



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

GUSTAVO YUJI ITO

**DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE
CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS CONFORME NBR 17054/2022, NBR
16916/2021 E NBR 16972/2021**

**PALMAS
2023**

GUSTAVO YUJI ITO

**DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE
CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS CONFORME NBR 17054/2022, NBR
16916/2021 E NBR 16972/2021**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel no Curso Superior de Engenheiro Civil
do Instituto Federal do Tocantins, Campus
Palmas.

Orientador: Dr. Antonio Rafael de Souza Alves
Bôso

**PALMAS
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

I88d Ito, Gustavo Yuji
DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA REALIZAÇÃO DE
ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS CONFORME
NBR 17054/2022, NBR 16916/2021 E NBR 16972/2021 / Gustavo Yuji Ito.
– Palmas, TO, 2023.
66 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2023.

Orientador: Dr. Antonio Rafael de Souza Alves Bôso

1. Agregado. 2. Ensaio. 3. Aplicativo. I. de Souza Alves Bôso, Antonio
Rafael. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e
pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

GUSTAVO YUJI ITO

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS CONFORME NBR 17054/2022, NBR 16916/2021 E NBR 16972/2021

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial à Coordenação do curso de
Engenharia Civil Instituto Federal do Tocantins -
Campus Palmas, como exigência à obtenção do
grau em Engenheiro Civil.

Aprovado em: 30/05/2023

BANCA AVALIADORA

Documento assinado digitalmente
 ANTONIO RAFAEL DE SOUZA ALVES BOSSO
Data: 07/06/2023 20:02:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Antonio Rafael de Souza Alves Bôso
Orientador

Documento assinado digitalmente
 ADRIANO DOS GUIMARAES DE CARVALHO
Data: 07/06/2023 12:22:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Adriano dos Guimarães de Carvalho

Documento assinado digitalmente
 MARCO ANTONIO FIRMINO DE SOUSA
Data: 07/06/2023 11:02:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Marco Antônio Firmino de Sousa

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Rafael de Souza Alves Bôso, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos membros da banca, professores Dr. Adriano dos Guimarães de Carvalho e Me. Marco Antônio Firmino de Sousa, que contribuíram para o melhor desenvolvimento deste trabalho.

Especialmente grato à minha família, que sempre esteve ao meu lado e me apoiou em todos os momentos, sem eles nada disso seria possível.

Aos meus amigos e colegas de curso, que trilharam essa caminhada comigo.

E a todos os que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

O estudo da caracterização tecnológica dos agregados para utilização em concreto é fundamental para garantir a qualidade das estruturas. Destaca-se a relevância do conhecimento das características físicas dos agregados como granulometria, massa específica, massa unitária e absorção de água dos agregados no controle tecnológico do concreto, pois é comprovado que eles influenciam significativamente as propriedades da composição. Através dos ensaios de agregados é realizada a determinação de tais características, ensaios que devem seguir as recomendações das normas técnicas da ABNT. Utilizando os benefícios das ferramentas e aplicativos digitais é possível otimizar e agilizar esse processo de obtenção das características dos agregados, tornando os ensaios mais eficientes e obtendo facilmente as informações através de cálculos realizados em aplicativos para *smartphones* e *tablets*. Por isso, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um aplicativo *mobile* para auxiliar acadêmicos e profissionais da área na obtenção dos resultados dos ensaios de granulometria, densidade e massa unitária de agregados destinados a utilização em concreto conforme as NBRs 17054/2022, 16916/2021 e 16972/2021. Para avaliar a eficácia e atendimento aos objetivos, foram realizados testes com acadêmicos do curso de Engenharia Civil, comparando o tempo para obter os resultados dos ensaios manualmente com o tempo para a obtenção dos resultados com o aplicativo. A aplicação foi desenvolvida por meio da metodologia de desenvolvimento de *software* conhecida como Prototipação, realizada na linguagem *JavaScript*, através do *framework React Native*. Chamado de AgregaLab, o aplicativo *mobile* demonstrou ser uma ferramenta com grandes contribuições para o processo dos experimentos abordados neste trabalho, otimizando o tempo de obtenção dos resultados e reduzindo a ocorrência de erros humanos no processo de cálculo e obtenção de resultados dos ensaios de caracterização física dos agregados para concreto.

Palavras-chave: Caracterização. Agregado. Ensaio. Aplicativo. *Mobile*.

ABSTRACT

The study of technological characterization of aggregates for use in concrete is essential to ensure the quality of structures. The knowledge of physical characteristics of aggregates such as particle size distribution, specific gravity, bulk density, and water absorption is particularly important in the technological control of concrete, as they have a significant influence on its properties. Aggregate testing is carried out to determine these characteristics, and the tests must follow the recommendations of technical standards set by ABNT. By leveraging the benefits of digital tools and applications, it is possible to optimize and streamline the process of obtaining aggregate characteristics, making the tests more efficient and obtaining information easily through calculations performed on smartphone and tablet applications. Therefore, the objective of this work was to develop a mobile application to assist academics and professionals in obtaining the results of tests for particle size distribution, density, and bulk density of aggregates intended for use in concrete, following the guidelines of NBRs 17054/2022, 16916/2021, and 16972/2021. To evaluate the effectiveness and achievement of the objectives, tests were conducted with Civil Engineering students, comparing the time required to obtain test results manually with the time required to obtain results using the application. The application was developed using the software development methodology known as Prototyping, implemented in the JavaScript language using the React Native framework. Named *AgregaLab*, the mobile application proved to be a tool with significant contributions to the experimental process discussed in this work, optimizing the time required to obtain results and reducing the occurrence of human errors in the calculation and acquisition of results for physical characterization tests of aggregates for concrete.

Keywords: Characterization. Aggregate. Rehearsal. Application. Mobile.

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Conjunto de peneiras das séries normais e intermediária	31
Quadro 2 - Massa mínima, por amostra de ensaio	32
Quadro 3 - Características do recipiente	38
Quadro 4 - Tempo para obter resultado do ensaio de composição granulométrica.	58
Quadro 5 - Tempo para obter resultado do ensaio de densidade e absorção de água de agregados miúdos.	59
Quadro 6 - Tempo para obter resultado do ensaio de massa unitária e índice de vazios.	60
Quadro 7 - Erros humanos contabilizados durante os testes.	61

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - <i>Smartphones</i> ativos no Brasil em 2022.	22
Figura 2 - Distribuição de mercado mundial dos sistemas operacionais <i>mobile</i> .	22
Figura 3 - Ícone aplicativo Granulometria.	24
Figura 4 - Ícone aplicativo Laboratorio.	25
Figura 5 - Ícone aplicativo Controle Tecnológico.	25
Figura 6 - Fluxograma do desenvolvimento do projeto de pesquisa.	27
Figura 7 - Metodologia baseada em Prototipação.	29
Figura 8 - Frasco com tampa.	35
Figura 9 - Fluxograma do AgregaLab.	42
Figura 10 - Primeira versão do aplicativo, menu de navegação.	43
Figura 11 - Tela do ensaio de massa unitária e índice de vazios.	44
Figura 12 - Tela do ensaio de densidade e absorção de água.	45
Figura 13 - Tela do ensaio da composição granulométrica.	46
Figura 14 - Tela de resultados do ensaio de massa unitária e índice de vazios.	47
Figura 15 - Tela de resultados do ensaio de densidade e absorção de água.	48
Figura 16 - Tela de resultados do ensaio de composição granulométrica.	49
Figura 17 - Alerta da verificação de validade do ensaio de massa unitária.	51
Figura 18 - Alerta da verificação do ensaio de densidade.	52
Figura 19 - Alerta da verificação geral do ensaio de determinação granulométrica.	53
Figura 20 - Alerta da verificação individualizada das peneiras do ensaio de determinação granulométrica.	54
Figura 21 - Tela de exibição do gráfico da curva granulométrica.	55
Figura 22 - Tela inicial com identidade visual e estética da aplicação.	56
Figura 23 - Ícone do AgregaLab.	56

