)
Área total de filtração ( $A_1$ )	cm <sup>2</sup> (centímetro quadrado)
Pressão nominal da bomba de alimentação (*)	dyn/cm <sup>2</sup> (dyna por centímetro quadrado)

Fonte: Autor, 2021

O formulário de cadastro do equipamento para teste de bancada preenchido pode ser visualizado na Figura 46.

Figura 46: Formulário - Cadastro de equipamento – Filtro Prensa

Todas as unidades deverão estar no CGS.  
Para visualizar o padrão, clique no botão de informação.

Área total de filtração é conhecida?

**Área total de filtração ( $A_1$ )**  
Valor do atributo:  $4,645 \times 10^{2.0}$  cm<sup>2</sup>  
Unidade: cm<sup>2</sup> Converter...

**Espessura do quadro ( $e_1$ )**  
Valor do atributo:  $3,175 \times 10^{0.0}$  cm  
Unidade: cm Converter...

**Comprimento do meio filtrante**  
Valor do atributo:  $0,000 \times 10^{0.0}$  Sem unidade  
Unidade: Converter...

**Largura do meio filtrante**  
Valor do atributo:  $0,000 \times 10^{0.0}$  Sem unidade  
Unidade: Converter...

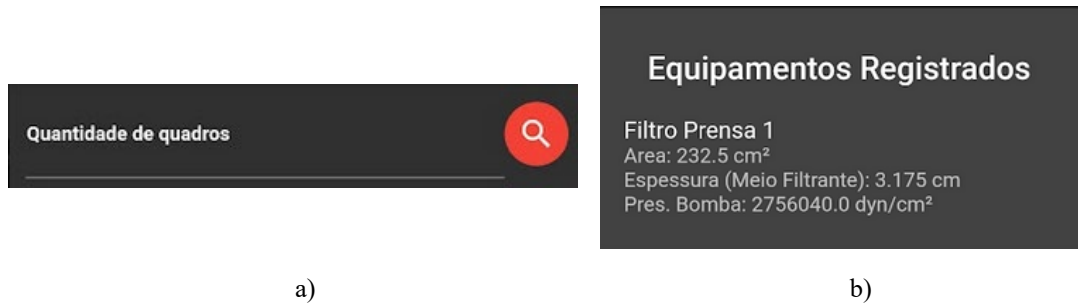
**Espessura do quadro ( $e_1$ )**  
Valor do atributo:  $3,175 \times 10^{0.0}$  cm  
Unidade: cm Converter...

**Pressão da bomba do laboratório ( $\Delta P$ )**  
Valor do atributo:  $2,755 \times 10^{6.0}$  dyn/cm<sup>2</sup>  
Unidade: dyn/cm<sup>2</sup> Converter...

Fonte: Autor, 2021

O usuário também poderá pesquisar por equipamentos de teste de bancada já cadastrados na aplicação, através do botão de pesquisa (Figura 47a). Uma janela *pop-up* será disponibilizada para que o usuário selecione o item que deseja incluir no formulário (Figura 47b).

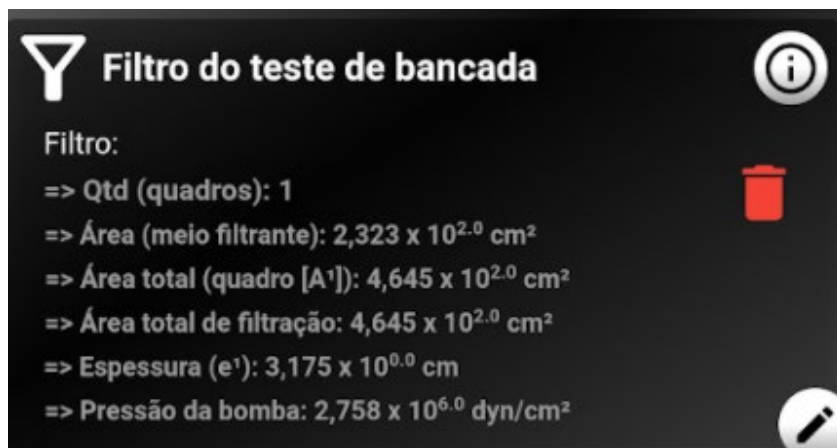
Figura 47: Botão de busca (a) e *Pop-up* de filtros cadastrados (Ex: Filtro Prensa)



Fonte: Autor, 2021

Ao salvar as informações das características do filtro utilizado no teste de bancada e voltar para a área inicial, o *card* do “FILTRO DO TESTE DE BANCADA” aparecerá preenchido, conforme Figura 48.

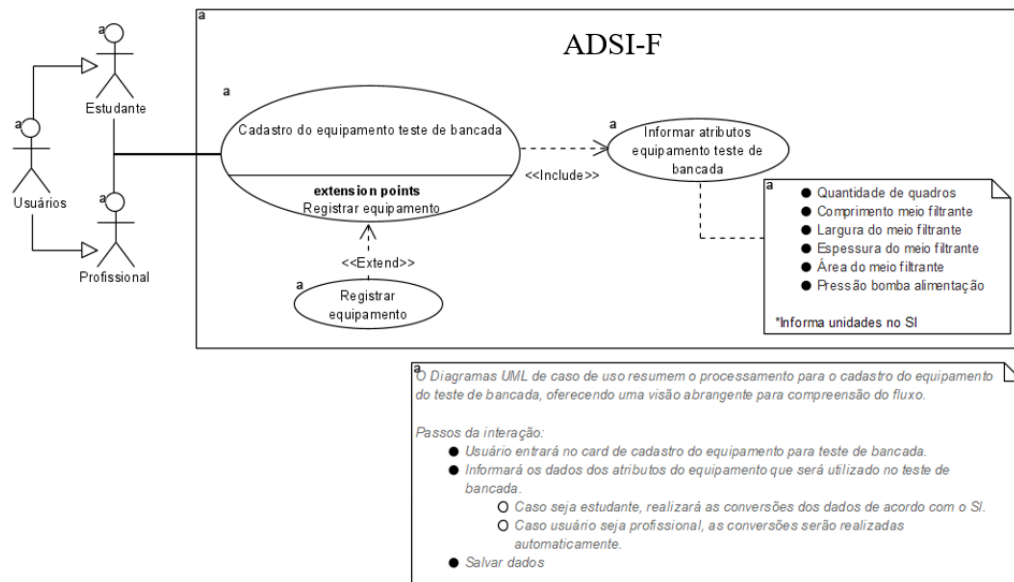
Figura 48: Dados do filtro laboratorial para teste de bancada



Fonte: Autor, 2021

As etapas para cadastro do equipamento em que o teste em laboratório será realizado são apresentadas na Figura 49.

Figura 49: Diagrama de Caso de Uso – Cadastro filtro para teste de bancada

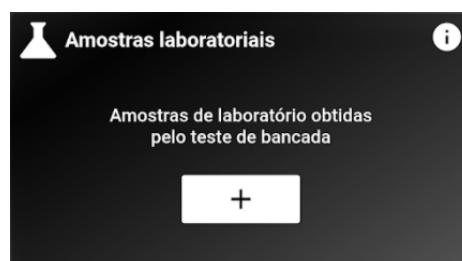


Fonte: Autor, 2021

#### 4.2.3.4.2 Amostras pós-teste de bancada

De posse de todas as informações referentes tanto à solução quanto ao filtro do teste de bancada, o próximo passo será cadastrar as amostras laboratoriais anotadas de volume de filtrado pelo tempo de filtração, utilizando o *card* “AMOSTRAS LABORATORIAIS” (Figura 50).

Figura 50: Card dos ensaios de filtração extraídos do teste de bancada



Fonte: Autor, 2021

Esta etapa definirá o comportamento do gráfico da variação de  $\frac{t}{V}$  em função de  $V$ , que subsidiará a análise na próxima etapa.

Através da tela o usuário terá duas opções de formulários, de acordo com os dados que deseja informar. São eles:

- **Amostras:** O usuário deverá informar os dados de tempo ( $t$ ) e volume ( $V$ ) coletados pelas amostras do teste em filtro de bancada (Figura 49a). Para adicionar

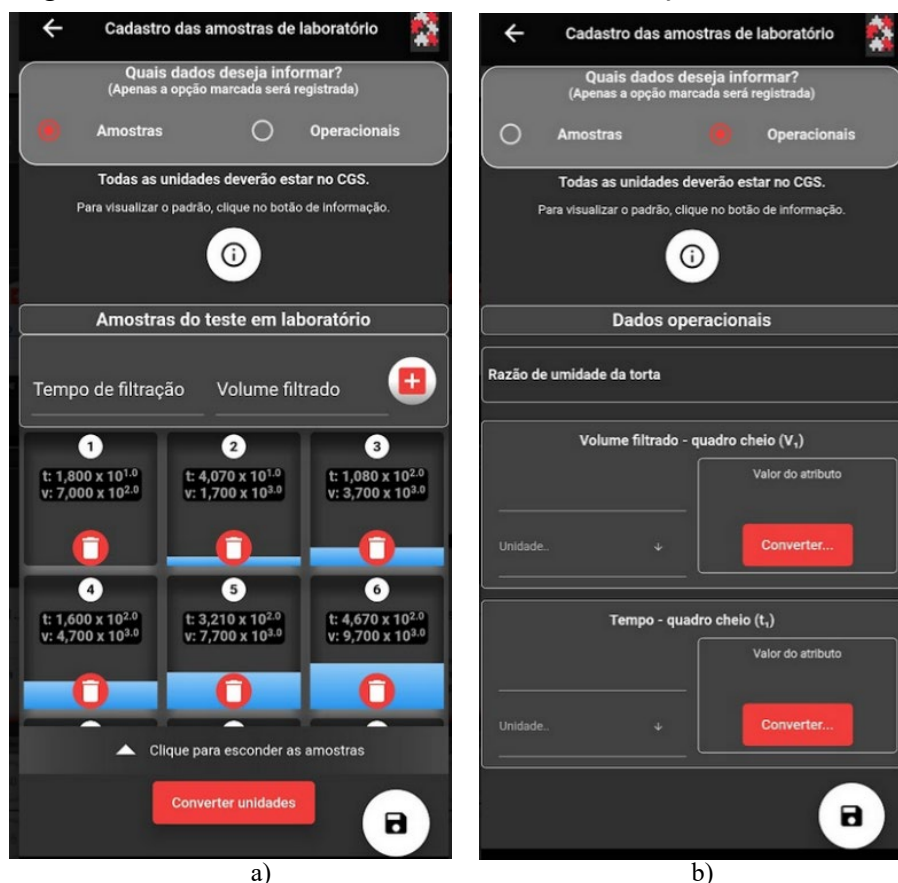
novas amostras, o usuário deverá informar os dados, e clicar no botão ADICIONAR (símbolo +), e uma nova amostra será adicionada logo abaixo do quadro do formulário).

A partir dessas informações, o sistema gerará um gráfico de tempo em função do volume, para que o usuário defina o instante em que o quadro de filtração se encheu completamente com a torta de filtração, assim como o volume de torta nesse mesmo instante. Tais informações são relevantes para o cálculo do fator *Scale-Up* para o dimensionamento do filtro em escala industrial.

Além disso, através da regressão linear das amostras coletadas é possível calcular tanto a resistividade média da torta quanto a resistência do meio filtrante.

- **Dados operacionais:** Para utilizar esta opção, o usuário da aplicação deverá ter em mãos os dados do tempo em que o quadro foi preenchido completamente pela torta de filtração e o respectivo volume desta torta, pois o sistema já efetuará os cálculos da resistividade média da torta e resistência do meio filtrante a partir destes dados (conforme Figura 51).

Figura 51: Amostras laboratoriais do teste de filtração de bancada



Fonte: Autor, 2021

Antes de finalizar, o usuário deverá informar corretamente as unidades que deverão ser utilizadas no processamento. Para isso, deve-se clicar no botão “CONVERTER UNIDADES” e definir os valores no *pop-up* (caso seja estudante) ou informar as unidades que possui para posterior conversão automática via lógica do ADSI-F (caso profissional), conforme Figura 52.

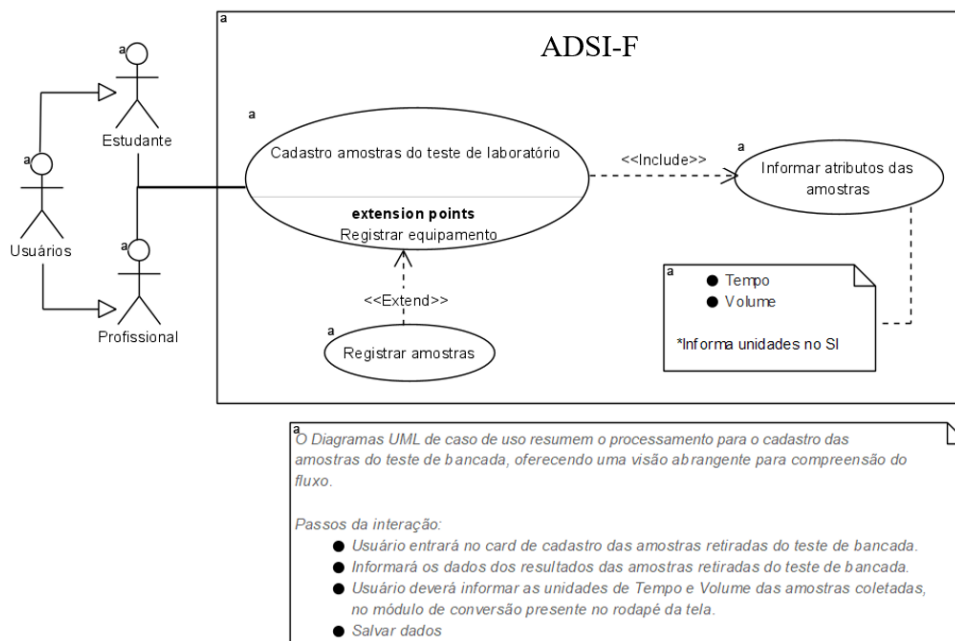
Figura 52: Módulos de conversão de  $\frac{t}{v}$



Fonte: Autor, 2021

Para facilitar a compreensão do fluxo do cadastro no ADSI-F das amostras de filtração coletadas pelo teste de bancada, apresenta-se o diagrama a seguir (Figura 53).

Figura 53: Diagrama de Caso de Uso – Cadastro amostras coletadas



Fonte: Autor, 2021

A Tabela 6 informa ao usuário quais são as unidades que o sistema considera como padrões para cálculos. As unidades deverão ser informadas de acordo com o CGS. Os dados marcados com o caracter (\*) são obrigatórios.

Tabela 6: Unidades – cadastro amostras laboratoriais – Filtro Prensa

Atributo	Unidade padrão
Tempo (*)	s (segundos)
Volume (*)	cm <sup>3</sup> (centímetro cúbico)

Fonte: Autor, 2021

Os dados registrados são mostrados no *card* correspondente na tela inicial, conforme Figura 54.

Figura 54: *Card* das amostras cadastradas: Amostras (a) e Dados (b)



a)

b)

Fonte: Autor, 2021

#### 4.2.3.4.3 Gráfico para análise e determinação dos parâmetros de quadro cheio

Iniciando a etapa de análise após todas as informações cadastradas dos componentes e os ensaios do teste de bancada em escala laboratorial realizada pelo usuário, o sistema provê um gráfico de  $\frac{t}{V}$  em função de V e um formulário a ser preenchido na parte inferior, com os dados da análise do gráfico (Figura 55).

Figura 55: Tela para análise do gráfico  $\frac{t}{V}$  em função de  $V$



Fonte: Autor, 2021

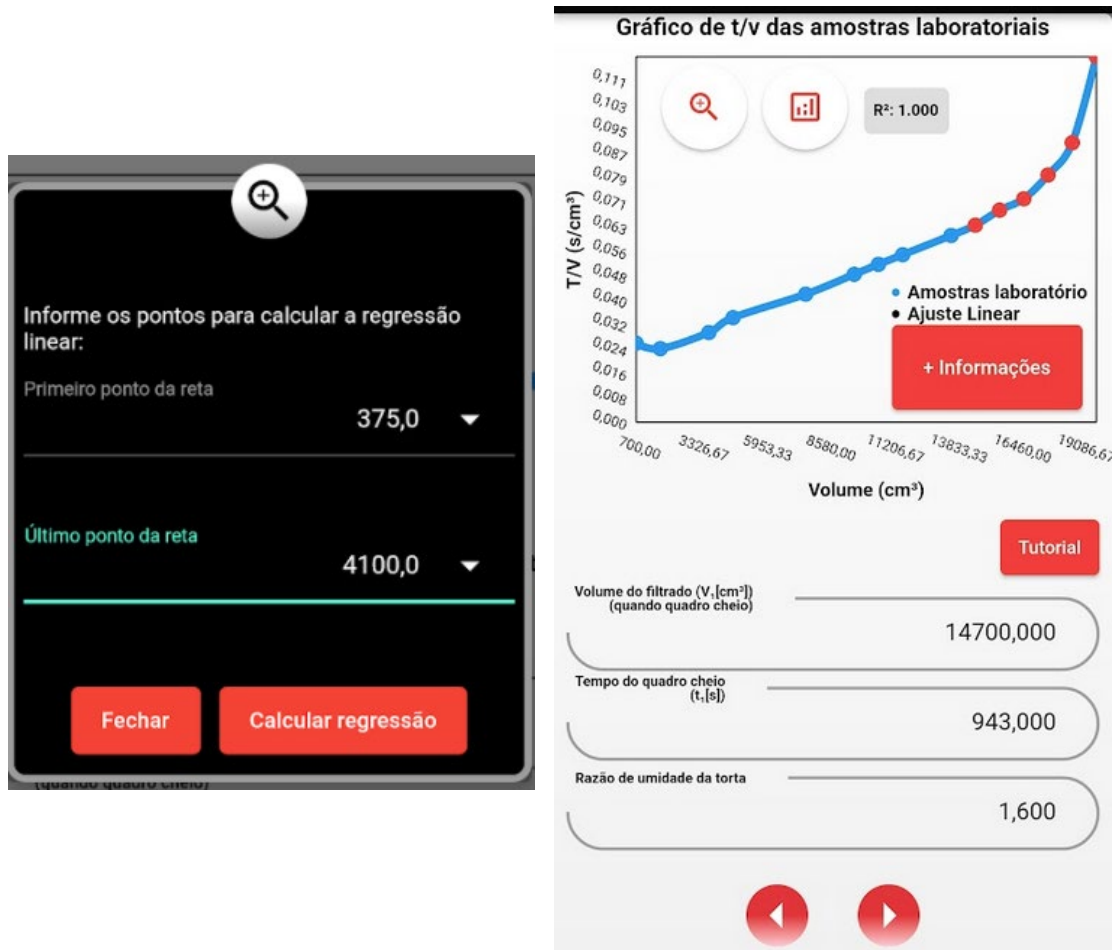
Para facilitar a correta inspeção do instante em que o quadro de filtração está totalmente preenchido a partir dos dados das amostras informadas, foi disponibilizada uma funcionalidade para realização da regressão linear.