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DMC	Dimensão Máxima Característica
FGV	Fundação Getúlio Vargas
MF	Módulo de Finura
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
<i>VSCode</i>	<i>Virtual Studio Code</i>

LISTA DE ACRÔNIMOS

IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
OHA	<i>Open Handset Alliance</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. Problema de Pesquisa	13
1.2. Justificativa.....	14
1.2.1. Teste de Hipóteses de desenvolvimento do trabalho	14
1.2.2. Contribuição Acadêmica	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo Geral	16
2.2. Objetivos Específicos	16
3. REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1. Importância da Caracterização Tecnológica dos Agregados.....	17
3.1.1. Composição Granulométrica.....	18
3.1.2. Dimensão Máxima Característica (DMC)	19
3.1.3. Módulo de Finura (MF)	19
3.1.4. Massa Unitária	20
3.1.5. Densidade	20
3.2. Desenvolvimento de ferramentas digitais	21
3.3. Plataforma Mobile	21
3.4. Trabalhos Correlatos	26
4. METODOLOGIA	27
4.1. Materiais	28
4.1.1. <i>Framework React Native</i>	28
4.1.2. <i>Visual Studio Code</i>	28
4.2. Métodos	29
4.2.1. Metodologia de desenvolvimento do software	29
4.2.2. Ensaio de determinação da composição granulométrica do agregado	30
4.2.2.1. Aparelhagem	30
4.2.2.2. Execução do ensaio	32
4.2.2.3. Resultados do ensaio	33
4.2.3. Ensaio de determinação da densidade do agregado miúdo	34
4.2.3.1. Aparelhagem	34
4.2.3.2. Preparação da amostra	35
4.2.3.3. Execução do ensaio	36
4.2.3.4. Cálculos do ensaio	36
4.2.3.5. Relatório do ensaio.....	37

4.2.4. Ensaio de determinação da massa unitária e do índice de vazios do agregado.....	37
4.2.4.1. Aparelhagem	38
4.2.4.2. Amostra para ensaio	38
4.2.4.3. Execução do ensaio	38
4.2.4.3.1. Método A	39
4.2.4.3.2. Método B.....	39
4.2.4.3.3. Método C.....	39
4.2.4.4. Cálculos do ensaio	39
4.2.4.5. Relatório de ensaio	40
4.2.5. Testes de coleta de parâmetros para validar o aplicativo	40
5. RESULTADOS.....	41
5.1. Aplicativo AgregaLab	41
5.1.1. Diferencial do AgregaLab.....	56
5.2. Usabilidade do AgreLab	56
5.2.1. Otimização na obtenção dos resultados dos ensaios	57
5.2.1.1. Obtenção dos resultados do ensaio de composição granulométrica	57
5.2.1.2. Obtenção dos resultados do ensaio de densidade e absorção de água de agregados miúdos	58
5.2.1.3. Obtenção dos resultados do ensaio de massa unitária e índice de vazios	59
5.2.2. Redução da ocorrência de erros humanos	60
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1. INTRODUÇÃO

A profissão do engenheiro objetiva a resolução de problemas e desenvolvimento de soluções, para o bem-estar coletivo e a qualidade de vida da sociedade, utilizando e criando inovações e ferramentas para transpor desafios e oferecer facilidades aos processos e para as pessoas (DE LUCA *et al.*, 2018).

Uma dessas ferramentas são as normas técnicas, que de acordo com Almacinha (2019), são instrumentos definidores de características de bens e serviços, métodos, níveis de qualidade, eficiência e segurança, fornecendo muitas vantagens e garantias para o profissional e para a sociedade.

Com a padronização das normas técnicas é possível estabelecer parâmetros e processos de controle tecnológico e de qualidade. Segundo Fortes e Merighi (2004), o controle tecnológico e de qualidade dos materiais é muito importante para a verificação e atendimento às especificações e normas técnicas de um empreendimento.

Dentre os materiais utilizados, os agregados do concreto têm um espaço determinante dentro da indústria da Engenharia Civil. Sua relevância é comprovada, pois os agregados compõem cerca de 80% do peso do concreto e 30% de seu custo, portanto sendo necessário um controle tecnológico adequado de qualidade com o objetivo de garantir a manutenção das propriedades do concreto, avaliando as características físicas do agregado selecionado, a fim de obter a máxima eficiência no consumo de cimento, buscando diminuir o custo do concreto (ARNDT; DE SOUZA; BIANCHINI, 2007).

A granulometria dos agregados é uma característica física essencial para o controle tecnológico do concreto, pois de acordo com Lodi (2007), a composição granulométrica do agregado tem uma grande influência na resistência à compressão do concreto, sendo possível maximizar ou minimizar o índice de vazios do material.

Também deve ser destacado a relevância da massa específica, massa unitária e absorção dos agregados que compõem o concreto. Realizar seus ensaios e ter o conhecimento de seus valores é de grande importância, pois são dados muito utilizados em campo (MEIER, 2011).

Para melhorar o controle tecnológico dos materiais utilizados e processos realizados, diversas ferramentas estão em constante desenvolvimento, desde aparelhos analógicos até as ferramentas digitais, sendo que essas últimas se tornaram aparatos comuns na vivência das pessoas, auxiliando-as nas mais diversas áreas e processos. O uso de tais ferramentas também permite o avanço mais rápido de pesquisas e serviços realizados pelo ser humano. De acordo com Oliveira e Noronha (2005), as novas tecnologias de informação permitiram que ocorresse

uma revolução nas áreas de pesquisa, possibilitando uma velocidade maior no desenvolvimento das mesmas, além da troca de informações acelerada entre diversos pesquisadores.

No âmbito da Engenharia, a utilização de tais ferramentas já é requisito para a boa performance do profissional. Segundo De Souza *et al.* (2020), as ferramentas digitais são de grande relevância para a Engenharia, contribuindo para uma melhor execução, qualidade e economia.

As tecnologias digitais também trazem grandes benefícios nos experimentos e ensaios, onde muitas vezes são necessários tratamentos de dados e/ou ferramentas estatísticas para posterior validação. De acordo Caetano (2017), a tecnologia permite que os pesquisadores fiquem mais livres para se aprofundar em suas pesquisas e reflexões, através de recursos tecnológicos que contribuem para uma melhor gestão do tempo, comunicação dos resultados obtidos e na qualidade no tratamento de dados.

O desenvolvimento de ferramentas livres e de fácil utilização é de extrema importância para a sociedade, visto que existem acadêmicos e pesquisadores que não dispõem de recursos financeiros suficientes para custear diversos programas e plataformas para otimizar e dar continuidade em suas pesquisas.

Também pensando na praticidade e usabilidade de ferramentas digitais, os aparelhos portáteis ganham destaque nesse quesito, além da maior quantidade de pessoas com acesso a eles. Segundo levantamento da Fundação Getúlio Vargas (FGV) realizado em 2022, existem 352 milhões de aparelhos portáteis (*smartphones*, *notebooks*, *tablets*) ativos no Brasil, sendo que desses, 242 milhões são *smartphones*, demonstrando a importância do desenvolvimento de aplicações para a plataforma *mobile*.