Para efetuar a regressão, o usuário deve informar quais os pontos do gráfico serão considerados na regressão e o sistema procederá aos cálculos, traçando uma linha de regressão, conforme Figura 56.

Os pontos em vermelho indicam que todos os ensaios foram retirados após o volume do quadro estar completo de torta, indicando que sua eficiência de filtração já está reduzida ao mínimo.



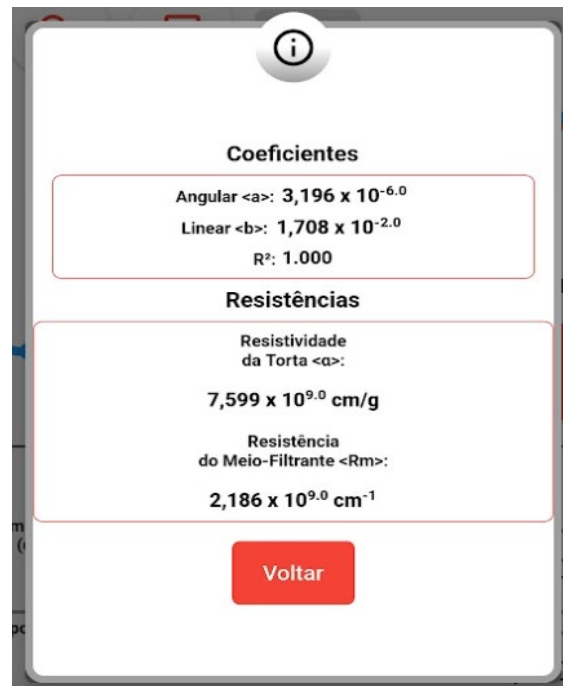
Figura 56: Ferramenta para regressão linear do gráfico  $\frac{t}{V}$  em função de V



Fonte: Autor, 2021

Para determinar os valores de resistência da torta ( $\alpha$ ), resistividade do meio filtrante ( $R_m$ ) e os coeficientes linear e angular obtidos pelo processamento dos parâmetros do teste de bancada, o usuário deverá clicar no botão “INFORMAÇÃO” presente na legenda do gráfico, que apresentará o resumo dos dados, conforme Figura 57.

Figura 57: Resumo de resistividades e coeficientes – Gráfico



Fonte: Autor, 2021

Os dados preenchidos pelo sistema poderão ser alterados pelo usuário caso este verifique que a análise algorítmica não tenha sido exata ou caso queira definir novos pontos, instruindo o sistema quais os parâmetros deverão ser utilizados.

O usuário informará somente a razão de umidade da torta (Equação 12), pois esse dado depende da análise da massa da torta retirada do quadro cheio em laboratório.

$$\text{razão umidade torta} = \frac{\text{massa da torta molhada}}{\text{massa da torta seca}} \quad (12)$$

Para facilitar a análise, o ADSI-F provê ao usuário uma ferramenta para aumentar uma determinada região do gráfico (*zoom* ou aumento/ampliação da imagem), clicando sobre a lupa disposta no canto superior esquerdo da área plotada. Após isso, um *pop-up* será mostrado e deverá ser informado o valor dos pontos inicial e final que serão novamente plotados em tela (Figura 58).

Figura 58: Mecanismo de *Zoom* do gráfico  $\frac{t}{V}$  em função de  $V$



Fonte: Autor, 2021

#### 4.2.3.4.4 Determinação da quantidade de placas e quadros do sistema industrial

A próxima etapa do processamento do ADSI-F para o equipamento Filtro Prensa é a determinação do *Scale-up* e a quantidade de placas e quadros necessários para uma dada produção industrial e determinado tempo de desmantelamento informados pelo usuário.

Massarani (2002) define que é imprescindível os ensaios de bancada com a suspensão a ser tratada na indústria, determinando-se, assim, o *Scale-up*, sendo este basicamente uma razão de proporção entre capacidade e área de separação.

No caso do ADSI-F, o *Scale-Up* para o Filtro Prensa é definido como uma razão dos volumes do filtrado e da torta no instante do quadro cheio, de acordo com a Equação 13.

$$Scale - up = \frac{V}{V_t} \quad (13)$$

#### 4.2.3.4.5 Relatório operacional do teste de bancada

Após o processamento das amostras e consequente definição do tempo e volume do quadro cheio, o sistema apresentará um relatório resumindo os dados obtidos após o teste de bancada (conforme Figura 59).

Por esta tela, o usuário visualiza os seguintes dados, além de outros informados anteriormente:

- Massa seca (Torta): massa torta no instante em que o quadro de filtração teve seu volume preenchido por completo (Equação 14).

$$m = V\rho C \quad (14)$$

- Volume da Torta ( $V_t$ ): volume da torta retirada do equipamento do teste de bancada no instante do quadro cheio (Equação 16 obtida a partir da Equação 15).

$$V_t = \frac{(\text{razão umidade da torta} * m) - m + \left(\frac{m \rho}{\rho_s}\right)}{\rho} \quad (15)$$

- Razão umidade da torta: conforme definido na Equação 12 representa a relação entre a massa de torta molhada e a massa de torta seca, sendo expressa de acordo com a Equação 16.

$$\text{razão umidade da torta} = \frac{m + \left(V_t - \frac{m}{\rho_s}\right) \rho}{m} \quad (16)$$

- Volume do filtrado ( $V_1$ ): volume da solução filtrada no instante em que o quadro está completamente preenchida de torta (análise algorítmica ou informado pelo usuário).
- Tempo (quadro cheio [ $t_1$ ]): tempo em que o quadro de filtração foi preenchido por completo (análise algorítmica ou informado pelo usuário).
- Resistividade da torta ( $\langle \alpha \rangle$ ): resistência específica da torta (bolo) calculada através da regressão linear dos dados das amostras informadas pelo usuário (Equação 17).

$$\langle \alpha \rangle = \frac{(2A_1^2) \Delta P \gamma}{\mu \rho_L C_s}$$

(17)

- Resistência do meio filtrante ( $R_m$ ): resistência ao meio filtrante, determinada a partir de dados provenientes de uma instalação de filtração piloto (Equação 18).

$$R_m = \frac{\delta A_1 \Delta P}{\mu}$$

(18)

- Porosidade da torta: fração relativa do volume da rocha, ou de qualquer outra substância sólida, ocupada por poros e que está ligada à capacidade deste material em reunir fluidos (Equação 19).

$$\varepsilon = \frac{m(\text{razão de umidade da torta}) - (m / (V_t \rho_{\text{água}}))}{V_t} \quad (19)$$

Figura 59: Relatório de dados operacionais do teste de bancada

<b>Dados operacionais do teste de bancada</b>	
Massa seca da Torta (m)	<b>7,350 x 10<sup>2.0</sup> g</b>
Volume da torta (V <sub>t</sub> )	<b>7,132 x 10<sup>2.0</sup> cm<sup>3</sup></b>
Volume filtrado (V <sub>f</sub> )	<b>1,470 x 10<sup>4.0</sup> cm<sup>3</sup></b>
Tempo - quadro cheio (t <sub>f</sub> )	<b>9,430 x 10<sup>2.0</sup> s</b>
Resistividade da Torta <α>	<b>7,599 x 10<sup>9.0</sup> cm/g</b>
Resistência do Meio-Filtrante <R <sub>m</sub> >	<b>2,186 x 10<sup>9.0</sup> cm<sup>-1</sup></b>
Área total de filtração (A <sub>f</sub> )	<b>4,645 x 10<sup>2.0</sup> cm<sup>2</sup></b>
Espessura do meio filtrante (e <sub>f</sub> )	<b>3,175 x 10<sup>0.0</sup> cm</b>
Pressão bomba [ΔP]	<b>2,755 x 10<sup>6.0</sup> dyn/cm<sup>2</sup></b>
Porosidade (ε)	<b>6,183 x 10<sup>-1.0</sup></b>
<b>← Scale-up: V<sub>f</sub>/V<sub>t</sub> 20,61 →</b>	

Fonte: Autor, 2021

#### 4.2.3.4.6 Dimensionamentos propostos

Ambas opções, etapas de dimensionamento do equipamento e simulação de produção, seguem o mesmo fluxo de cadastro dos componentes de filtração para execução do teste em escala laboratorial. Contudo, a resposta obtida pelo uso da aplicação passa a ser diferente nesta etapa.

#### 4.2.3.4.6.1 Dimensionamento de equipamento – Filtro Prensa

Com os valores informados e conversões realizadas de todas as etapas anteriores, o próximo passo é definir a quantidade de placas e quadros de filtração necessários para possibilitar uma determinada demanda industrial, considerando-se também o tempo de desmantelamento definido (Figura 60).

Figura 60: Formulário de dados industriais requeridos

Dados da produção requerida

Produção requerida (P [L/h]) 10000

Tempo desmantelamento (min) 20

Tempo de lavagem/outros (min)

Calcular

Fonte: Autor, 2021

Se o usuário não informar um valor para desmantelamento, o sistema o calculará a partir da Equação 20, de modo a garantir que o tempo do ciclo completo seja o dobro do tempo de desmantelamento.

$$t_d = \frac{t_2}{2} \quad (20)$$

Também poderá ser informado um tempo de lavagem da torta, se este dado for importante para o processo de dimensionamento.

Creiasco (2014, apud MASSARANI, 1985) define os tempos envolvidos no processamento (desmantelamento, limpeza e montagem), como aspectos operacionais dos filtros, não sendo relacionados com a teoria geral de filtração.

Para efeito de simulação, o Catálogo 59 da *T. Shriver & Company* (Harrison, N.J, Estados Unidos), utilizado por Massarani (2002), foi cadastrado e avaliado no caso de uso proposto.

Ao clicar sobre o botão “CALCULAR”, uma tabela aparecerá para o usuário com as espessuras dos quadros disponíveis comercialmente. Analisando a tabela, deverá ser definida uma área de filtração desejada (A), conforme a capacidade de volume ( $V_2$ ) do quadro.

Para facilitar a análise, as linhas da tabela que se adequam à produção desejada e que o tempo do ciclo ( $t_2$ ) seja ao menos o dobro dos tempos mortos ( $t_d + t_i$ ) são mostradas em azul, conforme Figura 61.

Figura 61: Área de filtração e produção – Espessura quadro comercial

$e_2$ (inch)	$t_2$ (min)	$t_2 + t_d + t_{outros}$ (min)	$V_2$ (L)	$A_2$ (m <sup>2</sup> )
1,0	10,059	30,059	5009,778	19,788
1,25	15,717	35,717	5952,778	18,811
1,5	22,632	42,632	7105,333	18,710
1,75	30,805	50,805	8467,444	19,112
2,0	40,235	60,235	10039,111	19,827
3,0	90,528	110,528	18421,332	24,254

Escolha a área total de filtração para uma espessura de quadro que leve a um tempo de filtração ( $t_2$ ) de pelo menos 2x o tempo de parada ( $t_d + t_{outros} = 20,0$  min)

Informe a área escolhida (m<sup>2</sup>) de acordo com a tabela anterior:

24

Fonte: Autor, 2021

A tabela apresenta as colunas:

- $e_2$  (inch): espessura disponível no mercado para os quadros de filtração.
- $t_2$  (min): tempo do ciclo de filtração do quadro de espessura  $e_2$  (Equação 21).

$$t_2 = \left(\frac{e_2}{e_1}\right)^2 \quad (21)$$

- $V_2$  (L): volume do filtrado para o tempo máximo do ciclo ( $t_2$ ) e produção em escala industrial ( $P$ ) e tempo de dismantelamento informados pelo usuário (Equação 22).

$$V_2 = P \cdot (t_2 + t_d) \quad (22)$$

- $A_2$  (m<sup>2</sup>): área total de filtração para o quadro de espessura  $e_2$  (Equação 23).

$$A_2 = \frac{V_2}{V_1} \cdot \frac{e_1}{e_2} \cdot A_1 \quad (23)$$

Quando o valor da área desejada ( $A_2$ ) for informada, uma nova tabela irá aparecer para o usuário, com outro campo para digitação (Figura 62).

Figura 62: Relação entre dimensão nominal e área total de filtração

Área total filtração (m <sup>2</sup> )	Dim. nominal (in)
0,46 - 3,25	12,0
2,79 - 9,29	18,0
6,97 - 23,23	24,0
13,94 - 41,81	30,0
23,23 - 65,03	36,0
46,45 - 102,19	43,25
> 92,90	48,0
> 92,90	56,0

Informe a dimensão nominal de acordo com a tabela anterior:

30

Fonte: Autor, 2021

Esta tabela é um comparativo entre as dimensões nominais possíveis para a área de filtração escolhida. O ADSI-F irá fornecer ao usuário um auxílio visual para as dimensões que se adequam melhor à sua escolha. Após verificar as informações, o usuário deverá informar em qual dimensão nominal (em polegadas) os quadros do Filtro Prensa industrial serão dimensionados.

Novamente, quando o valor é informado no campo anterior, uma nova tabela será visualizada. Neste caso, o usuário visualizará as características dos quadros disponíveis (madeira e metal) com suas respectivas áreas de filtração. A cor azul, como nas demais tabelas, selecionará a linha correspondente à dimensão nominal selecionada no campo da tabela anterior.


Logo, na sequência da nova tabela, um quadro informativo, já com os cálculos da quantidade de placas e quadros dimensionados, de acordo com os parâmetros anteriores, será apresentado (Figura 63).


Figura 63: Dimensionamento proposto pelo ADSI-F

**Quantidade de quadros de 30 inch** Registrado

Madeira: 36 quadros / 37 placas  
Metal: 25 quadros / 26 placas







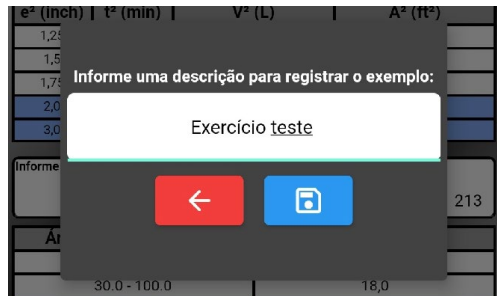
Fonte: Autor, 2021

O usuário poderá ter um resumo de todo o processamento do projeto do Filtro Prensa em escala industrial, clicando no botão de emissão do arquivo PDF. O modelo do relatório impresso se encontra no Apêndice B.



Caso deseje salvar o processamento para visualização futura, poderá clicar sobre o botão com o símbolo de disquete, no canto inferior esquerdo. Um novo *pop-up* será aberto para que o usuário informe a descrição de identificação da simulação (Figura 64).

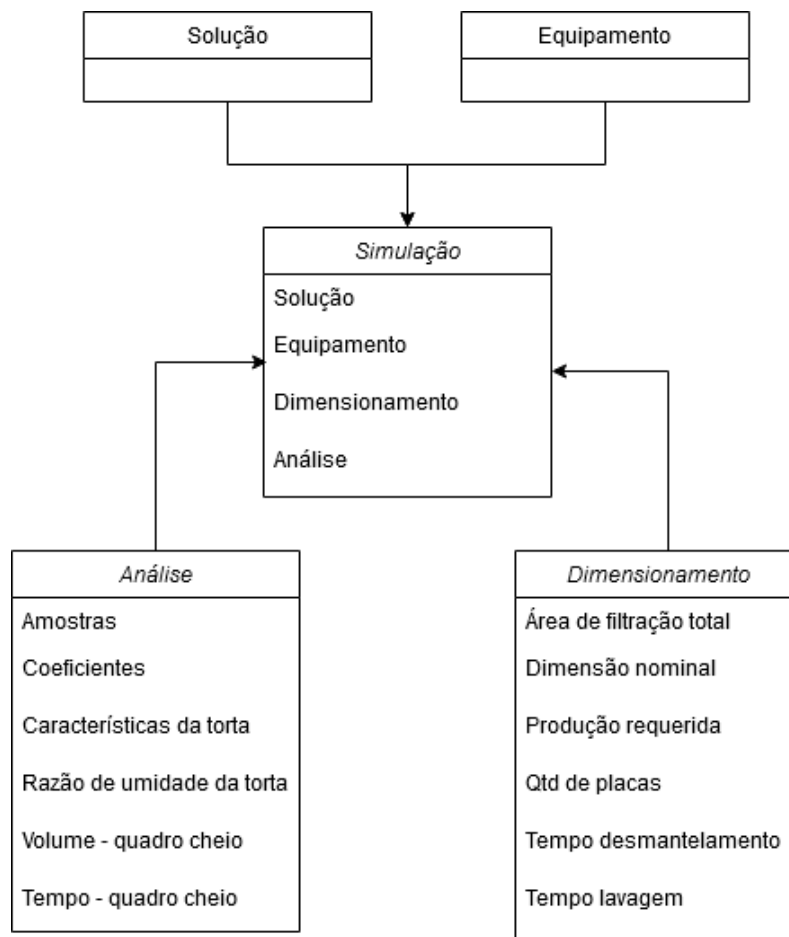
Figura 64: Salvar dados de processamento – Filtro Prensa



Fonte: Autor, 2021

Após salvar, os dados da simulação serão registrados no banco de dados *Firebase*, conforme Figura 65.

Figura 65: Banco de dados – Dimensionamento de Equipamento - Filtro Prensa



Fonte: Autor, 2022

#### 4.2.3.4.6.2 Simulação de produção

Com os valores informados e conversões realizadas de todas as etapas anteriores, o próximo passo será informar através do formulário abaixo as informações pertinentes do sistema em escala industrial que deverá ter a produção simulada (Figura 66).

Figura 66: Formulário para simulação de produção

Informe as propriedades do filtro industrial para completar a simulação.		
Quantidade de quadros	Área de um quadro (ft <sup>2</sup> )	Espessura quadro (inch)
<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="10.5"/>	<input type="text" value="2"/>
Área total de filtração (ft <sup>2</sup> )		Pressão de alimentação
<input type="text" value="195096.384"/>		<input type="text" value="2755360.000 dyn/cm&lt;sup&gt;2&lt;/sup&gt;"/>
Tempo de desmantelamento (min)	Tempo de lavagem (min)	
<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="0.0"/>	

Fonte: Autor, 2022

As informações importantes são: quantidade de quadros e área de filtração por quadro ou área total de filtração do equipamento em escala industrial ( $A_1$ ), além da espessura do quadro comercial que será utilizado ( $e_1$ ) e dos tempos mortos do ciclo de filtração (desmantelamento [ $t_d$ ] e lavagem [ $t_l$ ]).

Após informar os dados, o usuário deverá clicar em CALCULAR, para que seja gerado em tela o relatório da simulação de produção industrial do equipamento (conforme Figura 67).

Figura 678: Relatório de produção do equipamento em escala industrial

<b>Dados da filtração em escala industrial</b>	
Área de filtração ( $A_2$ )	$1,951 \times 10^{5.0} \text{ cm}^2$
Tempo de filtração industrial ( $t_2$ )	46,228 min
Volume de filtração ( $V_2$ )	$9,423 \times 10^{3.0} \text{ dm}^3$
Produção de filtrado sem lavagem de torta	$8,537 \times 10^{3.0} \text{ dm}^3/\text{h}$
Produção de filtrado com lavagem de torta	$8,537 \times 10^{3.0} \text{ dm}^3/\text{h}$
Volume de torta úmida	$4,101 \times 10^{6.0} \text{ cm}^3$
Volume de sólidos	$1,745 \times 10^{6.0} \text{ cm}^3$
Massa seca de sólidos em um ciclo de filtração	$4,712 \times 10^{3.0} \text{ kg}$
Tempo do ciclo (sem lavagem)	1,104 h
Tempo do ciclo (com lavagem)	1,104 h
Produção de torta seca (sem lavagem)	$4,268 \times 10^{3.0} \text{ kg/h}$
Produção de torta seca (com lavagem)	$4,268 \times 10^{3.0} \text{ kg/h}$

Fonte: Autor, 2022

Os dados da simulação poderão ser registrados através do botão SALVAR (botão com símbolo de disquete). Com isso, o usuário terá à sua disposição os dados quando for necessário. Os dados presentes no relatório são:

- Área de filtração ( $A_2$ );
- Tempo de filtração industrial ( $t_2$ ) (Equação 24);

$$t_2 = t_1 \frac{e_2}{e_1} \quad (24)$$

- Volume de filtração ( $V_2$ ) (Equação 25);

$$V_2 = \frac{e_2 V_1}{e_1 A_1} V_1 \quad (25)$$

- Produção de filtrado sem lavagem de torta (Equação 26);

$$P_{(sem\ lavagem)} = V_2 / ((t_d + t_2)60(h)) \quad (26)$$

- Produção de filtrado com a lavagem de torta (Equação 27);

$$P_{(com\ lavagem)} = V_2 / ((t_d + t_L + t_2)60(h)) \quad (27)$$

- Volume de torta úmida (Equação 28);

$$V_{t(úmida)} = V_2 / (V_1 + V_t) \quad (28)$$

- Volume de sólidos (Equação 29);

$$V_{sólidos} = V_{t(úmida)} * (1 - \varepsilon) \quad (29)$$

- Massa seca de sólidos em um ciclo de filtração (Equação 30);

$$m_2 = V_{sólidos} * (\rho_{sólidos} / 1000(kg)) \quad (30)$$

- Tempo do ciclo (sem lavagem) (Equação 31);

$$t_{c(sem\ lavagem)} = (t_2 + t_d) / 60(h) \quad (31)$$

- Tempo do ciclo (com lavagem) (Equação 32);

$$t_{c(com\ lavagem)} = (t_2 + t_d + t_L) / 60(h) \quad (32)$$

- Produção de torta seca (sem lavagem) (Equação 33);

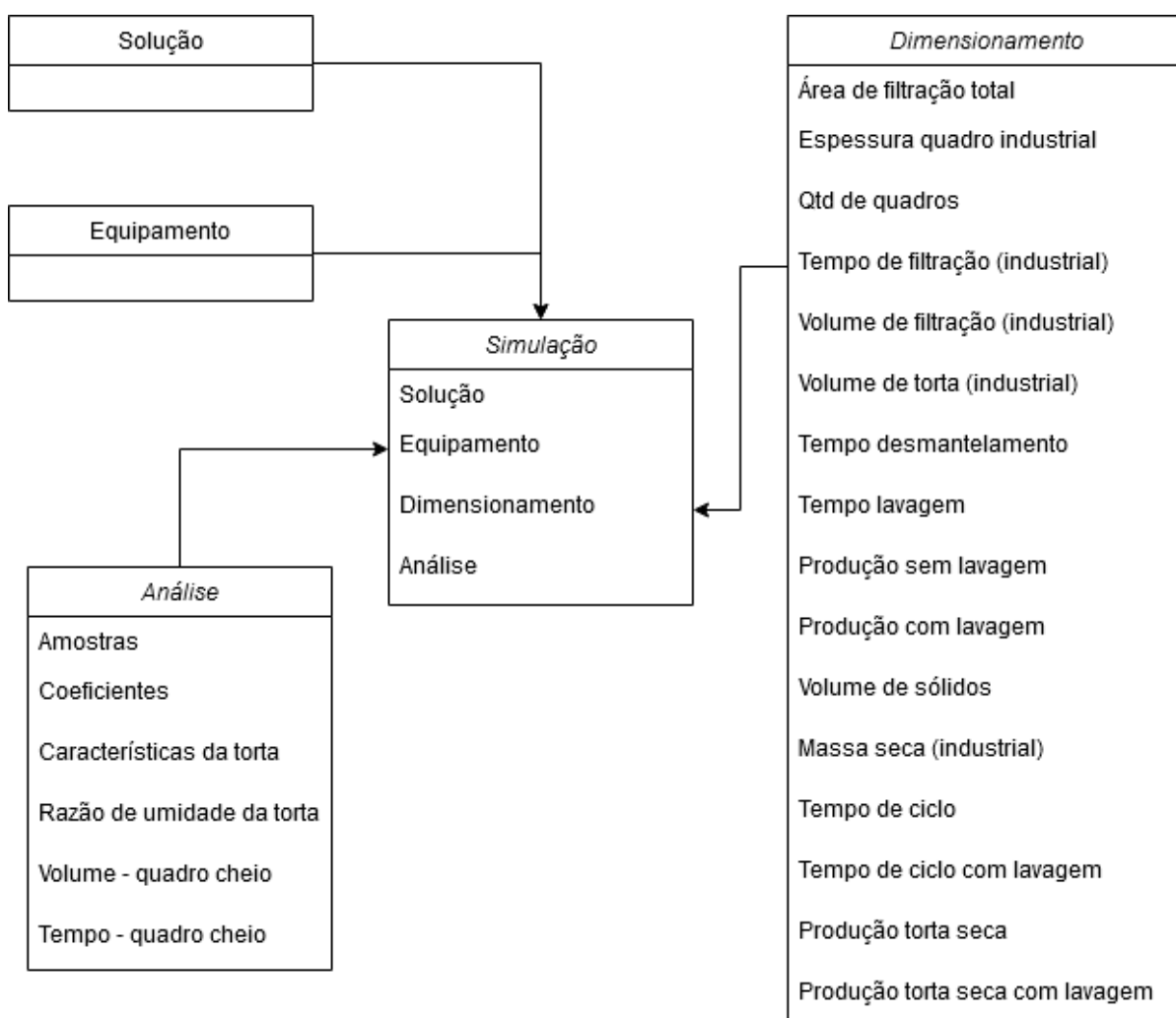
$$P_{tsca(sem\ lavagem)} = m_2 / t_{c(sem\ lavagem)} \quad (33)$$

- Produção de torta seca (com lavagem) (Equação 34).

$$P_{tsca(com\ lavagem)} = m_2 / t_{c(com\ lavagem)} \quad (34)$$

Após salvar, os dados da simulação serão registrados no banco de dados *Firestore*, conforme Figura 68.

Figura 68: Banco de dados – Simulação de Produção - Filtro Prensa

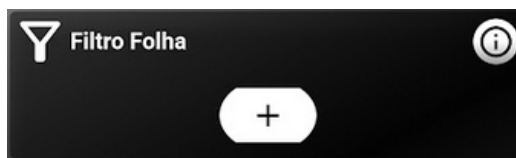


Fonte: Autor, 2022

#### 4.2.3.5 Processamento – Filtro Tambor Rotativo à vácuo

Após a definição dos componentes de filtração, deverão ser informados os dados referentes ao filtro folha do teste de bancada laboratorial (Figura 69).

Figura 69: Card dos atributos do filtro-folha de laboratório



Fonte: Autor, 2021

Por meio deste teste laboratorial, o usuário coletará dados referentes ao volume de filtrado no instante em que o filtro-folha apresentou espessura de torta coletada de 6 mm. Esse resultado auxiliará o usuário a rotação do tambor e o ângulo de submersão do tambor.

Com essas informações, é possível calcular a produção de filtrado por unidade de área, que será a informação utilizada para o dimensionamento do filtro em escala industrial.

#### 4.2.3.5.1 Dados do equipamento de laboratório para teste de bancada

O teste de bancada é essencial para as definições posteriores das especificidades do equipamento em escala industrial.

O usuário do sistema deverá informar:

- Área do meio filtrante ( $A_1$ ): área de filtração do filtro-folha de laboratório.
- Pressão da bomba do laboratório ( $\Delta P$ ): bomba que alimentará a suspensão no equipamento de bancada a uma determinada pressão definida pelo usuário.

Assim como os módulos anteriores, de acordo com o perfil escolhido, o sistema disponibiliza o correto componente de conversão de atributos. A Tabela 8 mostra quais são as unidades que deverão ser utilizadas para este módulo. A unidade métrica da pressão da bomba não é relevante para os cálculos de dimensionamento, portanto será de livre escolha do usuário, compondo apenas o relatório final.

Tabela 7: Unidades– cadastro do filtro-folha – Filtro Tambor Rotativo

Atributo	Unidade padrão
Área do meio filtrante	cm <sup>2</sup> (centímetro quadrado)

Fonte: Autor, 2021

O formulário de cadastro do equipamento para teste de bancada preenchido pode ser visualizado na Figura 70.

Figura 70: Formulário - Cadastro de equipamento – Filtro de Tambor Rotativo

O teste com o filtro folha é executado em apenas uma camada filtrante

Todas as unidades deverão estar no CGS.  
Para visualizar o padrão, clique no botão de informação.

Área total de filtração (A<sub>t</sub>)

132,500

Unidade: cm<sup>2</sup> ↓

Valor do atributo  
1,325 x 10<sup>2.0</sup>  
cm<sup>2</sup>

Converter...

Pressão da bomba do laboratório (ΔP)

600,000

Unidade: mmHg ↓

Valor do atributo  
6,000 x 10<sup>2.0</sup>  
mmHg

Converter...

Fonte: Autor, 2021

O usuário também poderá pesquisar por equipamentos já cadastrados na aplicação, através do botão de pesquisa (Figura 68a). Uma janela *pop-up* será disponibilizada para que o usuário selecione o item que deseja incluir no formulário (Figura 68b).

Figura 71: Botão de busca (a) e *Pop-up* de filtros cadastrados (Ex: Filtro Tambor Rotativo)

Quantidade de quadros

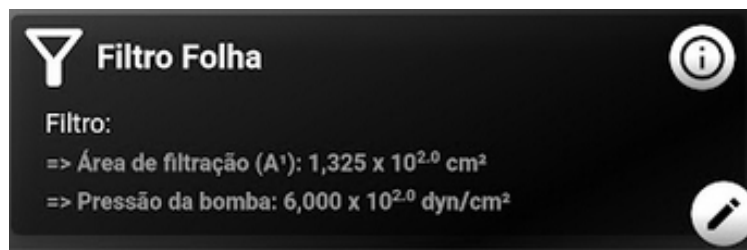
Equipamentos Registrados

Filtro Tambor Rotativo 1  
Área: 132.5 cm<sup>2</sup>  
Pres. Bomba: 600.0 dyn/cm<sup>2</sup>

Fonte: Autor, 2021

Ao salvar as informações das características do filtro utilizado no teste de bancada e voltar para a área inicial, o *card* do “FILTRO FOLHA” aparecerá preenchido, conforme Figura 72.

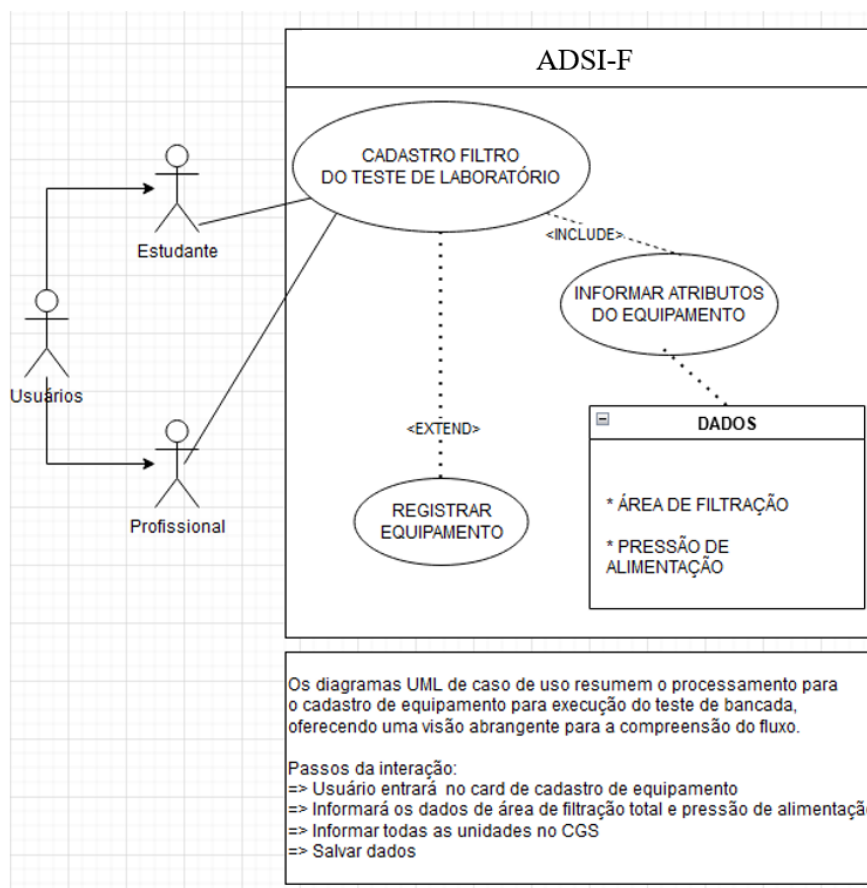
Figura 72: Dados do filtro-folha para teste de bancada



Fonte: Autor, 2021

As etapas para cadastro do equipamento em que o teste em laboratório será realizado são apresentadas na Figura 73.

Figura 73: Diagrama de Caso de Uso – Cadastro filtro-folha para teste de bancada



Fonte: Autor, 2022

#### 4.2.3.5.2 Amostras pós-teste de bancada

De posse das informações referentes ao filtro-folha do teste de bancada, o próximo passo será cadastrar os parâmetros operacionais obtidos pela realização do teste. O usuário



deverá acessar o formulário através do *card* “AMOSTRAS LABORATORIAIS” (Figura 74).

Figura 74: *Card* dos ensaios de filtração extraídos do teste com filtro-folha



Fonte: Autor, 2021

Para o filtro de Tambor Rotativo à vácuo, o formulário (Figura 75) de cadastro será construído de acordo com a opção de simulação selecionada anteriormente:

- Dimensionamento do equipamento - O usuário deverá informar:
  - Tempos de filtração:
    - Tempos de lavagem, secagem e outros tempos morto;
    - Se calculado, o tempo completo do ciclo. Caso não seja informado, o sistema calculará pela Equação 35;
  - Porcentagem (%) de sólidos presentes na torta coletada.
  - Caso possua os dados de rotação e ângulo de submersão:
    - Rotação do tambor (se não possuir, é calculada pela Equação 36).
    - Ângulo de submersão do tambor (se não possuir, é calculada pela Equação 37).
  - Volume da água de lavagem utilizado para lavar a torta no ciclo de filtração;

$$t_c = t_1 + t_L + t_s + t_o \quad (35)$$

$$N = \frac{1}{t_c} \quad (36)$$

$$I = \frac{t_1}{t_c} 360 \quad (37)$$

- Simulação de produção - O usuário deverá informar:
  - Porcentagem (%) de sólidos presentes na torta coletada.
  - Porosidade da torta ( $\epsilon$ );
  - Espessura da torta ( $e_1$ );
  - Ângulo de submersão do tambor;

Para ambas simulações, o usuário deverá informar as amostras coletadas, com as informações de tempo ( $t$ ) e volume ( $V$ ) e espessura da torta formada no teste com filtro-folha.