1.1. Problema de Pesquisa

É possível otimizar a coleta e processamento de dados de ensaios de caracterização física de agregados para concreto, com uma aplicação *mobile* que automatize e acelere a obtenção dos resultados dos experimentos?

Com base no que foi descrito anteriormente, o trabalho propôs desenvolver uma ferramenta *mobile* para a realização de ensaios de classificação granulométrica, densidade e absorção de água e massa unitária, conforme as normas NBR 17054/2022: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio, NBR 16916/2021: Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água e NBR 16972/2021: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios, que seja de boa usabilidade, livre e que permita a otimização do tempo de estudante e pesquisador dentro de laboratório.

1.2. Justificativa

O desenvolvimento de um aplicativo *mobile* específico para otimizar o processo de caracterização dos agregados para concreto visa modernizar o tratamento e a análise dos dados obtidos durante os experimentos.

Com a utilização de uma ferramenta digital é possível automatizar a obtenção dos resultados, trazendo maior agilidade para os ensaios de caracterização física dos agregados para concreto. Outro benefício do desenvolvimento de um aplicativo específico para ensaios de determinação de granulometria, densidade e massa unitária de agregados para concreto é a redução da ocorrência de erros humanos nos cálculos e processamento dos dados obtidos dos experimentos, auxiliando a manter a precisão e eficácia do ensaio.

Dessa forma, o desenvolvimento de um aplicativo *mobile* para caracterização física de agregados para composição do concreto pode trazer inúmeros benefícios para a engenharia civil, otimizando de maneira geral todo o processo de obtenção dos resultados da caracterização física dos agregados para composição do concreto.

1.2.1. Teste de hipóteses de desenvolvimento do trabalho

Para este trabalho foi analisado a hipótese de que a utilização de uma aplicação *mobile* para auxiliar nos ensaios de caracterização de agregados para concreto, que automatize os cálculos e realize verificações de validação da amostra de acordo com os parâmetros das normas vigentes pode agilizar a obtenção de resultados desses ensaios, reduzindo a ocorrência de erros humanos e otimizando o tempo dentro de laboratório. Com base nisto, foi definido as duas hipóteses para o desenvolvimento do trabalho:

- Hipótese nula (H_0): O aplicativo *mobile* otimiza a obtenção dos resultados dos ensaios de caracterização física de agregados para concreto;
- Hipótese alternativa (H_1): O aplicativo *mobile* NÃO otimiza a obtenção dos resultados dos ensaios de caracterização física de agregados para concreto.

Com o desenvolvimento do trabalho, uma das hipóteses será verdadeira.

1.2.2. Contribuição Acadêmica

As normas técnicas de ensaios de agregados referenciadas neste trabalho foram recentemente atualizadas, mudando procedimentos e parâmetros. Portanto, o fornecimento de uma ferramenta de fácil acesso, com vista que qualquer *smartphone* conseguirá rodar a

aplicação, pode contribuir para a propagação das recentes mudanças no meio acadêmico e também profissional.

Contribuição que pode ser constante caso o aplicativo receba atualizações frequentes, utilizando sempre as normas vigentes e comunicando as alterações para seu usuário, que continuará atualizado quanto aos ensaios de caracterização física dos agregados para concreto.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver uma aplicação *mobile* para auxílio na realização de ensaios de caracterização de agregados, através da rápida e automatizada execução de cálculos, otimizando o tempo e disponibilizando as informações de maneira organizada e elaborada conforme a necessidade do usuário.

2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- 1) Desenvolver um aplicativo livre e de boa usabilidade;
- 2) Otimizar a obtenção dos resultados dos ensaios de caracterização de agregados para concreto;
- 3) Fornecer uma aplicação que auxilie a comunidade acadêmica e profissionais da área;
- 4) Automatizar a obtenção dos resultados dos ensaios, minimizando a ocorrência de erros humanos;
- 5) Desenvolver um aplicativo que forneça as informações processadas para preenchimento de relatórios de caracterização de agregados conforme normas NBR 17054/2022, NBR 16916/2021 e NBR 16972/2021.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Importância da Caracterização Tecnológica dos Agregados

Segundo a NBR 9935:2011, da Associação Brasileira de Normas Técnicas, o agregado é o material granular, em grande maioria inerte, que possui dimensões e propriedades adequadas para a preparação de concreto ou argamassa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011).

O agregado natural é o material pétreo granular que pode ser utilizado da maneira que é encontrada na natureza, sendo possivelmente submetido à lavagem, classificação ou britagem. Também há o agregado artificial, o qual é o material granular oriundo de processo industrial que produz alteração mineralógica, física e/ou química da matéria-prima original (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011).

As características dos agregados, como a porosidade, massa específica, composição granulométrica, forma e textura superficial possuem significativa influência no concreto, quanto às suas propriedades tanto no estado fresco como endurecido, e consequentemente também influenciam o consumo de pasta dos concretos (FABRO *et al.*, 2011).

De acordo com Júnior (2015), a granulometria, densidade, massa unitária e absorção de água estão entre as informações mais importantes de um agregado na composição do concreto, destacando que de maneira geral suas características físicas são mais determinantes do que as químicas, exceto quando são detectados elementos reativos. Tornando o estudo da caracterização física dos agregados uma exigência para o controle tecnológico da dosagem de concreto.

Petrucci (1982), afirma que os agregados possuem um papel preponderante no concreto, tanto no ponto de vista econômico como técnico e exercem influência sobre características no mesmo como, retração e resistência ao desgaste, sem também prejudicar a resistência aos esforços mecânicos, pois os agregados de qualidade adequada possuem resistência mecânica superior ao do aglomerado.

Ainda de acordo com a NBR 9935:2011, o agregado é categorizado em relação a seu tamanho, sendo dividido em duas categorias, o grão, cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 milímetros e ficam retidos na peneira de malha 4,75 milímetros, e o agregado miúdo, aquele cujo possui grãos passantes na peneira com abertura de malha de 4,75 milímetros e fica retido na peneira com abertura de malha de 150 micrômetros (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011).

Segundo Moraes e Salame (2017), os agregados constituem em torno de 60% a 80% do volume do concreto, o que no que lhe concerne tem um viés econômico, já que o agregado é mais barato do que a pasta de cimento. E como os agregados constituem a grande parcela do concreto, sua escolha e características possuem enorme importância, sendo que os mesmos devem atender à 3 condições: estabilidade no concreto conforme as condições da exposição projetada; resistência ao desgaste e à compressão; serem graduados, permitindo o preenchimento adequado dos espaços, reduzindo o volume de pasta necessário para preencher os espaços entre os agregados.

O agregado é a principal parcela responsável pela massa unitária, pelo módulo de elasticidade e pela estabilidade dimensional do concreto, propriedades essas que dependem principalmente das características físicas do agregado, como forma, composição granulométrica e módulo de finura. Portanto, a análise da composição e das características físicas dos agregados do concreto é muito importante para o comportamento do composto (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Apesar do agregado influenciar em algumas características do concreto e ser mais resistente do que as outras fases do concreto, o mesmo geralmente não têm influência direta na resistência do concreto normal, porém a forma e a dimensão dos grãos dos agregados podem indiretamente ter um impacto na resistência do composto. Pois quanto maior o tamanho dos agregados e a proporção de partículas alongadas e achatadas, maior é a probabilidade de acúmulo de água junto à superfície do agregado, reduzindo a interação na zona de transição pasta-agregado (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

3.1.1. Composição Granulométrica

A Norma Brasileira (NBR) 17054/2022: Agregados - Determinação da Composição Granulométrica regulamenta o processo para determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto, determinação essa muito importante para o processo de dosagem. Segundo Weidmann (2008), a composição granulométrica é a distribuição gradual do tamanho das partículas de um determinado agregado, a qual é representada em porcentagem acumulada das frações retidas em uma determinada série de peneiras.