Caso sejam informadas várias amostras, o sistema utilizará de regressão linear para determinação de  $t_1$  e  $V_1$ , do contrário, os dados informados já serão desses atributos.

Figura 75: Formulário de amostra do teste com filtro folha

The image displays two screenshots of a mobile application interface. The left screenshot shows the main form for entering test data. It includes a header with a warning: "Todas as unidades deverão estar no CGS. Para visualizar o padrão, clique no botão de Informação." Below this is a section titled "Amostras do teste em laboratório" with input fields for "Tempo de filtração" and "Volume filtrado", and a red "+" button. A dropdown menu is labeled "Clique para ver as amostras". A red button "Converter unidades" is visible. The "% de sólidos na torta" field contains the value "81,00 %". There is a checked checkbox for "Possuo rotação do tambor e ângulo de submersão calculados". Below are fields for "Rotações do tambor (RPM)" and "Ângulo de submersão". The right screenshot shows a "Converter unidades" dialog box. It has a title "Volume da água de lavagem" and a value field containing "0,160". A unit dropdown is set to "dm³". To the right, it shows "Valor do atributo" as  $1,600 \times 10^{-1,0}$  dm³ and a red "Converter..." button. Below this are three more sections: "Tempo (lavagem)", "Tempo (secagem)", and "Tempo (outros)", each with a unit dropdown and a "Converter..." button. A red "X" button is in the bottom right corner of the dialog.

Fonte: Autor, 2021

Antes de finalizar, o usuário deverá informar corretamente as unidades que deverão ser utilizadas no processamento. Para isso, deverá clicar no botão “CONVERTER UNIDADES” e definir os valores no *pop-up* (caso seja estudante) ou informar as unidades que possui para posterior conversão automática via lógica do ADSI-F (caso profissional), conforme Figura 76.

A Tabela 9 informa ao usuário quais são as unidades que deverão ser informadas (considerar sempre entrada de dados com unidades do CGS). Os dados marcados pelo caracter (\*) são obrigatórios, dependendo do tipo de formulário selecionado.

Tabela 8: Unidades – cadastro amostras laboratoriais – Filtro Tambor Rotativo

Atributo	Unidade padrão
Tempo de filtração (*)	s (segundos)
Volume (*)	cm <sup>3</sup> (centímetro cúbico)
Tempos operacionais (*) (Lavagem, Secagem, Outros, Ciclo)	s (segundos)

Fonte: Autor, 2021

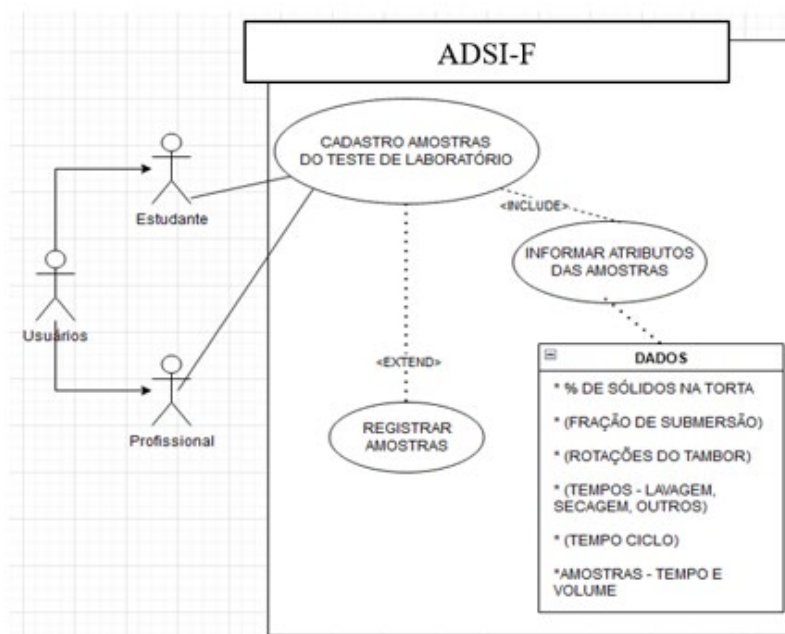
Figura 76: Módulos de conversão de tempo e volume



Fonte: Autor, 2021

Para facilitar a compreensão do fluxo do cadastro no ADSI-F das amostras de filtração coletadas pelo teste de bancada, apresenta-se o diagrama abaixo (Figura 77).

Figura 77: Diagrama de Caso de Uso – Cadastro amostras coletadas



Os diagramas UML de caso de uso resumem o processamento para o cadastro de amostras do teste de bancada, oferecendo uma visão abrangente para a compreensão do fluxo.

**Passos da interação:**

- => Usuário entrará no card de cadastro de amostras retiradas do teste com filtro-folha (bancada)
- => Informará os dados dos resultados das amostras retiradas
- => Se possuir, informará os dados de rotação e fração submersa do tambor, do contrário o sistema irá calcular tais valores
- => Se possuir, informará o tempo do ciclo, ou os tempos que compõem o processo de filtração, para que seja calculado o tempo total
- => Informar o volume de água de lavagem, espessura da torta e a porosidade da torta, quando solicitados
- => Informar todas as unidades no CGS
- => Salvar dados

Fonte: Autor, 2021

Os dados registrados são mostrados no *card* correspondente na tela inicial, conforme Figura 78.

Figura 78: Card das amostras cadastradas – Filtro Tambor Rotativo



Fonte: Autor, 2021

#### 4.2.3.5.3 Dimensionamento do Filtro de Tambor Rotativo em escala industrial

A próxima etapa do processamento do ADSI-F para o equipamento Filtro de Tambor Rotativo à vácuo é a determinação da capacidade de produção de filtrado por unidade de área ( $\psi$ ) em  $\frac{dm^3}{m^2h}$  (decímetros cúbicos por metro quadrado por hora). Esse dado é obtido através da Equação 38.

$$\psi = \frac{Q}{A} \quad (38)$$

Em que:

$$Q = \frac{V_1}{t_c} \quad (39)$$

#### 4.2.3.5.4 Relatório de dados operacionais em teste de bancada

O sistema apresentará um relatório resumindo os dados informados pelo usuário (Figura 79). Essa tela poderá se comportar de formas diferentes, de acordo com os parâmetros que foram informados na tela Amostras laboratoriais (seção 4.2.3.5.2).

Figura 79: Relatórios operacionais do teste de bancada – Filtro Tambor Rotativo

Dados operacionais do teste de bancada	
Tempo de lavagem	2,500 min
Volume da água de lavagem	1,630 x 10 <sup>-1.0</sup> dm <sup>3</sup>
Tempo de secagem	2,167 min
% de sólidos na torta	81,0 %
Outros tempos	0,167 min
<b>Tempo do ciclo</b>	
	7,550 min
<b>Rotações do tambor</b>	
	0,132 RPM
<b>Fração submersa</b>	
	0,403 (145°)
<div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>←</span> <span>Produção de filtrado por unidade de área (<math>\psi</math>) = Q/A</span> <span>569,786 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h</span> <span>→</span> </div>	

Fonte: Autor, 2022

#### 4.2.3.4.5 Dimensionamentos propostos

Ambas opções, etapas de dimensionamento do equipamento e simulação de produção, seguem o mesmo fluxo de cadastro dos componentes de filtração para execução do teste em escala laboratorial.

##### 4.2.3.4.5.1 Dimensionamento de equipamento

Com os valores informados e conversões realizadas de todas as etapas anteriores, o próximo passo é definir o conjunto de equipamentos que fornecerão a produção industrial desejada (Figura 80), conforme catálogos fornecidos no cadastro de parâmetros da seção 4.2.4.

Figura 80: Formulário de produção industrial

O formulário, intitulado "Dados da produção requerida", possui um campo de entrada para "Produção requerida (P [L/h])" com o valor "10000" preenchido. Um ícone de informação (i) está no canto superior direito. Abaixo do campo, há um botão vermelho com o texto "Calcular".

Fonte: Autor, 2021

Para efeito de simulação, o Catálogo da FEINC e alguns extras (fictícios), foram cadastrados e avaliados no caso de uso proposto.

Ao clicar sobre o botão "CALCULAR", um componente com a informação da área recomendada ( $A_2$ ) será disponibilizado. O usuário deverá escolher uma margem de segurança (%) para efeito de cálculos de dimensionamento. É desejável uma margem de segurança aproximada de 20%, contudo o usuário terá liberdade para definir esse valor (Figura 81).

Figura 81: Área recomendada ( $A_2$ ): sem margem (a) e 20% de margem (b)

As duas telas mostram a "Área industrial recomendada" e a "Margem segurança (%)".

a) Sem margem: Área industrial recomendada: 17,540 m<sup>2</sup> / 188,794 ft<sup>2</sup>. Margem segurança (%): 0. Botões de ajuste (-) e (+) estão visíveis.

b) 20% de margem: Área industrial recomendada: 21,048 m<sup>2</sup> / 226,553 ft<sup>2</sup>. Margem segurança (%): 20. Botões de ajuste (-) e (+) estão visíveis.

Fonte: Autor, 2021

Após a definição da área recomendada ( $A_2$ ), um novo componente será disponibilizado na tela, em que o usuário poderá conferir os catálogos de equipamentos cadastrados por empresa. Poderá selecionar qual catálogo a tabela deverá mostrar. Seguindo o padrão do dimensionamento do Filtro Prensa, os equipamentos que possuem área filtrante maior ou igual à área recomendada ( $A_2$ ) serão mostrados em azul, conforme Figura 78a.

Para uma área recomendada de 21,061 m<sup>2</sup>, o catálogo da FEINC cadastrado como exemplo apresenta seis itens passíveis de escolha pelo usuário. Após analisar as opções, no respectivo campo de escolha da área filtrante do equipamento de acordo com o catálogo (Figura 82), o usuário deverá informar o valor exato da área filtrante para concluir o dimensionamento.

Figura 82: Dados do catálogo - FEINC

Catálogo	Dim. tambor	Comp. tambor	Área filtrante (m <sup>2</sup> )	Pot. requerida (HP) Tambor	Agitador
FEINC	6'6"	8'	15,143	3/4	3/4
FEINC	8'	8'	18,674	1	1
FEINC	8'	10'	23,319	1	1 1/2
FEINC	8'	12'	28,057	1	1 1/2
FEINC	10'6"	10'	30,658	1	2
FEINC	10'6"	12'	36,790	1 1/2	2
FEINC	10'6"	14'	42,921	1 1/2	3
FEINC	10'6"	16'	49,053	2	3
Extra1	10'6"	16'	23,226	2	1/4
Extra2	13'6"	16'	60,573	3	5

Informe a área filtrante do equipamento (m<sup>2</sup>):

23

Fonte: Autor, 2021

A partir da informação digitada pelo usuário, o ADSI-F apresentará, logo abaixo do respectivo campo, um resumo do conjunto selecionado (conforme Figura 83).

Figura 83: Resumo do dimensionamento

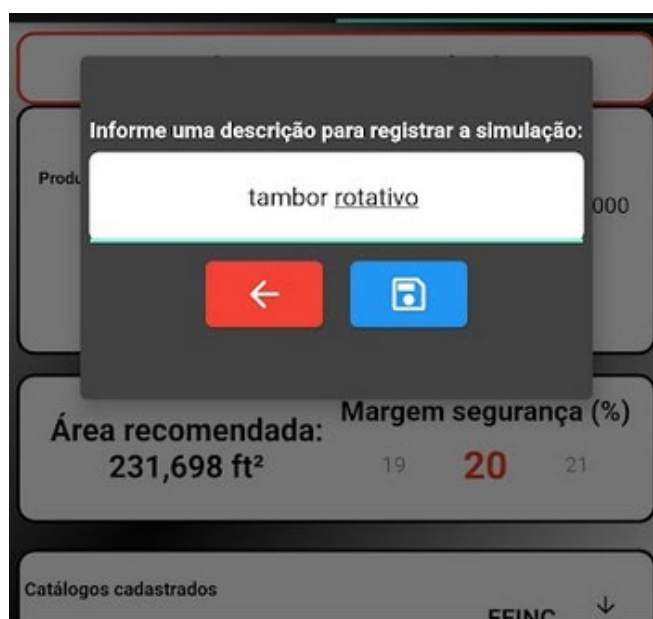


Fonte: Autor, 2021

O usuário poderá ter um resumo de todo o processamento do projeto do Filtro de Tambor Rotativo à vácuo em escala industrial, clicando no botão de emissão do arquivo PDF. O modelo do relatório impresso se encontra no Apêndice C.

Caso deseje salvar o processamento para visualização futura, poderá clicar sobre o botão com o símbolo de disquete, no canto inferior esquerdo. Um novo *pop-up* será aberto para que o usuário informe a descrição de identificação da simulação (Figura 84).

Figura 84: Salvar dados de processamento – Filtro Tambor Rotativo

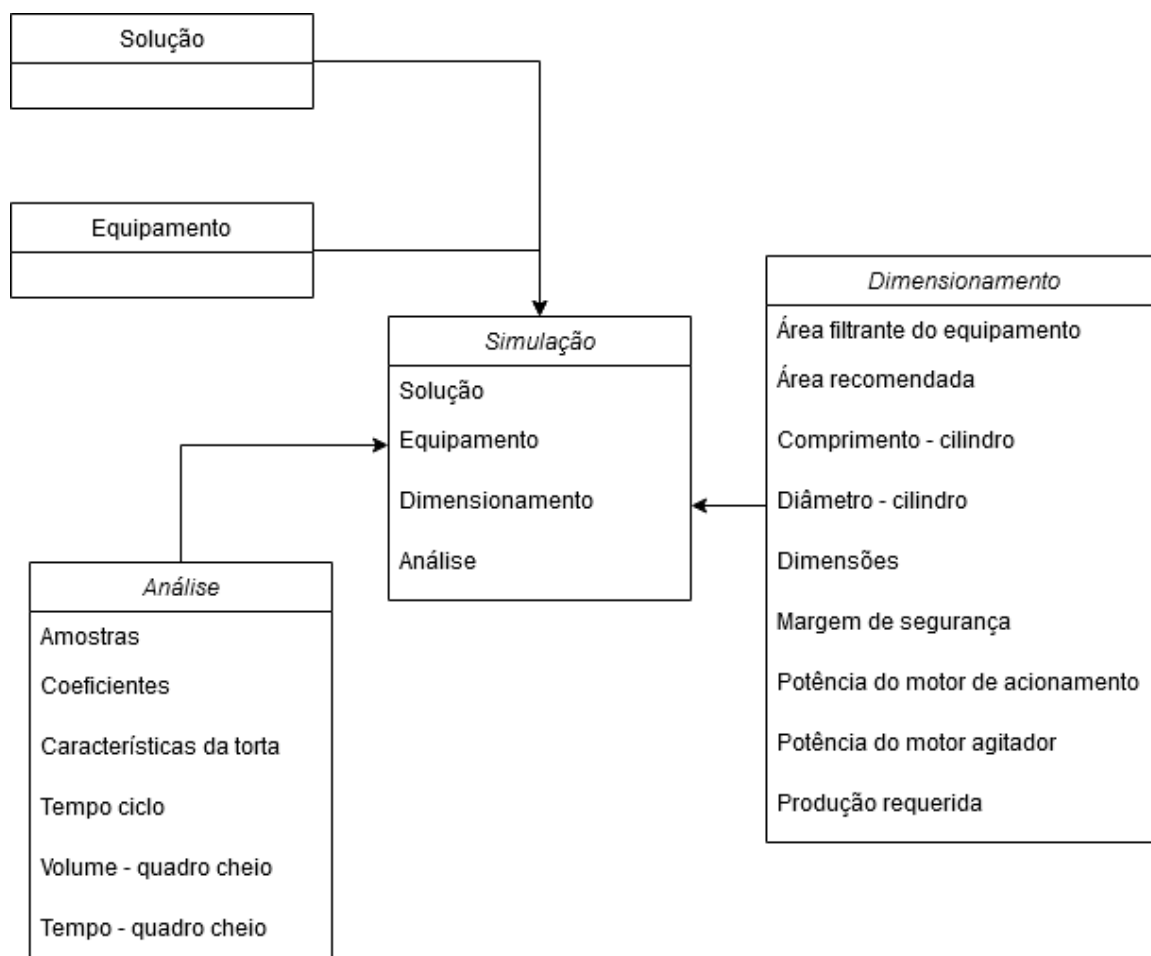


Fonte: Autor, 2021



Após salvar, os dados da simulação serão registrados no banco de dados *Firestore*, conforme Figura 85.

Figura 85: Banco de Dados - Dimensionamento de Equipamento – Filtro Tambor Rotativo



Fonte: Autor, 2022

#### 4.2.3.4.5.2 Simulação de produção

Com os valores informados e conversões realizadas de todas as etapas anteriores, o próximo passo será informar através do formulário a seguir os dados pertinentes do sistema em escala industrial que deverá ter a produção simulada (Figura 86).

Figura 86: Formulário para simulação de produção

**Informe as propriedades do filtro industrial para completar a simulação.**

Diâmetro do tambor (cm)	Largura do tambor (cm)	Área do tambor (cm <sup>2</sup> )

Rotação do tambor (RPM)	Ângulo de imersão	Pressão de alimentação	Espessura da torta
0.176	145°	25.0 inHg	0.5 cm

Voltar    Calcular

---

**Informe as propriedades do filtro industrial para completar a simulação.**

Diâmetro do tambor (cm)	Largura do tambor (cm)	Área do tambor (cm <sup>2</sup> )
200	200	125600.000

Rotação do tambor (RPM)	Ângulo de imersão	Pressão de alimentação	Espessura da torta
0.176	145°	25.0 inHg	0.5 cm

Voltar    Calcular

Fonte: Autor, 2022

As informações importantes são: diâmetro e largura do tambor ou área total de filtração do equipamento em escala industrial ( $A_1$ ).

Após informar os dados, o usuário deverá clicar em CALCULAR para que o relatório de produção industrial do equipamento requisitado, de acordo com as características de solução e equipamento de bancada dos parâmetros anteriores seja mostrado em tela (Figura 87).

Figura 87: Relatório de produção do equipamento em escala industrial

<b>Dados da filtração em escala industrial</b>	
Área de filtração ( $A_2$ )	$1,256 \times 10^{5.0} \text{ cm}^2$
Volume da torta ( $VT_2$ )	$6,280 \times 10^{4.0} \text{ cm}^3$
Volume de torta seca ( $V_s$ )	$2,324 \times 10^{4.0} \text{ cm}^3$
Massa seca de torta ( $m_2$ )	$5,344 \times 10^{4.0} \text{ g}$
Pressão de alimentação	$2,500 \times 10^{1.0} \text{ inHg}$
Ângulo de imersão	$4,028 \times 10^{-1.0} (145.0^\circ)$
Volume de filtração ( $V_2$ )	$2,969 \times 10^{2.0} \text{ dm}^3$
Produção por unidade de área ( $\Psi$ )	$3,143 \times 10^{3.0} \text{ dm}^3/\text{h}$
Rotações do tambor	$1,764 \times 10^{-1.0} \text{ RPM}$

✕    🏠    💾

Fonte: Autor, 2022

As informações presentes no relatório de dados da filtração em escala industrial são:

- Área de filtração ( $A_2$ );
- Volume da torta ( $V_{t2}$ ) (Equação 40);

$$V_{t2} = A_2 e_2 \quad (40)$$

- Volume de torta seca ( $V_s$ ) (Equação 41);

$$V_s = V_{t2}(1 - \varepsilon) \quad (41)$$

- Massa seca de torta ( $m_2$ ) (Equação 42);

$$m_2 = V_s \rho_{sólidos} \quad (42)$$

- Pressão de alimentação ( $\Delta P_2$ );
- Ângulo de imersão ( $\Theta$ );
- Volume de filtração ( $V_2$ ) (Equação 43);

$$V_2 = \frac{m_2}{C_s / 1000(kg)} \quad (43)$$

- Tempo do ciclo ( $t_{c2}$ ) (Equação 44);

$$t_{c2} = t_1 / I \quad (44)$$

- Produção por unidade de área ( $\psi$ ) (Equação 45);

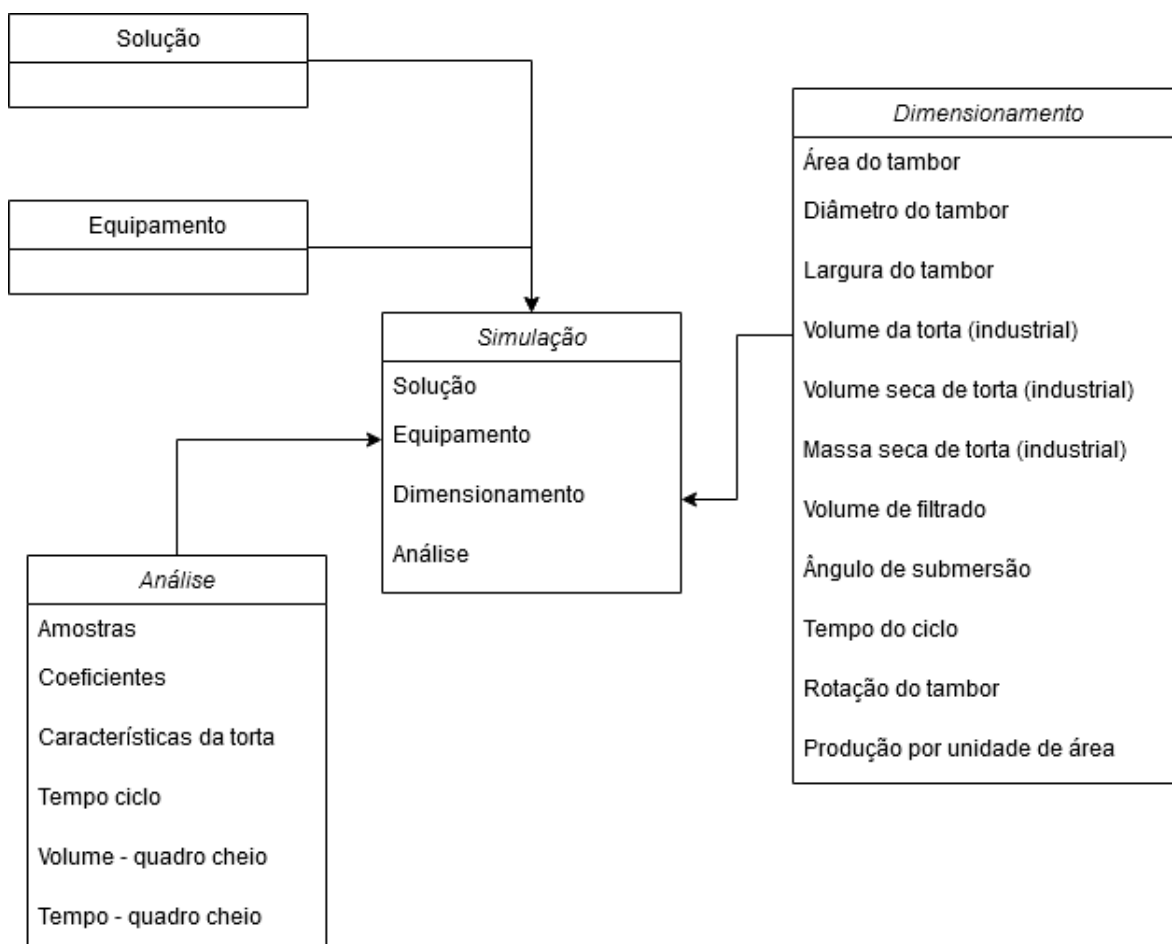
$$\psi = V_2 / t_{c2} \quad (45)$$

- Rotações do tambor ( $N$ ) (Equação 46).

$$N = 1 / t_{c2} / 60 [min] \quad (46)$$

Após salvar, os dados da simulação serão registrados no banco de dados *Firestore*, conforme Figura 88.

Figura 88: Banco de Dados – Simulação de Produção – Tambor rotativo



Fonte: Autor, 2022

#### 4.2.3.4.5.3 Simulação por histórico de filtro

Esta simulação não depende do cadastro dos parâmetros anteriores, como componentes de filtração e equipamento de teste de bancada.

A partir de duas experiências de filtração conduzidas em um mesmo filtro de tambor rotativo com a mesma suspensão, temperatura e pressão, é possível simular os parâmetros de um terceiro conjunto de dados.

Para isso, o usuário deverá informar além dos dados dos dois conjuntos de filtração que compõem o histórico recente das filtrações executadas, um par de dados do terceiro conjunto, que será dimensionado (Figura 89). As informações a serem completadas pelo usuário, para cada processo de filtração, são:

- Produção de filtrado (gal/min);
- Rotações do tambor (RPM);
- Ângulo de imersão ( $\theta$ ).

Figura 89: Formulário - histórico de filtração

**Informe os dados de duas experiências conduzidas no mesmo filtro rotativo com mesmas suspensão, temperatura e pressão.**

	1° Conj. dados	2° Conj. dados
Produção de filtrado (gal/min)	450	550
Rotações do tambor (RPM)	0.25	0.5
Ângulo de imersão ( $\theta$ )	90	90

Fonte: Autor, 2022

Para calcular o terceiro processo, um par de atributos do novo conjunto deverá ser informado, através do formulário da Figura 90.

Figura 90: Dados para cálculo do terceiro conjunto de dados

**Informe dois (2) parâmetros do conjunto de dados abaixo**

Produção de filtrado (gal/min)	Rotações do Tambor (RPM)	Ângulo de imersão ( $\theta$ )
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**Calcular**

**Informe dois (2) parâmetros do conjunto de dados abaixo**

Produção de filtrado (gal/min)	Rotações do Tambor (RPM)	Ângulo de imersão ( $\theta$ )
<input type="text"/>	0.6	120

**Calcular**

Fonte: Autor, 2022

Com os dados informados na Figura 85, o sistema realizará o cálculo da produção de filtrado (gal/min), considerando os parâmetros históricos e uma nova rotação do tambor de 60 RPM e ângulo de imersão de 120°.

Para efetuar tais cálculos, o aplicativo trabalha com a equação simplificada de filtração (Equação 47).

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu}{A\Delta P} \left[ \frac{\langle \alpha \rangle pVC}{2A} + R_m \right] \quad (47)$$

Considerando que a equação fundamental da filtração anterior, que tem comportamento de uma reta, pode ser simplificada para a situação do filtro tambor rotativo em função dos coeficientes angular e linear, pode-se obter a Equação 48.

$$\frac{t}{V} = \gamma V + \delta \quad (48)$$

Em que:

$$\frac{t}{V} = \frac{I/N}{Q/N} \quad (49)$$

$$V = \frac{Q}{N} \quad (50)$$

$$t = \frac{I}{N} \quad (51)$$

Substituindo as equações 49 a 51 na Equação 48, é possível obter a Equação 52, que será utilizada para os cálculos dos atributos do terceiro conjunto de dados.

$$\frac{I}{Q} = \gamma \frac{Q}{N} + \delta \quad (52)$$

A partir da equação anterior, considerando que os coeficientes angular e linear podem ser obtidos através da regressão linear de  $(\frac{I_1}{Q_1}, \frac{Q_1}{N_1})$  e  $(\frac{I_2}{Q_2}, \frac{Q_2}{N_2})$ , uma vez que esses parâmetros da equação da reta são conhecidos, é possível abstrair as Equações 53, 54 e 55, para descobrir  $I_3$ ,  $N_3$  ou  $Q_3$ , respectivamente.

$$I = \gamma \frac{Q^2}{N} + Q\delta \quad (53)$$

$$N = \gamma Q / \left( \frac{l}{Q} - \delta \right) \quad (54)$$

$$Q = \frac{-\delta N \pm \sqrt{(\delta N)^2 + 4\gamma IN}}{2\gamma} \quad (55)$$

Após clicar em CALCULAR, o sistema apresentará a tela de resultados de simulação do terceiro conjunto de dados para o usuário (Figura 91).

Figura 91: Resultado da simulação por histórico

<b>Resultado da simulação</b>	
<b>Dados do primeiro conjunto</b>	
Produção de filtrado	450 gal/min
Rotação do tambor	0,25 RPM
Ângulo de imersão ( $\theta$ )	90°
<b>Dados do segundo conjunto</b>	
Produção de filtrado	550 gal/min
Rotação do tambor	0,5 RPM
Ângulo de imersão ( $\theta$ )	90°
<b>Dados operacionais novos</b>	
Produção de filtrado	713,241 gal/min
Rotação do tambor	0,600 RPM
Ângulo de imersão ( $\theta$ )	120°

#### 4.2.4 Casos de Uso

Para validar o uso da aplicação, casos de uso dos módulos de simulação são apresentados no Apêndice D.

## 6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O ADSI-F, Aplicativo de Dimensionamento e Simulação – Módulo Filtração Industrial, foi desenvolvido como uma ferramenta de suporte para estudantes e profissionais que desejam simular e dimensionar equipamentos de filtração industrial com base em testes realizados em escala de bancada.

Utilizando-se de tecnologias de desenvolvimento híbrido e adequações de metodologia ágil, o software foi implementado em *Flutter*, utilizando recursos do *Firebase* como um *back-end as a service*.

Inicialmente desenvolvido para dispositivos *Android*, o ADSI-F poderá, futuramente, ser disponibilizado para *smartphones Apple*, além de sua vertente multiplataforma também possibilitar que a aplicação seja disponibilizada para *desktops* e plataforma *web*.

Quanto à aplicabilidade e usabilidade do sistema, deverão ser realizados novos estudos, tanto com alunos das disciplinas de “Operações Unitárias”, quanto profissionais da área, para obtenção de *feedback* realístico das partes. Pelo tempo do programa de mestrado, tal pesquisa não foi realizada.

De forma a deixar o *software* mais comercial, um cadastro de possíveis catálogos poderá ser desenvolvido, objetivando um dimensionamento de equipamentos com possibilidade de orçamento de materiais a serem utilizados para filtros em escala industrial.

O ADSI foi implementado como uma suíte de aplicações, em que o primeiro módulo desenvolvido foi o módulo de Filtração Industrial, contudo, outros módulos poderão ser desenvolvidos para compor um Aplicativo de Dimensionamento e Simulação Industrial mais geral.



## REFERÊNCIAS

ADOBE. **A ferramenta eficiente e gratuita de wireframes para design de UI e UX.**

Disponível em: <<https://www.adobe.com/br/products/xd/wireframing-tool.html/>>. Acesso em: 08 abr. 2021

AGENCIABRASIL. **Celular é o principal meio de acesso à internet no país.** Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2020-04/celular-e-o-principal-meio-de-acesso-internet-no-pais/>>. Acesso em: 18 ago. 2020

AGILE MANIFESTO. **Manifesto for Agile Software Development.** Disponível em: <<https://agilemanifesto.org/>>. Acesso em: 18 ago 2020

AGUILLARD, Hauwa. **Information Architecture Principles.** Disponível em: <<https://revelry.co/resources/design/information-architecture-principles/>>. Acesso em: 22 abr 2021

AELA.IO. **Jornada do Usuário: Entendendo e Melhorando as Interações.** Disponível em: <<https://medium.com/aela/jornada-do-usu%C3%A1rio-o-que-%C3%A9-e-sua-import%C3%A2ncia-em-ux-design-f8ac0cb025ca/>>. Acesso em: 08 abr 2021

AELA.IO. **UX Design: O Que é e Como Atuar na Área?** Disponível em: <<https://medium.com/aela/o-que-%C3%A9-ux-design-2f8161cd1a7b/>>. Acesso em: 08 abr 2021

ALLABARTON, Rosie. **The UX design process: An actionable guide to your first job in UX.** Disponível em: <<https://careerfoundry.com/en/blog/ux-design/the-ux-design-process-an-actionable-guide-to-your-first-job-in-ux/>>. Acesso em: 22 abr 2021

ALFANO, Bruno. **Ensino remoto no país melhora em 2021, mas ainda está longe do ideal, mostra estudo.** Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/brasil/educacao/ensino-remoto-no-pais-melhora-em-2021-mas-ainda-esta-longo-do-ideal-mostra-estudo-1-25127808/>>. Acesso em: 01 jan 2022

ANDROID. **How Google Play works.** Disponível em: <<https://www.android.com/play/how-google-play-works/>>. Acesso em: 27 ago. 2020

CODIGO FONTE TV. **UX (User eXperience) // Dicionário do Programador.** Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=U1kKWqIxfnk/>>. Acesso em: 08 abr. 2021

CONSUMIDOR MODERNO. **Número de celulares conectados é maior que a população mundial.** Disponível em: <<https://www.consumidormoderno.com.br/2019/06/14/celulares-populacao-mundial/#:~:text=Por%20aqui%2C%20o%20sistema%20operacional,sistemas%20operacionais%20ficam%20com%202%25/>>. Acesso em: 26 ago. 2020.

CHRISTO, Maria Marilei Soistak; DE RESENDE, Luis Maurício Martins; KUHN, Talícia do Carmo Galan. **Por que os alunos de engenharia desistem de seus cursos—um estudo de caso.** Nuances: estudos sobre Educação, v. 29, n. 1, 2018.

CREMASCO, M. A. (2014), **Operações Unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2014. 423 p.

CRUZ, João RU; RAMOS, Rodrigo; RODRIGUES, Wellington B. **Guideline para desenvolvimento de aplicativos educacionais mobile**. In: Workshop de Computação da Faccamp. Campinas/São Paulo. 2015.

DA SILVA, Edson Coutinho; LOVATO, Leandro Alvarez. **Framework Scrum: Eficiência em Projetos de Software**. *Revista de Gestão e Projetos - GeP*, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 01-15, sep. 2016. ISSN 2236-0972. Disponível em: <<http://www.revistagep.org/ojs/index.php/gep/article/view/330>>. Acesso em: 17 aug. 2020.

DA SILVA, Marcelo Moro; SANTOS, Marilde Terezinha Prado. **Os paradigmas de desenvolvimento de aplicativos para aparelhos celulares**. *Revista TIS*, v. 3, n. 2, 2014.

DOS SANTOS, Edson de Oliveira et al. **O uso da tecnologia em sala de aula para fins pedagógicos**. *Monumenta-Revista Científica Multidisciplinar UNIBF*, v. 1, n. 1, p. 106-118, 2020.

DUARTE, L. **Scrum e Métodos Ágeis: Um Guia Prático**. LuizTools, 2016.

EISHIMA, Rubens. **Volume de downloads do Google Play é três vezes maior que o da App Store**. Disponível em: < <https://canaltech.com.br/apps/volume-de-downloads-do-google-play-e-tres-vezes-maior-que-o-da-app-store-173056/>>. Acesso em: 11 maio. 2021.

ENGHOLM JR, Hélio. **Engenharia de software na prática**. Novatec Editora, 2010.

FIREBASE. **Cloud Firestore**. Disponível em: <<https://firebase.google.com/docs/firestore/>>. Acesso em: 10 jan. 2022

FORTUNATO, David; BERNARDINO, Jorge. **Progressive web apps: An alternative to the native mobile Apps**. In: 2018 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI). IEEE, 2018. p. 1-6.

FRANSSON, Rebecca; DRIAGUINE, Alexandre. **Comparing progressive web applications with native android applications: an evaluation of performance when it comes to response time**. 2017.

FREITAS, P. V. da S. ; SANTOS, K. G. dos. **Bibliometric analysis on use of apps and technologies in teaching separation processes at Chemical Engineering**. *Research, Society and Development, [S. l.]*, v. 10, n. 11, p. e39101119155, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i11.19155. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/19155>.