A composição granulométrica é um atributo físico do agregado, utilizada na caracterização e classificação do mesmo, e por influenciar nas propriedades do concreto, deve-se conhecer tal característica do material utilizado, pois propriedades indesejáveis existentes no agregado podem além de produzir um concreto com resistência insuficiente também comprometer a durabilidade do mesmo (VIACELLI, 2012).

Segundo De Almeida *et al.* (2012), a análise da composição granulométrica visa a quantificação da distribuição das partículas individuais de agregado em relação ao tamanho das mesmas. E a composição é somente uma dentre uma gama de variação de características, que leva aos agregados, no controle tecnológico do concreto a ser submetido à estudos para manter a qualidade tanto antes como durante a execução da obra (ALBUQUERQUE, 2014).

3.1.2. Dimensão Máxima Característica (DMC)

A Dimensão Máxima Característica (DMC) do agregado é um parâmetro fundamental no processo de produção de concreto e argamassas, pois influencia diretamente em sua resistência e trabalhabilidade. A DMC é definida como o diâmetro máximo da partícula de agregado que pode ser utilizado sem prejudicar as características da mistura, como a trabalhabilidade e a resistência mecânica.

Conforme a NBR 7211:2010 - Agregados para concreto - Especificação, a DMC é um dos fatores que devem ser considerados na seleção dos agregados a serem utilizados na produção de concreto. A norma estabelece que a DMC deve ser definido a partir de um ensaio de granulometria, em que é determinada a distribuição granulométrica dos agregados.

Um estudo realizado por El Mir *et al.* (2017) apresentou que a utilização de agregados com DMC inadequado pode resultar em uma diminuição significativa da resistência do concreto. De acordo também com Rohden (2011), a DMC tem influência direta sobre a resistência à compressão do concreto, influência esta que é maior ainda em misturas com consumo de água reduzido.

Portanto, é essencial que a Dimensão Máxima Característica do agregado seja cuidadosamente selecionada e controlada antes do processo de produção tanto do concreto como argamassas, através do ensaio de determinação da composição granulométrica, a fim de garantir sua qualidade e durabilidade.

3.1.3. Módulo de Finura (MF)

O Módulo de Finura é um parâmetro simples, obtido a partir da composição granulométrica do agregado miúdo. Segundo a NBR 17054/2022, o MF é definido como a soma das porcentagens retidas acumuladas do agregado, nas peneiras da série normal (150; 300 e 600µm, e 1,18, 2,36 e 4,75 mm), dividido por 100 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011).

De acordo com Neville (2016), o Módulo de Finura pode ser considerado uma média ponderada da distribuição do material retido, porém um único parâmetro, a média, não pode ser

representativo de uma distribuição, já que curvas granulométricas distintas podem ter o mesmo MF, portanto, esse parâmetro não pode ser utilizado como um descritor definitivo da graduação de um determinado agregado miúdo. Porém, o MF pode ser válido para verificações de alterações em agregados de mesma origem, além de que com certos limites, o Módulo de Finura indica um provável comportamento de uma mistura de concreto composto por um agregado de determinada granulometria.

Outro ponto a se destacar é a significativa correlação entre o Módulo de Finura com o teor de argamassa do concreto, pois segundo estudo realizado por Weidmann (2008), areias mais grossas, ou seja, com maior MF, demandam maiores teores de argamassa para manter o mesmo escoamento no ensaio de cone invertido em relação às areias mais finas.

3.1.4. Massa Unitária

A NBR 16972/2021: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios normatiza o método de ensaio para determinação da massa unitária e do índice de vazios de agregados miúdos ou graúdos, característica física do agregado essa muito importante para a composição do concreto.

Este ensaio tem como principal objetivo verificar a massa do agregado miúdo, incluindo a umidade que existe entre os grãos e os vazios, determinando sua utilização no concreto (DE AZEVEDO *et al.*, 2016).

O estudo da massa unitária possui grande relevância, pois através dele é possível a conversão das composições do concreto realizadas em massa dentro de laboratório para o volume, como é usualmente utilizado em obra, além de ser usado para levantamento dos quantitativos dos materiais necessários (JÚNIOR, 2015).

3.1.5. Densidade

A NBR 16916/2021: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água estabelece o método de ensaio para a determinação da densidade na condição seca, na condição saturada superfície seca e da absorção de água de agregados miúdos para utilização em concreto.

A densidade é uma das características físicas mais importantes do agregado quanto à sua composição no concreto, pois sua densidade tem proporção direta nas propriedades do concreto, como a resistência à compressão do mesmo (JÚNIOR, 2015).

Ainda segundo Santis (2013), a determinação da densidade dos agregados é essencial para a produção de concretos de boa qualidade, uma vez que essa característica do agregado têm um impacto significativo no valor da massa específica do concreto resultante.

3.2. Desenvolvimento de ferramentas digitais

Na atualidade, as ferramentas desenvolvidas visando auxiliar o profissional de Engenharia Civil vem se destacando, agilizando processos de modelagem, cálculos e projetos, otimizando o tempo dos trabalhadores e acelerando a indústria na totalidade (CLEMENTE; PELISON; JUNIOR, 2018).

No contexto da Engenharia Civil, as ferramentas tecnológicas têm grande destaque no desenvolvimento de soluções para o ramo, no âmbito prático e teórico, e portanto, verifica-se que existe um vasto repertório de pesquisas e desenvolvimento tecnológico dentro da área (DURIGAN; PORTELLA, 2017).

O avanço rápido da tecnologia digital e a agilidade permitida pelas novas ferramentas, gera a tendência do mercado de demandar dos profissionais, qualificação não somente de sua área específica, mas assim como o conhecimento de utilizar tais tecnologias a seu favor, para atender as necessidades da empresa (DOLODEL; DE OLIVEIRA; DE JESUS, 2021).

3.3. Plataforma *Mobile*

Os aparelhos móveis se tornaram objetos inseparáveis do cotidiano da população, segundo pesquisas, mais de 3 bilhões de pessoas possuem um celular e o mercado de aplicativos para essa plataforma lucra bilhões todos os anos (LECHETA, 2015).

Segundo Meirelles (2022), o avanço dos dispositivos portáteis em uso no país também tem chamado bastante atenção nos últimos anos, com dados do levantamento realizado pela FGV apontando que 242 milhões de smartphones estão ativos no Brasil, que assumem um papel predominante no seu uso para compras, transações bancárias e acesso às redes sociais.

Figura 1 - Smartphones ativos no Brasil em 2022.

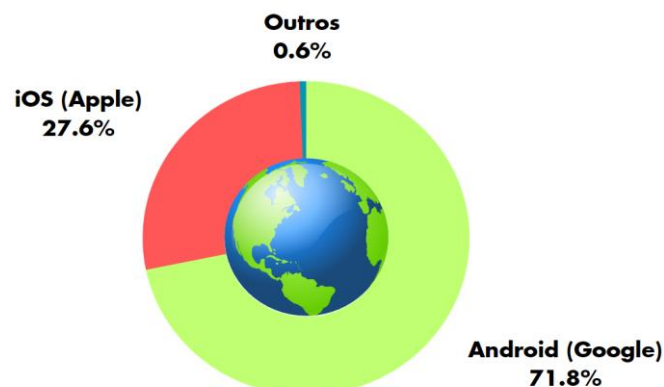


Fonte: Autores, 2023.