GODOY, Elenilton; ALMEIDA, Eustáquio. **A evasão nos cursos de Engenharia e a sua relação com a Matemática: uma análise a partir do COBENGE**. *Educação Matemática Debate*, v. 1, n. 3, p. 339-361, 2017.

GOMEZ, M. F., REMOR, C. R., DE MARCO, M. T. & FARINON BETZEK, S. B. (2015). **Evasão na engenharia: O caso dos cursos da UTFPR Câmpus Medianeira tendo como acesso o SISU**. *Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia*, 6(13).

GOOGLE PLAY. **Contrato de distribuição do desenvolvedor do Google Play.** Disponível em: <<https://play.google.com/about/developer-distribution-agreement.html>>. Acesso em: 27 ago. 2020

IGLESIAS-PRADAS, Santiago et al. Emergency remote teaching and students' academic performance in higher education during the COVID-19 pandemic: A case study. *Computers in Human Behavior*, v. 119, p. 106713, 2021.

INFOMONEY. **Apple é a primeira empresa americana a ultrapassar US\$ 2 trilhões em valor de mercado.** Disponível em: <<https://www.infomoney.com.br/negocios/apple-e-a-primeira-empresa-americana-a-ultrapassar-us-2-trilhoes-em-valor-de-mercado/#:~:text=De%20acordo%20com%20esses%20par%C3%A2metros,empresa%20ta mb%C3%A9m%20liderou%20a%20lista>> Acesso em: 26 ago. 2020

IONIC. **Ionic Framework.** Disponível em: <<https://ionicframework.com/>>. Acesso em: 27 ago. 2020

IOS. **Submit Your Apps to the App Store.** Disponível em: <<https://developer.apple.com/ios/submit/>>. Acesso em: 27 ago. 2020

VALENTE, Jonas. **Pesquisa aponta falta de equipamento como dificuldade no Ensino remoto.** Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/educacao/noticia/2021-08/pesquisa-aponta-falta-de-equipamento-como-dificuldade-no-ensino-remoto>>. Acesso em: 01 jan. 2022

KNAPP, Jake; ZERATSKY, John; KOWITZ, Braden. **Sprint: O método usado no Google para testar e aplicar novas ideias em apenas cinco dias.** Editora Intrínseca, 2017.

KING, Rochelle. **The complex relationship between data and design in UX.** Disponível em: <[https://www.ted.com/talks/rochelle\\_king\\_the\\_complex\\_relationship\\_between\\_data\\_and\\_design\\_in\\_ux](https://www.ted.com/talks/rochelle_king_the_complex_relationship_between_data_and_design_in_ux)>. Acesso em: 08 abr. 2021

F. DE LIMA, Fernando. **Avaliação de frameworks para o desenvolvimento de aplicações híbridas.** 2019.

MAHMOOD, S. **Instructional Strategies for Online Teaching in COVID-19 Pandemic.** *Hum Behav & Emerg Tech.* 2021; 3: 199–203. <https://doi-org.ez33.periodicos.capes.gov.br/10.1002/hbe2.218>

MASSARANI, G. **Fluidodinâmica em sistemas particulados.** 2. ed. Rio de Janeiro: E-Papers Serviços Editoriais, 2002.

MCCABE, W.L.; SMITH, J.C.; HARRIOTT, P. **Unit Operations of Chemical Engineering.** 5.ed.

M. DE LIMA, Giselle. **Desenvolvimento de um aplicativo híbrido para projetar equipamentos de separação sólido-fluido no campo gravitacional e no campo**

**centrifugo**. 2019. 171f. Dissertação (Mestrado em Inovação Tecnológica) - Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2019.

MORAN, José Manuel. **A educação que desejamos: novos desafios e como chegar lá**. Papirus Editora, 2007.

MOBILE. **Por que optamos por usar Flutter em nosso novo produto no iFood**. Disponível em: <<https://mobile.blog/por-que-optamos-por-usar-flutter-em-nosso-novo-produto-no-ifood/>>. Acesso em: 3 set 2020

NORMAN, Don. **The design of everyday things: Revised and expanded edition**. Basic books, 2013.

NUBANK. **Why we think Flutter will help us scale mobile development at Nubank**. Disponível em: <<https://building.nubank.com.br/why-we-think-flutter-will-help-us-scale-mobile-development-at-nubank/>> Acesso em: 3 set 2020

OBINNA, Onuoha. **How does JIT and AOT work in Dart?** Disponível em: <<https://medium.com/@onuohasilver9/how-does-jit-and-aot-work-in-dart-cab2f31d9cb5>>. Acesso em: 26 fev. 2021

MEYER, Maximiliano. **A história do Android**. Disponível em: <<https://www.oficinadanetcom.br/post/13939-a-historia-do-android/>>. Acesso em: 26 ago. 2020.

MEYER, Maximiliano. **A história do iOS**. Disponível em: <<https://www.oficinadanetcom.br/post/17950-a-historia-do-ios>>. Acesso em: 26 ago. 2020.

OPEN HANDSET ALLIANCE. **What would it take to build a better mobile phone?** Disponível em: <<https://www.openhandsetalliance.com/index.html>>. Acesso em: 05 abr. 2021.

PAGANI, R. N., Kovaleski, J. L., & RESENDE, L. M. (2015). **Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication**. *Scientometrics*, 105(3), 2109-2135.

PEÇANHA, R. P. **Sistemas particulados: operações unitárias envolvendo partículas e fluidos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 424 p.

POMBEIRO, Orlei José; MORÃES, Martin José Fagonde; BERTOLAZO, Mateus. **A influência no rendimento acadêmico dos alunos pelo uso do celular no horário de aula**. *Anais do EVINCI-UniBrasil*, v. 3, n. 2, p. 1091-1106, 2017.

PROPEQ. **CONTÍNUO OU BATELADA: QUAL PROCESSO ESCOLHER?** Disponível em: <https://propeq.com/post/continuo-ou-batelada/>. Acesso em: 2 set 2020

PRESSMAN, Roger S. **Engenharia de Software: Uma abordagem profissional**. 7ªed. Amgh Editora, 2011.

PREZOTTO, Ezequiel Douglas; BONIATI, Bruno Batista. **Estudo de frameworks multiplataforma para desenvolvimento de aplicações mobile híbridas**. Universidade Federal de Santa Maria, Trabalho de Conclusão de Curso, p. 30, 2014.

RAKESH, P. K.; KANNAN, M. **Online mobile application development using ionic framework for educational institutions**. Int. J. Adv. Res. Methodol. Eng. Technol, v. 1, 2017.

REACT NATIVE. **React Native Learn once, write anywhere**. Disponível em: <<https://reactnative.dev/>>. Acesso em: 20 ago. 2020

REIS, Antônio Carlos Serafim dos. **Um estudo comparativo entre modelos de desenvolvimento de aplicações móveis**. 2019. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Software)-Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Quixadá, 2019

SCHÖN, E.-M., THOMASCHEWSKI, J., & ESCALONA, M. J. **Agile Requirements Engineering: A systematic literature review**. Computer Standards & Interfaces, 2017, pp. 79–91. doi: 10.1016/j.csi.2016.08.011

SILVA, Eduardo. **Firestore: o que é e quando usar no desenvolvimento mobile**. Disponível em: <[https://blog.geekhunter.com.br/firebase-o-que-e-e-quando-usar-no-desenvolvimento-mobile/#O\\_que\\_e\\_Firebase/](https://blog.geekhunter.com.br/firebase-o-que-e-e-quando-usar-no-desenvolvimento-mobile/#O_que_e_Firebase/)>. Acesso em: 10 jan. 2022

SOMMERVILLE, Ian. **Software Engineering**. 9. ed. Addison-Wesley Publishing Company, USA, 2011.

SONEGO, Anna Helena Silveira; BEHAR, Patricia Alejandra. **M-Learning: Reflexões e Perspectivas com o uso de aplicativos educacionais**. In: Nuevas ideas em Informática Educativa: memorias XVII Congreso Internacional de Informática Educativa, TISE. Santiago: Universidad do Chile. 2015. p. 521-526.

SOUSA, Diego. **App Store e Play Store batem recorde e já somam US\$ 23 bilhões em 2020**. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/apps/app-store-e-play-store-batem-recorde-e-ja-somam-us-23-bilhoes-em-2020-162878/>>. Acesso em: 26 ago. 2020

S. SHARMA AND N. HASTEER. **A comprehensive study on state of Scrum development**. 2016 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA), Noida, 2016, pp. 867-872, doi: 10.1109/CCAA.2016.7813837.

STATISTA. **Number of available applications in the Google Play Store from December 2009 to June 2020**. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/266210/number-of-available-applications-in-the-google-play-store/>>. Acesso em: 26 ago. 2020

STATISTA. **Number of available apps in the Apple App Store from 1st quarter 2015 to 1st quarter 2020**. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/779768/number-of-available-apps-in-the-apple-app-store-quarter/>>. Acesso em: 26 ago. 2020

STATISTA. **Mobile operating systems' market share worldwide from January 2012 to July 2020**. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/272698/global-market-share-held-by-mobile-operating-systems-since-2009/>>. Acesso em: 26 ago. 2020

SUTHERLAND, Jeff; SCHWABER, Ken. **The scrum guide. The definitive guide to scrum: The rules of the game**. Scrum. org, v. 268, 2013.

VUE. **O Framework JavaScript Progressivo**. Disponível em: <<https://br.vuejs.org/>>. Acesso em: 27 ago. 2020

KASSIA SANTOS UFTM VIRTUAL. **Aula 22 – Exercícios de dimensionamento de filtros de tambor rotativo à vácuo**. Disponível em:

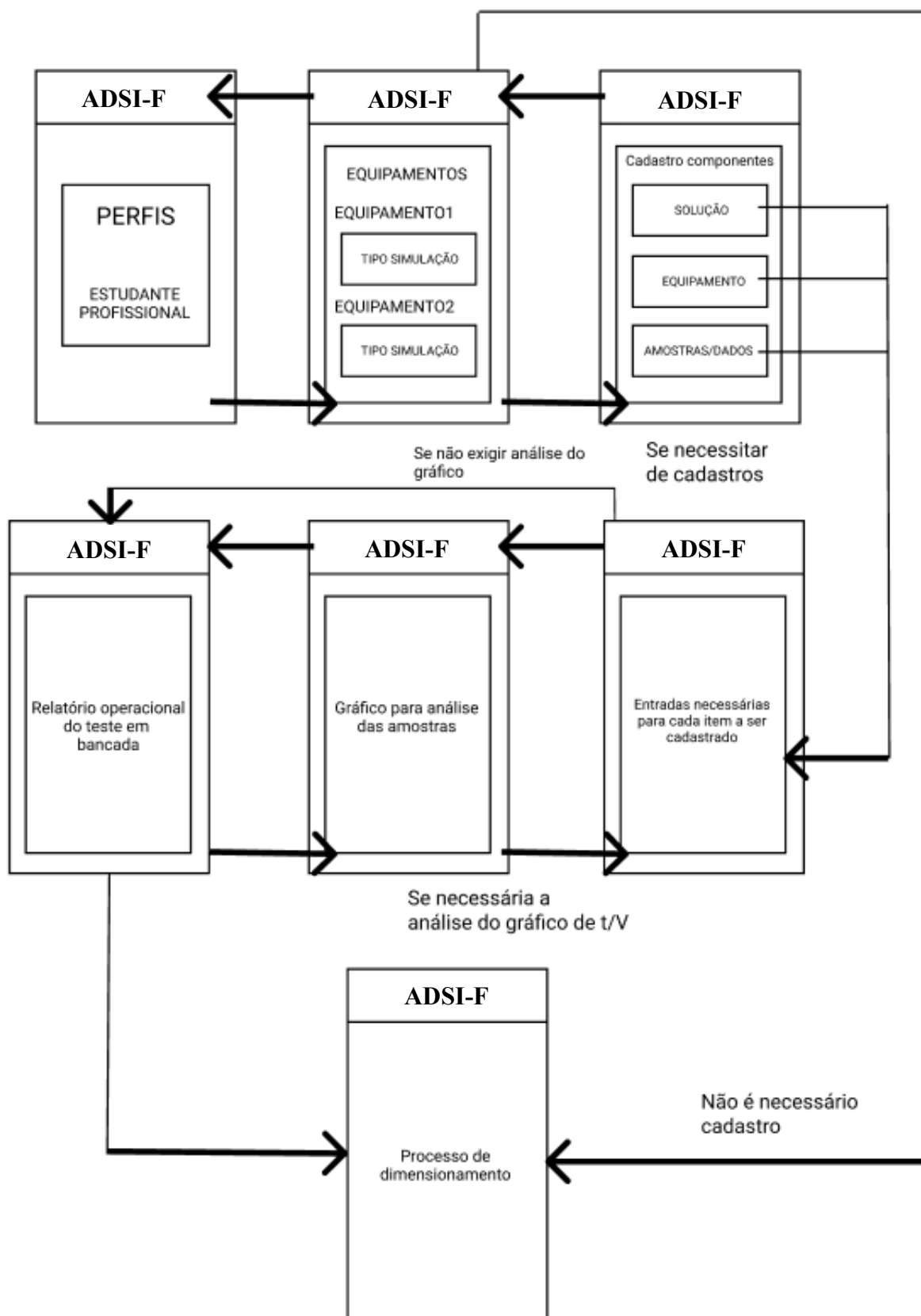
<<https://www.youtube.com/watch?v=WpJjaqYg3ko>>. Acesso em: 08 abr. 2021

W3C. **Web Design and Applications**. Disponível em:

<<https://www.w3.org/standards/webdesign/>>. Acesso em: 27 ago. 2020

## APÊNDICE A

Figura 92: *Wireframe* – Uso do ADSI-F



## APÊNDICE B

Figura 93: Relatório de detalhamento de processamento – Filtro Prensa

### Resumo do processamento



De acordo com os parâmetros informados e execução do sistema pelo usuário, segue o detalhamento do processamento das etapas de dimensionamento do equipamento Filtro Prensa.

Inicialmente, os atributos indicados no sistema auxiliam na execução parametrizada do teste de bancada em laboratório, para posteriormente auxiliar o projeto em escala industrial.

#### Composição da solução a ser filtrada

A solução a ser testada no filtro de bancada possui as seguintes características:

Solução: Água + Carbonato			
Informações do componente líquido			
Viscosidade	Volume	Densidade	Temperatura
0,01 P	1000,00 cm <sup>3</sup>	1,00 g/cm <sup>3</sup>	20,00 °C
Informações das partículas sólidas da solução			
Concentração inicial	Densidade	Concentração de sólido no líquido	
50,00 g	2,70 g/cm <sup>3</sup>	0,05 g/cm <sup>3</sup>	

#### Informações técnicas: Teste de bancada (Laboratório)

Para realizar o teste de bancada e assim determinar o tempo e volume do quadro cheio, bem como o volume da torta nesse instante, o usuário do sistema informou os seguintes parâmetros:

Quantidade de quadros do equipamento para teste de bancada: 1			
Espessura do quadro [e]: 3,17 cm			
Área(meio filtrante [A'])	Área placa	Área total de filtração	Pressão da bomba
484,50 cm <sup>2</sup>	929,00 cm <sup>2</sup>	929,00 cm <sup>2</sup>	2757902,917 dyn/cm <sup>2</sup>

#### Amostras e resultados - Teste de bancada

Página 1 de 4

### Resumo do processamento

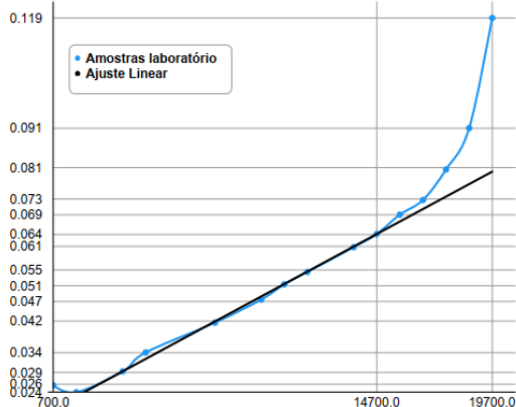
As seguintes amostras, retiradas pelo teste de filtração no equipamento de bancada do laboratório, foram cadastradas. A partir dessas amostras, o gráfico de tV auxiliou o usuário na definição dos atributos requeridos, conforme mostrado abaixo:

Amostras coletadas		
Tempo [s]	Volume [cm <sup>3</sup> ]	tV
18,0	700,0	0,025714285714285714
40,7	1700,0	0,023941178470588237
108,2	3700,0	0,029243243243243244
160,0	4700,0	0,03404255319148936
320,5	7700,0	0,041623378623378625
460,5	9700,0	0,04747422880412371
549,5	10700,0	0,051355140186915886
637,7	11700,0	0,05450427350427351
832,7	13700,0	0,06078102189781022
942,5	14700,0	0,0641159402585034
1084,0	15700,0	0,0690445898729115
1215,0	16700,0	0,07275449101796407
1425,0	17700,0	0,0805084745627118
1702,0	18700,0	0,09101604278074867
2344,0	19700,0	0,11898477157360406

Página 2 de 4

### Resumo do processamento

#### Gráfico tV das amostras do teste de bancada



Com base nas amostras do teste de bancada, verificou-se os seguintes resultados:

- Scale-up (Volume do filtrado / Volume da torta no instante do quadro cheio): 20,61
- Tempo do quadro cheio: 15,71 min
- Volume do quadro cheio: 14,70 dm<sup>3</sup> (L)
- Volume do filtrado com o quadro cheio: 0,71 dm<sup>3</sup> (L)
- Massa seca da torta: 735,00 g
- Razão de umidade da torta: 1,60

#### Projetando equipamento industrial

Abaixo, apresenta-se o escalonamento da quantidade necessária de placas e quadros para atingir as metas de produção, de acordo com os parâmetros informados.

Página 3 de 4

### Resumo do processamento

- Produção industrial requerida: 10000 L/h
- Tempo de desmontelamento: 20 min
- Área de filtração escolhida de acordo com o catálogo disponível: 213,33 L/h
- Dimensão nominal escolhida de acordo com o catálogo disponível: 24 min

Projeto: Placas e Quadros	
Metal:	31 quadros / 32 placas
Madeira:	45 quadros / 46 placas



Página 4 de 4



## APÊNDICE C

Figura 94: Relatório de detalhamento de processamento – Filtro Tambor Rotativo à vácuo

### Resumo do processamento

De acordo com os parâmetros informados e execução do sistema pelo usuário, segue o detalhamento do processamento das etapas de dimensionamento do equipamento Filtro de Tambor Rotativo à vácuo

Inicialmente, os atributos indicados no sistema auxiliam na execução parametrizada do teste de bancada em laboratório, para posteriormente auxiliar o projeto em escala industrial.

#### Composição da solução a ser filtrada

O usuário não informou os dados relativos à solução (fluido + particulado).

#### Informações técnicas: Teste de bancada (Laboratório)

Para realizar o teste de bancada e assim determinar o tempo e volume do quadro cheio, bem como o volume da torta nesse instante, o usuário do sistema informou os seguintes parâmetros:

Área de filtração	Pressão da bomba
132.500 cm <sup>2</sup>	799932.000 dyn/cm <sup>2</sup>

#### Amostras e resultados - Teste de bancada

A seguintes amostra, retirada pelo teste de filtração no equipamento de bancada do laboratório, foi cadastrada. A partir dessa amostra e dos tempos registrados no processamento até que fosse atingido uma torta de aproximadamente 6mm de espessura sob o meio filtrante, obtém-se a produção que poderá ser dimensionada.

Amostra coletada	
Tempo [min]	Volume [dm <sup>3</sup> ]
2,717	0,950

Tempo (ciclo)
7,550 min

### Resumo do processamento

Com base no teste de bancada, verificou-se os seguintes resultados:

- Rotação do tambor: 0,132 RPM
- Fração submersa: 0,360 (129,5")
- Produção de filtrado por unidade de área: 569,786 L/m<sup>2</sup>h
- Área filtrante da unidade industrial (com margem de 20%): 226,693 ft<sup>2</sup>

#### Projetando equipamento industrial

Abaixo, apresenta-se a escolha do dimensionamento que provê a eficiência necessária de acordo com os parâmetros informados pelo usuário.

Projeto: Filtro de Tambor Rotativo à vácuo	
Produção Requerida:	10000 L/h
Área recomendada:	226,693ft <sup>2</sup>
Área filtrante equipamento:	251ft <sup>2</sup>
Diâmetro (cilindro):	8'ft
Comprimento (cilindro):	10'ft
Potência do motor (acionamento):	1hp
Potência motor (agitador):	1 1/2hp
Dimensões:	15'1" x 12'2" x 11'1"



## APÊNDICE D

### Filtro Prensa:

#### Dimensionamento de equipamento

(Massarani, 2002) 2 e 4 - Foram obtidos os seguintes resultados na filtração de uma suspensão aquosa de carbonato de cálcio (50 g de sólido/L de água) em filtro-prensa piloto operando com apenas um quadro, dimensões nominais  $6 \times 6 \times 1\frac{1}{4}$ " in (valores efetivos  $15,1 \times 15 \times 3,2$  cm), a 25°C e queda de pressão 2,72 atm.

Determinar a resistividade e porosidade médias da torta,  $\langle \alpha \rangle$  e  $\langle \epsilon \rangle$ , e a resistência do meio filtrante  $R_m$  a partir dos dados reunidos na tabela que se segue.

A densidade do carbonato de cálcio é 2,7 g/cm<sup>3</sup> e a relação entre massa de torta e massa de torta seca é 1,60.

Figura 95: Amostras coletadas (Massarani)

Tempo de Filtração (s)	Volume de Filtrado (L)
18,0	0,700
40,7	1,70
108	3,70
160	4,70
321	7,70
467	9,70
550	10,7
638	11,7
833	13,7
943	14,7
1084	15,7
1215	16,7
1425	17,7
1702	18,7
2344	19,7

Especificar o filtro-prensa com quadros de metal para a filtração de 10 m<sup>3</sup>/h da suspensão do problema (2).

Condições operacionais: 25°C e 2,72 atm. Considerar os seguintes casos:

- a torta não requer lavagem.
- a lavagem deve ser efetuada com volume 2 vezes maior que o volume de torta.

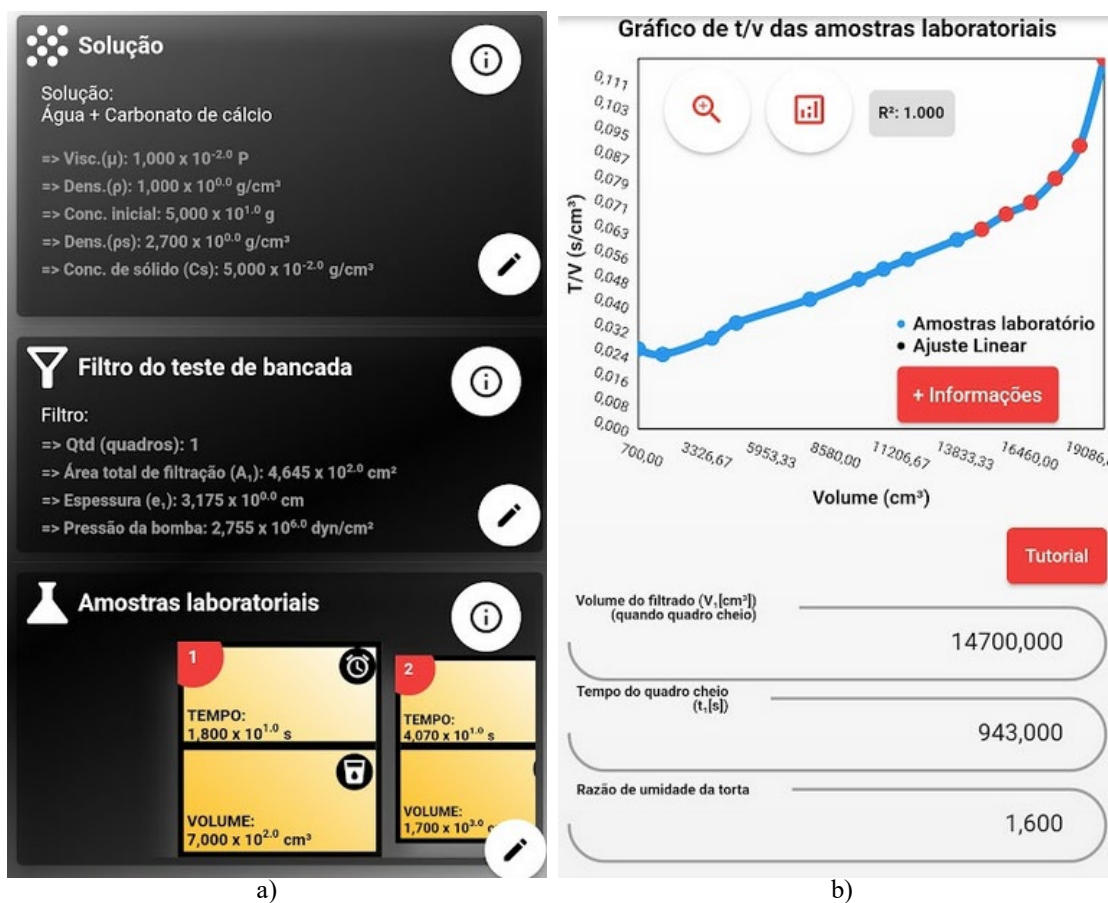
Considerar nas duas situações que o tempo de desmontelamento, limpeza e montagem do filtro seja de 20 min.

### Resolução:

Para iniciar o dimensionamento requisitado pelo exercício, primeiramente há a necessidade de se cadastrar os componentes de filtração no ADSI-F, como mostrado na Figura 96a.

Após o cadastro dos componentes, iniciou-se a análise do gráfico de tempo em função do volume (Figura 96b). Visualmente, a reta é formada nos pontos (160,4700) e (943, 14700), logo escolheu-se tais pontos para executar a regressão linear, obtendo-se assim os seguintes coeficientes e resistências e relatório de filtração em escala laboratorial (Figura 97).

Figura 96: Cadastro de componentes – Ex. 2 e 4 (Massarani, 2002):  
componentes cadastrados (a) e análise gráfico (b)



Fonte: Autor, 2022

Figura 97: Coeficientes e resistências calculadas após regressão (a)  
e relatório do teste em filtro de bancada (b)



a)

b)

Fonte: Autor, 2022

Com o teste em laboratório finalizado, a próxima etapa é a definição dos parâmetros industriais, como produção requerida e tempos de desmantelamento e lavagem da torta. Realizou-se primeiro a simulação sem lavagem de torta (Figura 98), e logo após com 20min de lavagem (Figura 99).

Figura 98: Resultado 1 – sem lavagem da torta

$e_2$ (inch)	$t_2$ (min)	$t_2 + t_d + t_{outros}$ (min)	$V_2$ (L)	$A_2$ (m <sup>2</sup> )
1,0	10,059	30,059	5009,784	19,788
1,25	15,717	35,717	5952,788	18,811
1,5	22,632	42,632	7105,348	18,711
1,75	30,805	50,805	8467,465	19,112
2,0	40,235	60,235	10039,138	19,827
3,0	90,528	110,528	18421,394	24,255

Escolha a área total de filtração para uma espessura de quadro que leve a um tempo de filtração ( $t_2$ ) de pelo menos 2x o tempo de parada ( $t_d+t_{outros} = 20,0$  min)

Informe a área escolhida (m<sup>2</sup>) de acordo com a tabela anterior:

24

Área total filtração (m <sup>2</sup> )	Dim. nominal (in)
0,46 - 3,25	12,0
2,79 - 9,29	18,0
6,97 - 23,23	24,0
13,94 - 41,81	30,0
23,23 - 65,03	36,0
46,45 - 102,19	43,25
> 92,90	48,0
> 92,90	56,0

Informe a dimensão nominal de acordo com a tabela anterior:

30

Dim. nominal (in)	A. filtrante Metal (m <sup>2</sup> )	A. filtrante Madeira (m <sup>2</sup> )
12,0	0,16	0,08
18,0	0,36	0,21
30,0	0,98	0,68
36,0	1,45	0,98
43,25	2,06	1,40
48,0	2,68	1,83
56,0		2,64

**Quantidade de quadros de 30 inch** Registrado

Madeira: 36 quadros / 37 placas  
Metal: 25 quadros / 26 placas

Fonte: Autor, 2022

Figura 99: Resultado 2 – com lavagem da torta

$e_2$ (inch)	$t_2$ (min)	$t_2 + t_d + t_{outros}$ (min)	$V_2$ (L)	$A_2$ (m <sup>2</sup> )
1,0	10,059	50,059	8343,118	32,955
1,25	15,717	55,717	9286,122	29,344
1,5	22,632	62,632	10438,682	27,488
1,75	30,805	70,805	11800,798	26,636
2,0	40,235	80,235	13372,471	26,410
3,0	90,528	130,528	21754,727	28,643

Escolha a área total de filtração para uma espessura de quadro que leve a um tempo de filtração ( $t_2$ ) de pelo menos 2x o tempo de parada ( $t_d+t_{outros} = 40,0$  min)

Informe a área escolhida (m<sup>2</sup>) de acordo com a tabela anterior:

28

Área total filtração (m <sup>2</sup> )	Dim. nominal (in)
0,46 - 3,25	12,0
2,79 - 9,29	18,0
6,97 - 23,23	24,0
13,94 - 41,81	30,0
23,23 - 65,03	36,0
46,45 - 102,19	43,25
> 92,90	48,0
> 92,90	56,0

Informe a dimensão nominal de acordo com a tabela anterior:

30

Dim. nominal (in)	A. filtrante Metal (m <sup>2</sup> )	A. filtrante Madeira (m <sup>2</sup> )
12,0	0,16	0,08
18,0	0,36	0,21
30,0	0,98	0,68
36,0	1,45	0,98
43,25	2,06	1,40
48,0	2,68	1,83
56,0		2,64

**Quantidade de quadros de 30 inch** Registrado

Madeira: 42 quadros / 43 placas  
Metal: 29 quadros / 30 placas

Fonte: Autor, 2022

### **Simulação de produção**

(Massarani, 2002) 8 - O ferro-velho de Maria da Graça dispõe de um filtro-prensa Shriver de metal, completo: placas e quadros de 30", 20 quadros de 2" de espessura (área filtrante por quadro, 10,5 ft<sup>2</sup>).

Determinar a capacidade do filtro operando com uma suspensão aquosa de carbonato de bário (70 g de sólido/L de água) a 30°C e com uma queda de pressão de 65 psi.

A lavagem da torta, realizada nas mesmas condições que na filtração, deve empregar um volume de água de lavagem 1,5 vez o volume de torta.

O filtro está aparelhado com placas de "3 botões". O tempo de desmontelamento, limpeza e montagem é estimado em 20 min. Testes de laboratório conduzidos a 30°C e 65 psi em um único quadro com 1 $\frac{1}{4}$ " de espessura e área filtrante de 456 cm<sup>2</sup> levaram aos seguintes resultados:

- Tempo de filtração e volume de filtrado na situação de quadro cheio, 18 min e 14L;
- Relação entre massa de torta e massa de torta seca, 1,5.

A densidade do carbonato de bário é 4,1 g/cm<sup>3</sup>.

### **Resolução:**

Para iniciar o dimensionamento requisitado pelo exercício, há a necessidade de se cadastrar os componentes de filtração no ADSI-F, conforme Figura 100a. Por já informar os dados do tempo e volume do quadro cheio, não há necessidade de se analisar o gráfico de tempo em função do volume.

A Figura 100b apresenta o relatório final de filtração do teste em escala de bancada.

Figura 100: Cadastro de componentes – Ex. 8 (Massarani, 2002):  
componentes cadastrados (a) e relatório operacional do teste de bancada (b)

### Solução

Solução:  
Água + Carbonato de bário

=> Visc. ( $\mu$ ):  $8,000 \times 10^{-2.0}$  P  
=> Dens. ( $\rho$ ):  $1,000 \times 10^{0.0}$  g/cm<sup>3</sup>  
=> Conc. Inicial:  $7,000 \times 10^{1.0}$  g  
=> Dens. (ps):  $4,100 \times 10^{0.0}$  g/cm<sup>3</sup>  
=> Conc. de sólido (Cs):  $7,000 \times 10^{-2.0}$  g/cm<sup>3</sup>

### Filtro do teste de bancada

Filtro:

=> Qtd (quadros): 1  
=> Área total de filtração (A<sub>t</sub>):  $4,560 \times 10^{2.0}$  cm<sup>2</sup>  
=> Espessura (e<sub>t</sub>):  $3,175 \times 10^{0.0}$  cm  
=> Pressão da bomba:  $4,482 \times 10^{6.0}$  dyn/cm<sup>2</sup>

### Amostras laboratoriais

=> Tempo do quadro cheio (t<sub>1</sub>):  $1,080 \times 10^{3.0}$  s  
=> Volume Filtrado - quadro cheio (V<sub>1</sub>):  $1,400 \times 10^{4.0}$  cm<sup>3</sup>  
=> Volume da torta (Vt):  $7,290 \times 10^{2.0}$  cm<sup>3</sup>  
=> Massa seca de torta (m):  $9,800 \times 10^{2.0}$  g  
=> Razão de umidade (torta molhada/torta seca):  $1,500 \times 10^{0.0}$

### Dados operacionais do teste de bancada

Massa seca da Torta (m)	<b><math>9,800 \times 10^{2.0}</math> g</b>
Volume da torta (Vt)	<b><math>7,290 \times 10^{2.0}</math> cm<sup>3</sup></b>
Volume filtrado (V <sub>1</sub> )	<b><math>1,400 \times 10^{4.0}</math> cm<sup>3</sup></b>
Tempo - quadro cheio (t <sub>1</sub> )	<b><math>1,080 \times 10^{3.0}</math> s</b>
Resistividade da Torta < $\alpha$ >	<b><math>0,000 \times 10^{0.0}</math> cm/g</b>
Resistência do Meio-Filtrante <Rm>	<b><math>0,000 \times 10^{0.0}</math> cm<sup>-1</sup></b>
Área total de filtração (A <sub>t</sub> )	<b><math>4,560 \times 10^{2.0}</math> cm<sup>2</sup></b>
Espessura do meio filtrante (e <sub>t</sub> )	<b><math>3,175 \times 10^{0.0}</math> cm</b>
Pressão bomba [ $\Delta P$ ]	<b><math>4,482 \times 10^{6.0}</math> dyn/cm<sup>2</sup></b>
Porosidade ( $\epsilon$ )	<b><math>6,721 \times 10^{-1.0}</math></b>

← Scale-up: V<sub>1</sub>/Vt **19,20** →

O exercício solicitou calcular a produção para um Filtro Prensa existente de 20 quadros com 10,5 ft<sup>2</sup> de área e 2 in de espessura cada. Logo, os dados foram informados no formulário da Figura 101, e o resultado da simulação de produção com tempo de lavagem de 28,8 min é demonstrado pelo relatório da Figura 102.