E devido à versatilidade e praticidade dos celulares, esses aparelhos auxiliam em todos os ambientes do dia-a-dia, seja pessoal ou profissional. Diversas empresas também buscam se inovar, incorporando aplicações móveis em seus sistemas, com o objetivo de agilizar e tornar mais prático seus processos, visando maior lucro e eficiência em um mundo onde a mobilidade se torna cada vez mais importante (LECHETA, 2015).

Atualmente na plataforma *mobile*, 2 empresas dominam o mercado de sistemas operacionais para aparelhos móveis, sendo 71,77% dos aparelhos com Sistema Operacional Android, da empresa Google e 27,6% com Sistema Operacional iOS, da empresa Apple, somando mais de 99% de todos os aparelhos móveis do mundo, dados retirados da plataforma StatCounter, de janeiro de 2023.

Figura 2 - Distribuição de mercado mundial dos sistemas operacionais *mobile*.



Fonte: Autores, 2023.

O sistema operacional *Android* foi lançado em 2008, sendo criado pela *Google*, como uma plataforma de desenvolvimento para dispositivos móveis, baseada em um sistema operacional *Linux*, com um ambiente versátil e poderoso. Apesar de ser desenvolvido pela *Google*, não é apenas ela que se encontra no projeto, grandes empresas líderes do mercado de telefonia também estão em parceria, como a *Motorola*, *LG*, *Samsung* e outras, formando o grupo chamado *Open Handset Alliance* (OHA), cujo objetivo é padronizar uma plataforma de código aberto e livre para aparelhos móveis, sempre atendendo as expectativas e necessidades do atual mercado (LECHETA, 2015).

Lançado em 2007, o sistema operacional iOS foi desenvolvido pela empresa Apple e de início era utilizado somente no iPhone, porém posteriormente também foi adotado como o sistema operacional de outros dispositivos da marca.

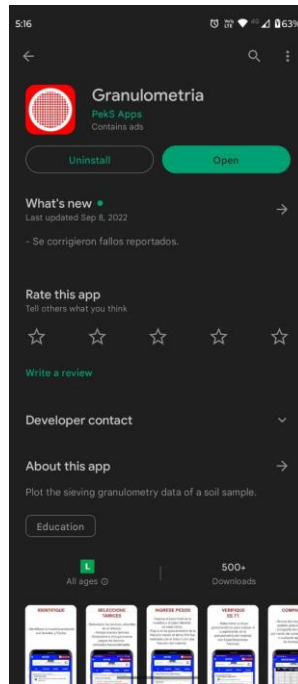
Segundo Henriques (2018), uma das grandes vantagens dos aparelhos móveis é a capacidade de acessar e manipular informações de qualquer lugar e a qualquer momento, otimizando as tarefas diárias dos usuários e oferecendo inúmeras funcionalidades através dos aplicativos.

Esses aplicativos são *softwares* programados especialmente para rodarem nos sistemas operacionais dos aparelhos móveis, sendo distribuídos e/ou vendidos nas lojas virtuais, como *Google Play Store* ou *Apple Store* (WANDERLEY, 2017).

3.4. Trabalhos Correlatos

Buscando trabalhos e aplicativos no tema, principalmente que tratam de ensaios e/ou análise de características de agregados, foi encontrado um aplicativo correlato com este trabalho, o aplicativo chamado Granulometria, criado pela PekS-Apps. Este aplicativo trabalha com referência à norma ASTM D-6913, recebendo os dados do ensaio de peneiramento e retornando a distribuição granulométrica através de gráficos, este aplicativo está em espanhol.

Figura 3 - Ícone aplicativo Granulometria.

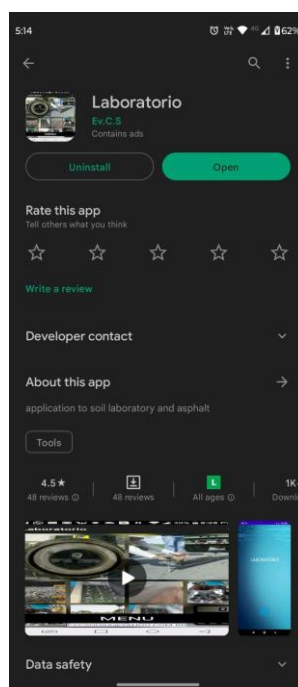


Fonte: Autores, 2023.

Além deste, foram encontrados outros aplicativos com temáticas ainda voltadas à caracterização tecnológica, porém de solos em geral, e não direcionada para sua utilização no concreto, o que não contempla os parâmetros das NBRs citadas neste trabalho. Neste caso pode-se citar:

- O aplicativo criado por Moraes e Salame (2017), no trabalho Aplicativo móvel para análise granulométrica do solo com avaliação de usabilidade usando a ferramenta Google TestLab;
- O aplicativo chamado Laboratorio, desenvolvido pela Ev.C.S, trabalha com asfalto e solo, determinando características como granulometria, densidade *in situ*, compactidade, limites de liquidez e plasticidade, não sendo informado a qual normativa utilizada;

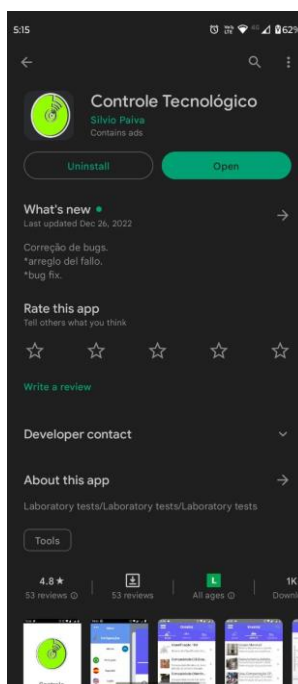
Figura 4 - Ícone aplicativo Laboratorio.



Fonte: Autores, 2023.

- Controle Tecnológico, aplicativo criado pelo Silvio Paiva, em inglês, trabalhando com concreto, asfalto e solos, deste último caracterizando granulometria, C.B.R, densidade *in situ*, limites de plasticidade e liquidez.

Figura 5 - Ícone aplicativo Controle Tecnológico.



Fonte: Autores, 2023.

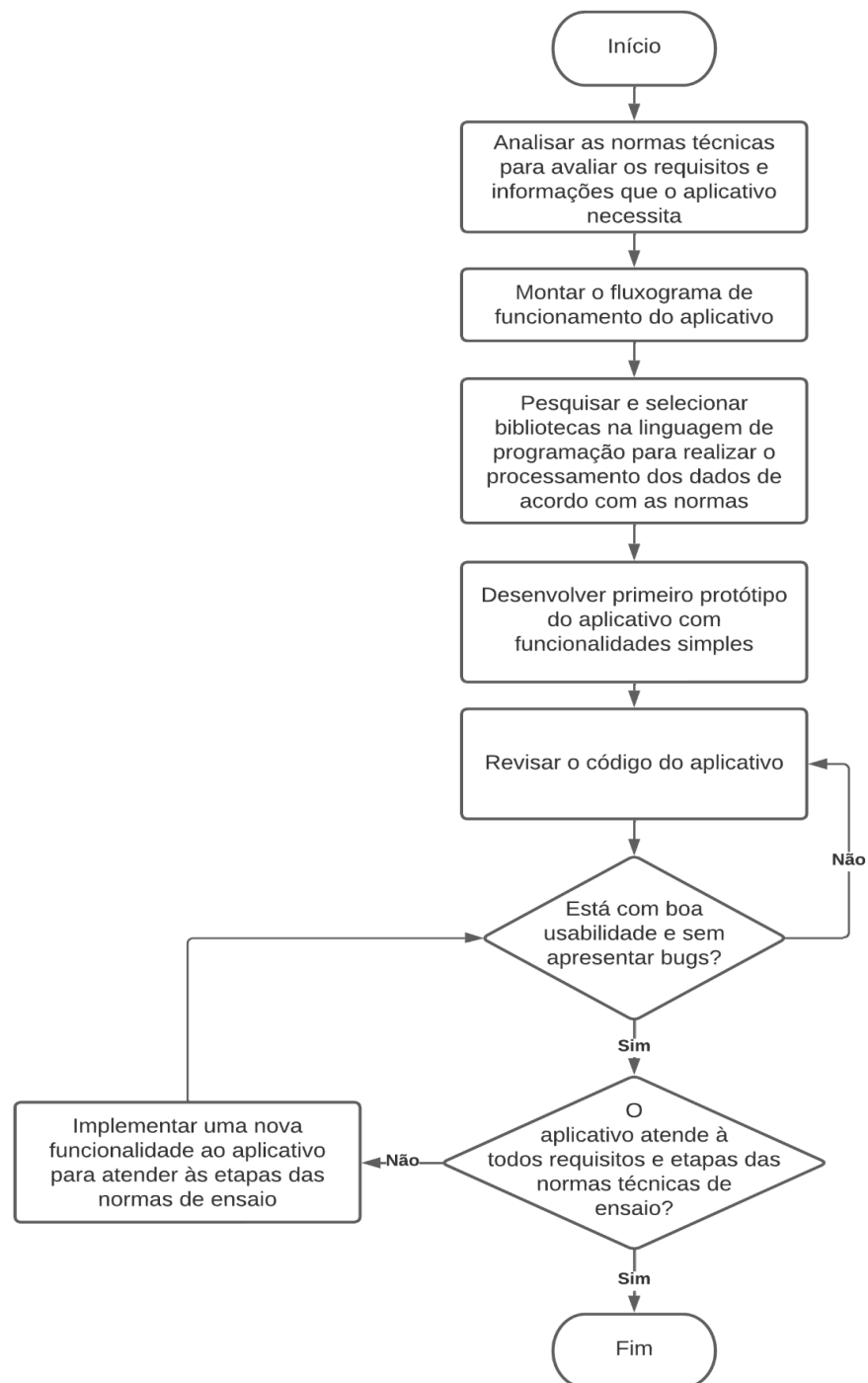
É percebido que não existem aplicativos com o mesmo foco deste trabalho, os aplicativos aqui citados não são direcionados para agregados da composição do concreto, além de não haver exemplar para cálculo da massa unitária e densidade.

O diferencial deste trabalho é que a aplicação que foi desenvolvida tem como foco principal a caracterização física dos agregados para concreto, utilizando como referência para seu funcionamento às normas NBR 17054/2022, NBR 16916/2021 e NBR 16972/2021, permitindo através de uma única ferramenta a obtenção de múltiplas informações acerca dos agregados utilizados no concreto.

4. METODOLOGIA

O presente trabalho é classificado em pesquisa bibliográfica e aplicada, em que a segunda parte consiste no desenvolvimento de um software usando a metodologia de Prototipação.

Figura 6 - Fluxograma do desenvolvimento do projeto de pesquisa.



Fonte: Autores, 2023.

4.1. Materiais

No desenvolvimento da pesquisa serão utilizados os seguintes materiais e ferramentas:

- *Framework React Native*;
- *Visual Studio Code*.

4.1.1. Framework React Native

Para o desenvolvimento da aplicação deste trabalho, foi utilizado o *React Native*. Esse é um *framework JavaScript* para desenvolver aplicações mobile tanto para *iOS* e *Android*, que utiliza ferramentas de renderização nativas do sistema operacional, facilitando o desenvolvimento simultâneo, ou seja, com um mesmo código base, de aplicações para *iOS* e *Android*. (EISENMAN, 2015)

Segundo Wu (2018), uma das maiores vantagens do *React Native* é trazer as modernas técnicas de desenvolvimento *web* para o ambiente *mobile*, sem muito comprometimento aos recursos e performance do sistema.

Sabendo que mais de 99% dos aparelhos móveis do mundo utilizam os sistemas operacionais *Android* e *iOS*, é de extrema vantagem utilizar um único *Framework* para desenvolver uma aplicação que poderá ser utilizada em ambos sistemas operacionais.

4.1.2. Visual Studio Code

O *Visual Studio Code* é um editor de código lançado em 2015 pela Microsoft. Trata-se de uma ferramenta multiplataforma, sendo ofertado gratuitamente e de código aberto, ou seja, permitindo que a comunidade de desenvolvedores contribua com a evolução da ferramenta, além de possuir suporte a um enorme número de linguagens e ferramentas de edição de código. (DEL SOLE, 2019)

Segundo Del Sole (2019), este editor de código é um poderoso ambiente de desenvolvimento designado para facilitar a programação *web*, *mobile* e aplicações em nuvem, com as mais modernas linguagens que estão sendo utilizadas nas plataformas de desenvolvimento, sendo possível trabalhar com *code files* isolados ou com sistemas de estruturação de *code files* baseado em pastas.

4.2. Métodos

4.2.1. Metodologia de desenvolvimento do *software*

Neste trabalho, foi utilizada a metodologia de desenvolvimento de *software* nomeada como Prototipação. Neste método as fases de análise, projeto e implementação acontecem simultaneamente, realizadas de maneira cíclica até que o sistema chegue em sua versão final (NASCIMENTO, 2013).

Figura 7 - Metodologia baseada em Prototipação.



Fonte: Nascimento (2013)

Ainda segundo Nascimento (2013), o primeiro protótipo geralmente é uma parte inicial do sistema, somente com parte de sua funcionalidade. Então é feita uma análise das necessidades e requisitos para a evolução do protótipo, que fornece mais funcionalidades e esse processo segue sucessivamente até que o sistema possua condições de ser implementado e utilizado em sua totalidade pelos usuários.

De acordo com Pressman (2016), esse modelo de desenvolvimento de *software* é a melhor escolha de abordagem em situações onde existe incerteza quanto à adaptabilidade de um sistema, algoritmo e quanto à forma de interação homem/máquina. Situação essa muito característica de projetos e trabalhos iniciais, em suas primeiras etapas de desenvolvimento.

Essa metodologia é muito difundida entre os desenvolvedores, pois permite a rápida construção de um sistema funcional e executável, porém que se não tomar os devidos cuidados e revisões, falhas de segurança e qualidade acabam prosseguindo para as próximas fases do desenvolvimento e até mesmo para o produto final (AMARAL, 2017).

4.2.2. Ensaio de determinação da composição granulométrica do agregado

A NBR 17054/2022 descreve a metodologia a ser seguida na determinação da composição granulométrica do agregado para concreto, metodologia esta que foi seguida pela aplicação, modelando os resultados obtidos no ensaio para fornecer os resultados almejados pelo estudo.

4.2.2.1. Aparelhagem

A NBR 17054/2022 determina as ferramentas que serão necessárias para a execução do ensaio em laboratório, sendo os descritos na mesma a seguir:

- Balança, com resolução de 0,1% da massa da amostra de ensaio;
- Estufa, com capacidade para manter temperatura entre $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$;
- Peneiras, da série normal e intermediária, que atendam às exigências da norma NM-ISO 3310-1;
- Agitador mecânico de peneiras;
- Bandejas;
- Escova ou pincel de cerdas macias;
- Fundo avulso de peneira.