Figura 101: Formulário do filtro industrial e relatório final de produção sem tempo de lavagem

Quantidade de quadros	Área de um quadro (ft <sup>2</sup> )	Espessura quadro (inch)
20	10.5	2
Área total de filtração (ft <sup>2</sup> )	Pressão de alimentação	
195096.384	4481594.000 dyn/cm <sup>2</sup>	
Tempo de dismantelamento (min)	Tempo de lavagem (min)	
20	0	

Voltar
Calcular

**Dados da filtração em escala industrial**

Área de filtração (A<sub>2</sub>)                    1,951 x 10<sup>5.0</sup> cm<sup>2</sup>

Tempo de filtração industrial (t<sub>2</sub>)                    46,080 min

Volume de filtração (V<sub>2</sub>)                    9,584 x 10<sup>3.0</sup> dm<sup>3</sup>

Produção de filtrado s/ lavagem de torta                    8,702 x 10<sup>3.0</sup> dm<sup>3</sup>/h

Produção de filtrado c/ lavagem de torta                    8,702 x 10<sup>3.0</sup> dm<sup>3</sup>/h

Volume de torta úmida                    4,991 x 10<sup>5.0</sup> cm<sup>3</sup>

Volume de sólidos                    1,636 x 10<sup>5.0</sup> cm<sup>3</sup>

Massa seca de sólidos em um ciclo de filtração                    6,709 x 10<sup>2.0</sup> kg

Tempo do ciclo (s/lavagem)                    1,101 h

Tempo do ciclo (c/lavagem)                    1,101 h

Produção de torta seca (s/lavagem)                    6,091 x 10<sup>2.0</sup> kg/h

Produção de torta seca (c/lavagem)                    6,091 x 10<sup>2.0</sup> kg/h

Figura 102: Formulário do filtro industrial e relatório final de produção com tempo de lavagem de 28,8 min

Quantidade de quadros	Área de um quadro (ft <sup>2</sup> )	Espessura quadro (inch)
20	10.5	2
Área total de filtração (ft <sup>2</sup> )	Pressão de alimentação	
195096.384	4481594.000 dyn/cm <sup>2</sup>	
Tempo de dismantelamento (min)	Tempo de lavagem (min)	
20	28.8	

Voltar
Calcular

**Dados da filtração em escala industrial**

Área de filtração (A<sub>2</sub>)                    1,951 x 10<sup>5.0</sup> cm<sup>2</sup>

Tempo de filtração industrial (t<sub>2</sub>)                    46,080 min

Volume de filtração (V<sub>2</sub>)                    9,584 x 10<sup>3.0</sup> dm<sup>3</sup>

Produção de filtrado s/ lavagem de torta                    8,702 x 10<sup>3.0</sup> dm<sup>3</sup>/h

Produção de filtrado c/ lavagem de torta                    6,061 x 10<sup>3.0</sup> dm<sup>3</sup>/h

Volume de torta úmida                    4,991 x 10<sup>5.0</sup> cm<sup>3</sup>

Volume de sólidos                    1,636 x 10<sup>5.0</sup> cm<sup>3</sup>

Massa seca de sólidos em um ciclo de filtração                    6,709 x 10<sup>2.0</sup> kg

Tempo do ciclo (s/lavagem)                    1,101 h

Tempo do ciclo (c/lavagem)                    1,581 h

Produção de torta seca (s/lavagem)                    6,091 x 10<sup>2.0</sup> kg/h

Produção de torta seca (c/lavagem)                    4,242 x 10<sup>2.0</sup> kg/h



## Filtro de Tambor Rotativo

### Dimensionamento de equipamento

(KASSIA SANTOS UFTM VIRTUAL, 2022) Ex. 15 - Projetar o filtro-rotativo a partir dos dados obtidos em filtro-folha de laboratório:

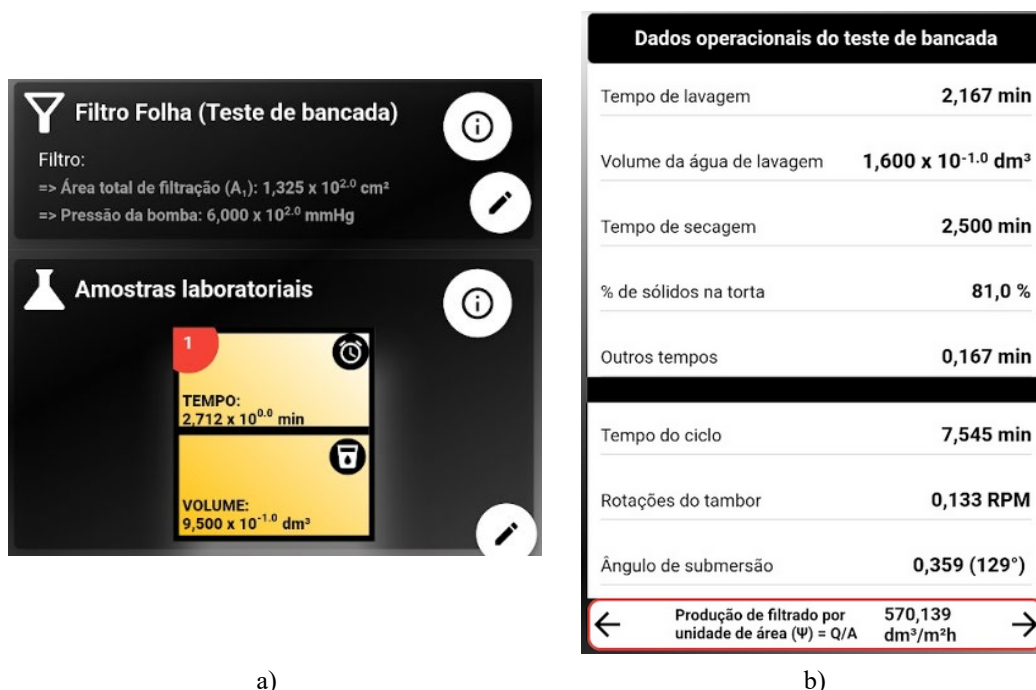
- Suspensão aquosa de  $\text{CaCo}_3$  (5% em peso).
- $\Delta P = 600\text{mmHg}$  e  $T = 28^\circ\text{C}$
- $A_1 = 132,50\text{cm}^2$ ,  $t_1 = 163\text{s}$ ,  $V_1 = 950\text{ cm}^3$
- Tempo de lavagem = 130s, volume de água de lavagem =  $160\text{cm}^3$
- Outros tempos = 10s

Capacidade requerida – 1000 L/h filtrado

### Resolução:

Inicialmente, foram informados os dados do equipamento de bancada e os dados dos tempos de lavagem, secagem e outros, bem como o volume da água de lavagem para o tempo de filtração de 163 s e volume de filtrado  $950\text{ cm}^3$ . Os dados cadastrados e relatório de dados operacionais do teste de bancada são mostrados na Figura 103.

Figura 103: Dados cadastrados (a) e relatório de processamento do teste de bancada (b)



a)

b)

Fonte: Autor, 2022

Ao entrar na etapa de dimensionamento, o sistema se comporta de forma semelhante ao dimensionamento do Filtro Prensa. O usuário deverá inicialmente informar a produção requerida (10000 l/h) e clicar em CALCULAR.

Logo após, deverá definir uma margem de segurança da área industrial recomendada (Figura 104a). Uma tabela com o equipamento que poderá ser utilizado para atingir a definida produção industrial aparecerá em destaque (Figura 104b).

Assim que o usuário definir qual equipamento que se adequa melhor às suas necessidades, deverá digitar a área filtrante (m<sup>2</sup>) no respectivo campo, para finalizar o dimensionamento do equipamento.

Figura 104: Produção industrial e margem de segurança para a área de filtração industrial

(a) opções de equipamentos possíveis em catálogo no ADSI-F (b)

**Dados da produção requerida**

Produção requerida (P [L/h])

**Calcular**

**Área industrial recomendada:** 21,048 m<sup>2</sup>  
226,553 ft<sup>2</sup>

**Margem segurança (%)** 19 **20** 21

- +

a)

Catálogo	Dim. tambor	Comp. tambor	Área filtrante (m <sup>2</sup> )	Pot. requerida (HP)	
				Tambor	Agitador
FEINC	6'6"	8'	15,143	3/4	3/4
FEINC	8'	8'	18,674	1	1
FEINC	8'	10'	23,319	1	1 1/2
FEINC	8'	12'	28,057	1	1 1/2
FEINC	10'6"	10'	30,658	1	2
FEINC	10'6"	12'	36,790	1 1/2	2
FEINC	10'6"	14'	42,921	1 1/2	3
FEINC	10'6"	16'	49,053	2	3
Extra1	10'6"	16'	23,226	2	1/4
Extra2	13'6"	16'	60,573	3	5

Informe a área filtrante do equipamento (m<sup>2</sup>):

**Catálogo: FEINC** **Registrado**

Área filtrante: 23.319 m<sup>2</sup>  
 Diâmetro do cilindro: 8'  
 Comprimento do cilindro: 10'  
 Potência do motor de acionamento: 1 HP  
 Potência do motor do agitador: 1 1/2 HP  
 Dimensões: 15'1" x 12'2" x 11'1"

b)

Fonte: Autor, 2022

**Simulação de produção**

(Massarani, 2002) 9- Deseja-se filtrar uma suspensão em filtro de tambor rotativo a vácuo de 2 m de diâmetro e 2 m de comprimento.

A suspensão apresenta 18% em massa de sólido e as propriedades físicas do sistema são: densidade do fluido 1 g/cm<sup>3</sup>, viscosidade do fluido 0,8 cP e densidade do sólido 2,3 g/cm<sup>3</sup>.

O filtro industrial deve operar com uma queda de pressão de 25 in Hg, com um ângulo de submersão de 145°. A espessura final da torta deve ser de 5 mm. Pede-se:

- O número de rotações por minuto do cilindro;
- A produção de filtrado.

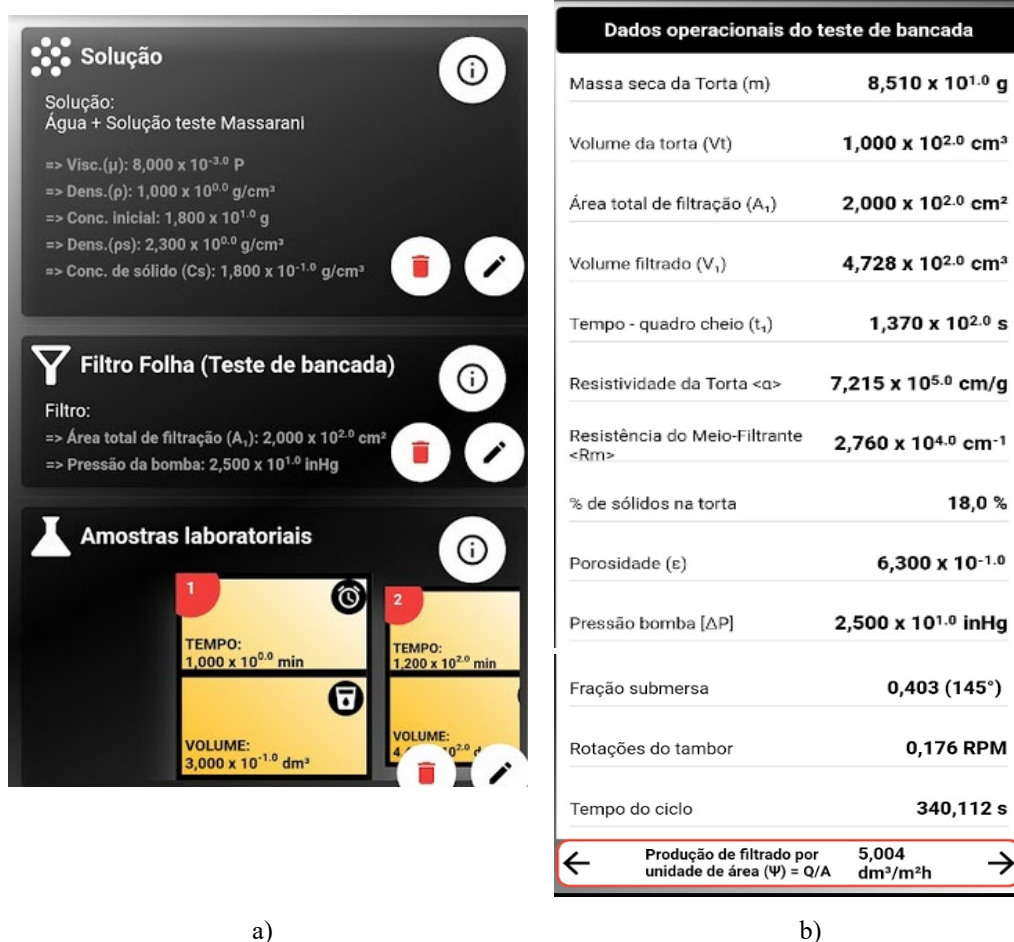
Ensaio de laboratório conduzidos com esta mesma suspensão em filtro-folha de 200 cm<sup>2</sup> de área filtrante, queda de pressão de 25 in Hg, levaram a tortas com 63% de porosidade e à seguinte relação entre tempo de filtração e volume de filtrado:

- Tempo de filtração (min): 1; 2
- Volume de filtrado (cm<sup>3</sup>): 300; 440.

**Resolução:**

Para este exercício, a solução não é dispensável, logo deverão ser cadastrados todos os componentes da tela inicial do ADSI-F, como demonstrado pela Figura 105a. Após o cadastro, o relatório dos dados operacionais do teste de bancado é visualizado pelo usuário (Figura 105b).

Figura 105: Cadastro dos componentes (a) e relatório de filtração em teste de bancada (b)



a)

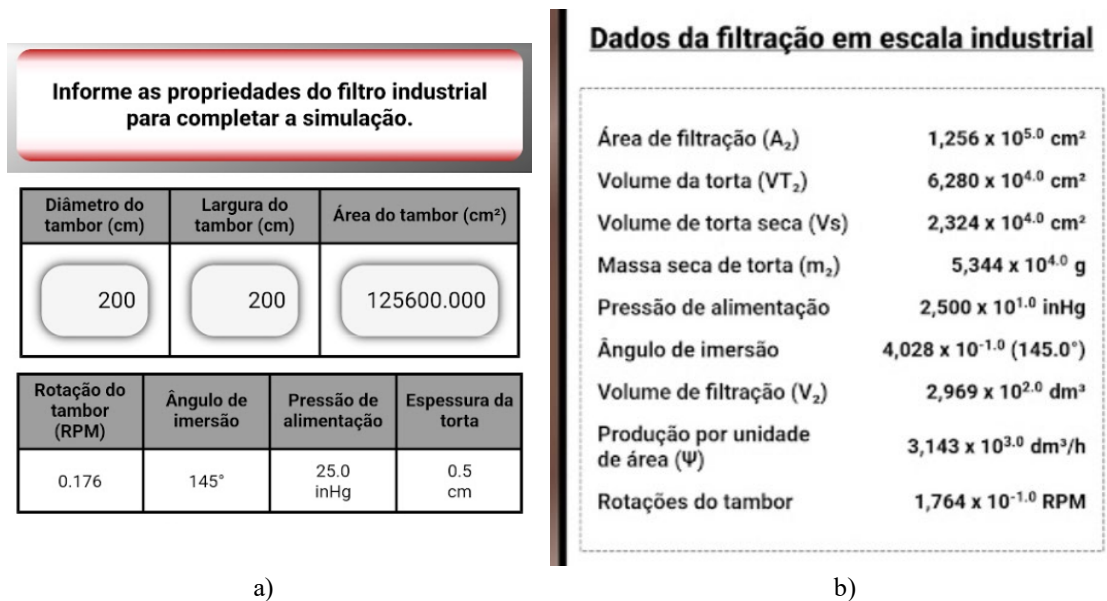
b)

Fonte: Autor, 2022

Para finalizar a simulação, o usuário deverá informar os dados do tambor em escala industrial que possui. Deverão ser informados os dados de diâmetro e largura do tambor, ou a área total de filtração ( $A_1$ ) (Figura 106a).

Assim que finalizar o preenchimento do formulário e clicar em CALCULAR, o resumo da simulação aparecerá (Figura 106b), mostrando os dados de produtividade solicitados pela simulação.

Figura 106: Formulário – tambor industrial (a) e resultado da simulação de produção (b)



Fonte: Autor, 2022

### Simulação por histórico de filtro

(KASSIA SANTOS UFTM VIRTUAL, 2022) **Ex. 16** - Os seguintes dados foram obtidos em duas experiências conduzidas no mesmo filtro rotativo, com uma mesma suspensão a uma mesma temperatura e pressão.

Determinar a produção de filtrado para um ângulo  $I = 120^\circ$  e 0,6 RPM.

Figura 107: Condições históricas de filtração

	1º Conj. de Dados	2º Conj. de Dados
Produção de filtrado (gal/min)	450	550
RPM	0.25	0.50
Ângulo de imersão, $\theta$	90°	90°

### Resolução:

Na simulação por dados históricos, considera-se um mesmo filtro, operando com a mesma solução, porém em rotações de tambor e frações de submersão diferentes. O usuário deverá informar os dados históricos no formulário superior dos conjuntos de dados, e os dados que possui do terceiro conjunto no formulário inferior (Figura 108a).

Os dados sempre deverão ser informados em pares para que a terceira variável desconhecida seja calculada. Após informar os dados, o usuário deverá clicar em CALCULAR, para que o relatório da simulação seja apresentado (Figura 108b).

Figura 108: Formulário de simulação por histórico de filtros preenchido (a) e resultado da simulação (b)

	1° Conj. dados	2° Conj. dados
Produção de filtrado (gal/min)	450	550
RPM	0.25	0.5
Ângulo de imersão ( $\theta$ )	90	90
<b>Informe dois (2) parâmetros do conjunto de dados abaixo</b>		
Produção de filtrado (gal/min)	RPM	Ângulo de imersão ( $\theta$ )
	0.6	120

<b>Resultado da simulação</b>	
<b>Dados do primeiro conjunto</b>	
Produção de filtrado	450 gal/min
Rotação do tambor	0,25 RPM
Ângulo de imersão ( $\theta$ )	90°
<b>Dados do segundo conjunto</b>	
Produção de filtrado	550 gal/min
Rotação do tambor	0,5 RPM
Ângulo de imersão ( $\theta$ )	90°
<b>Dados operacionais novos</b>	
Produção de filtrado	713,241 gal/min
Rotação do tambor	0,600 RPM
Ângulo de imersão ( $\theta$ )	120°

Fonte: Autor, 2022