Dentre a aparelhagem, o agitador mecânico de peneiras é descrito pela norma como facultativo, tendo em vista que a agitação pode ser feita de maneira manual, seguindo o descrito no tópico 6.1.10 e 6.1.6:

6.1.6 Destacar e agitar manualmente a peneira superior do conjunto (com tampa e fundo falso encaixados) até que, após 1 min de agitação contínua, a massa de material passante pela peneira seja inferior a 1% da massa do material retido. A agitação da peneira deve ser feita em movimentos laterais e circulares alternados, tanto no plano horizontal quanto inclinado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022).

6.1.10 Se não for possível a agitação mecânica do conjunto, classificar manualmente toda a amostra em uma peneira para depois passar à seguinte. Agitar cada peneira, com a amostra ou porção desta, por tempo não inferior a 2 min, procedendo à verificação do peneiramento conforme 6.1.6. Seguir de acordo com 6.1.7 a 6.1.9 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022).

Dentre a aparelhagem, as peneiras são os itens mais importantes no ensaio, e para existir uma padronização das peneiras utilizadas, a NBR-ISO 3310-1 estipula os requisitos técnicos que as peneiras de telas metálicas utilizadas no ensaio devem atender.

As peneiras são agrupadas em duas séries, as peneiras da série normal e série intermediária, sendo organizada no quadro abaixo.

Quadro 1 - Conjunto de peneiras das séries normais e intermediária.

Série Normal	Série Intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 μm	-
300 μm	-
150 μm	-

Fonte: ABNT NBR 17054 (ABNT, 2022)

Todo o conjunto de peneiras é utilizado durante a etapa de peneiramento, independente da série, a principal distinção é durante o cálculo dos resultados do ensaio, onde

para obter o Módulo de Finura, são somente utilizados na fórmula o percentual acumulado retido das massas das peneiras da série normal.

4.2.2.2. Execução do ensaio

A NBR 17054/2022 prescreve os métodos para a execução do ensaio de determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto.

Antes do ensaio em si, a amostra do agregado remetida ao laboratório, depois de umedecida e cuidadosamente misturada, é separada em duas amostras para o ensaio, sendo que cada amostra do ensaio precisa ter uma massa mínima de acordo com a dimensão máxima nominal do agregado.

Quadro 2 - Massa mínima, por amostra de ensaio.

Dimensão máxima nominal do agregado mm	Massa mínima da amostra de ensaio seca kg
< 4,75	0,3
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60

Fonte: ABNT NBR 17054 (ABNT, 2022).

Para dar início ao ensaio, a NBR 17054/2022 normatiza que deve-se secar as duas amostras durante 24 horas ou até atingir massa constante, à temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$. A norma considera massa constante quando a variação entre duas pesagens sucessivas for inferior a 0,1%, em um intervalo de pelo menos 1 hora.

Medir as massas (m_1 e m_2), tomar a amostra de massa m_1 e reservar a amostra de massa m_2 . Colocar a amostra m_1 sobre a peneira superior do conjunto, de maneira a evitar que uma grossa camada de material se forme em qualquer uma das peneiras, pois esse acúmulo de

material impede o acesso de todos os grãos à tela, assim como durante sua agitação pode ocasionar na deformação permanente da tela.

Promover a agitação do conjunto de peneiras, por tempo razoável que permita a classificação e separação dos diferentes tamanhos de grãos da amostra. Essa etapa por padrão é executada em agitador mecânico, porém caso não seja possível, a norma permite classificar manualmente toda a amostra em uma peneira para posterior passar para a próxima.

A agitação manual precisa ser realizada conforme 6.1.6 da NBR 17054/2022:

6.1.6 Destacar e agitar manualmente a peneira superior do conjunto (com tampa e fundo falso encaixados) até que, após 1 min de agitação contínua, a massa de material passante pela peneira seja inferior a 1% da massa do material retido. A agitação da peneira deve ser feita em movimentos laterais e circulares alternados, tanto no plano horizontal quanto inclinado.(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022)

Cada peneira deve ser destacada do conjunto para ter seu material retido removido para uma bandeja identificada. A tela da peneira deve ser escovada em ambos os lados, o material retirado do lado interno é considerado retido, já o material que soltar somente na escovação externa, é considerado passante e deve ser considerado na próxima peneira.

Deve-se determinar a massa total de material retido em cada uma das peneiras e, no fundo do conjunto, sendo observado que segundo a norma, o somatório de todas as massas retidas não pode diferir mais de 0,3% da massa da amostra inicial (m_1), demonstrando que houve uma perda ou acréscimo de material excessivo, adulterando a amostra.

Concluído a determinação da primeira amostra (m_1), anota-se os valores retidos em massa de cada abertura de malha e procede-se ao peneiramento da segunda amostra (m_2), seguindo as mesmas etapas anteriormente descritas.

4.2.2.3. Resultados do ensaio

A NBR 17054/2022 apresenta os cálculos, as condições e as informações que o relatório do ensaio deve conter.

Para cada amostra do ensaio, determina-se a percentagem de material retido, em massa, de cada peneira com aproximação de 0,1%. Ambas as amostras m_1 e m_2 devem obrigatoriamente apresentar a mesma dimensão máxima característica, e em cada peneira, a porcentagem retida individualmente em cada amostra não pode diferir mais do que 4% entre si. Caso ocorra essa disparidade, o peneiramento deve ser repetido para outras amostras de ensaio até que seja atendido o requisito.

Segundo a NBR 17054/2022, o Relatório de Ensaio de Determinação da Composição Granulométrica deve conter as seguintes informações:

- A porcentagem média retida em cada peneira;
- A porcentagem média acumulada em cada peneira;
- Dimensão máxima característica;
- Módulo de finura.

O aplicativo se baseou em tais informações para emitir um modelo de relatório do ensaio, de maneira a atender a recomendação da norma e fornecer ao usuário todas as informações necessárias para a tomada de decisão.

4.2.3. Ensaio de determinação da densidade do agregado miúdo

A NBR 16916/2021 estabelece o método para realização do ensaio de determinação da densidade na condição seca, na condição saturada superfície seca e da absorção de água de agregado miúdo para utilização em concreto.

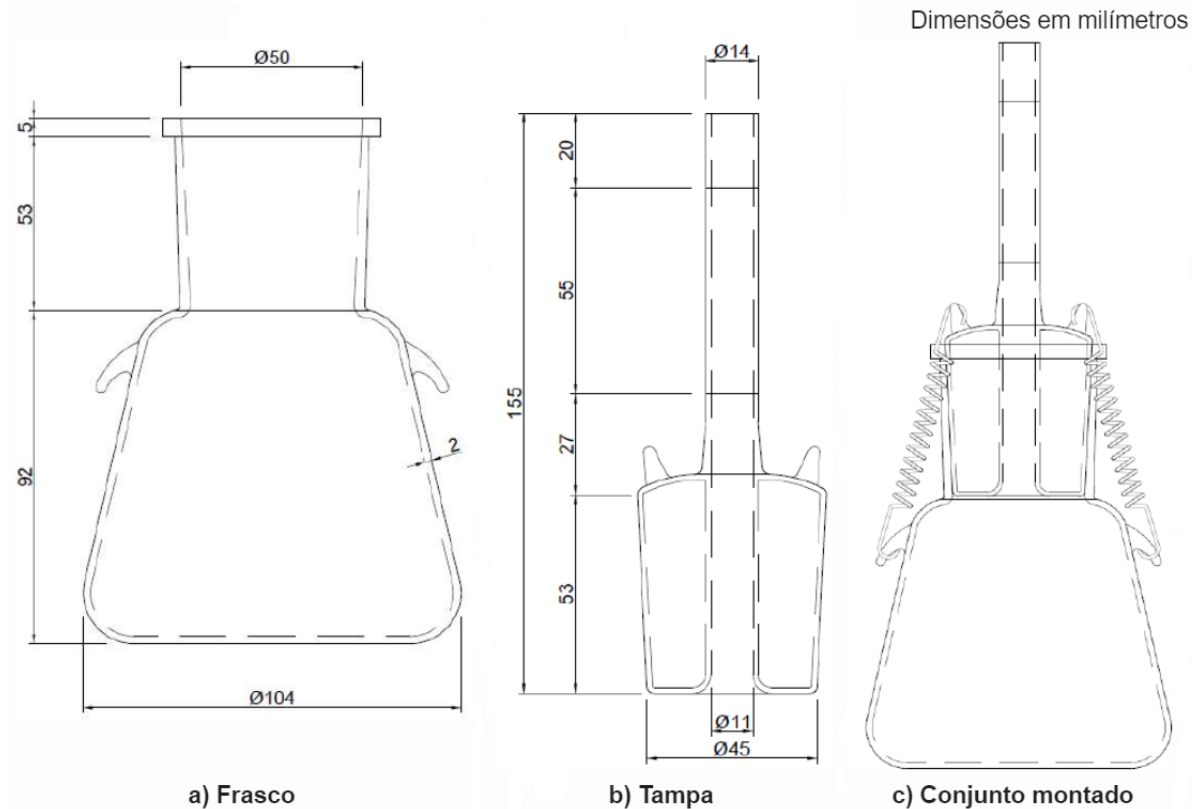
4.2.3.1. Aparelhagem

A NBR 16916/2021 determina os aparelhos que serão utilizados para a execução do ensaio, listados a seguir:

- Balança, com resolução mínima de 0,1% da massa da amostra do ensaio;
- Frasco com tampa, com capacidade de (500 ± 25) mL até a marcação superior da tampa do frasco, considerando o conjunto montado, boca do frasco com diâmetro interno de (50 ± 5) mm e diâmetro interno do tubo da tampa de (11 ± 1) mm, conforme Figura 8;
- Molde tronco-cônico, metálico, (40 ± 3) mm de diâmetro superior, (90 ± 3) mm de diâmetro inferior e (75 ± 3) mm de altura, com espessura mínima de 1 mm;
- Haste de compactação, metálica, com (340 ± 15) g de massa, tendo superfície de compactação circular plana de (25 ± 3) mm de diâmetro;
- Estufa, com capacidade para manter temperatura entre (105 ± 5) °C;
- Bandejas metálicas inoxidáveis de borda rasa, com dimensões e forma que permitam espalhar a amostra em uma camada delgada no fundo;
- Peneiras, com abertura nominal de 150µm e 4,75 mm;
- Espátula de aço;
- Circulador de ar quente regulável;

- Dessecador.

Figura 8 - Frasco com tampa.



Fonte: ABNT NBR 16916 (ABNT, 2021).

4.2.3.2. Preparação da amostra

A determinação das densidades e da absorção de água deve ser realizada em duplicata, portanto a amostra deve ser constituída de pelo menos 2,5 kg de agregado.

Espalhar a amostra nas bandejas, cobri-la com água potável e deixar em repouso por 24 h. Retirar a amostra da água e dispô-la sobre uma superfície plana, expondo a mesma sob uma suave corrente de ar, mexendo a amostra com frequência para garantir um processo de secagem uniforme, continuando até que os grãos de agregado não fiquem fortemente aderidos entre si.

Após isso, colocar sem comprimir a amostra no molde tronco-cônico, e depois compactar suavemente sua superfície com 25 golpes da haste e retirar verticalmente o molde. O cone de agregado deve desmoronar parcialmente para estar na condição de saturado superfície seca.

Caso não desmorone, continuar a secagem e periodicamente refazer o cone, até atingir a condição requerida. Caso desmorone totalmente na primeira tentativa, o agregado foi

seco além do ponto de saturado superfície seca, sendo necessário adicionar uma pequena quantidade de água, misturar e deixar a amostra guardada em um recipiente por 30 minutos, e posteriormente iniciando novamente o processo de secagem e montagem do cone.

4.2.3.3. Execução do ensaio

Pesar ($500,0 \pm 0,1$) g de amostra (m_B), colocar no frasco e registrar a massa do conjunto ($m_C = \text{frasco} + \text{amostra}$). Encher o frasco com água até próximo e abaixo da marca de 500 mL. Movê-lo de forma a eliminar as bolhas de ar e depois colocá-lo em um banho mantido a temperatura constante de (23 ± 2) °C.

Após 1 hora, completar com água até a marca de 500 mL e determinar a massa total com precisão de 0,1 g ($m_D = \text{frasco} + \text{amostra} + \text{água}$).

Simultaneamente, pegar ($500,0 \pm 0,1$) g da amostra preparada, colocar em uma bandeja e colocar em estufa à (105 ± 5) °C durante pelo menos 24 horas ou até massa constante ($\pm 0,5$ g). Esfriar a temperatura ambiente em dessecador e determinar a massa da amostra seca (m_A), com exatidão de 0,1 g.

4.2.3.4. Cálculos do ensaio

Para calcular a densidade do agregado na condição seca, segue a seguinte fórmula:

$$\rho_s = \frac{m_A}{V - V_A} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde m_A é a massa da amostra seca em estufa, V é o volume do frasco e V_a é o volume de água adicionada ao frasco, calculada pela fórmula abaixo:

$$V_A = \frac{m_D - m_C}{\rho_A} \quad (\text{Equação 2})$$

Nesta fórmula, m_C é a massa do frasco + agregado, m_D é a massa do conjunto frasco + agregado + água e ρ_A é a massa específica da água em g/cm³.

Outra característica calculada é a densidade do agregado na condição saturado superfície seca, pela fórmula a seguir:

$$\rho_{sss} = \frac{m_B}{V - V_A} \quad (\text{Equação 3})$$

Nela m_B é a massa na situação saturada superfície seca, V o volume do frasco e V_A o volume de água adicionado ao frasco.

A norma também apresenta a fórmula para calcular a absorção de água do agregado:

$$Abs = \frac{m_B - m_A}{m_A} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde, m_A é a massa da amostra seca em estufa a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ e m_B é a massa da amostra na condição saturada superfície seca.

Nesta norma todas as massas são expressas em g, e o volume expresso em cm^3 .

4.2.3.5. Relatório do ensaio

Ao fim, a NBR 16916/2021 também coloca os parâmetros para concordância dos resultados e informações que devem ser apresentadas em um relatório de determinação de densidade e absorção de água de agregados miúdos.

Os resultados devem ser uma média de duas determinações, sendo que elas não podem diferir entre si mais que $0,02 \text{ g/cm}^3$ para densidade e $0,2\%$ para absorção de água. Se essas condições não são atendidas deve ser realizada uma terceira determinação e adotar o resultado sendo a média entre as duas determinações mais próximas.

E caso uma mesma amostra em um curto período de tempo seja submetida a ensaio por dois operadores distintos e em dois laboratórios diferentes, os resultados não devem diferir mais que $0,05 \text{ g/cm}^3$ para a determinação de densidade e $0,5\%$ para a determinação de absorção de água de agregados com absorção menor que $2,0\%$.

4.2.4. Ensaio de determinação da massa unitária e do índice de vazios do agregado

A NBR 16972/2021 estabelece o método para a determinação da massa unitária e do índice de vazios de agregados miúdos e graúdos, ou da mistura de ambos, tanto em estado compactado ou solto.

4.2.4.1. Aparelhagem

A NBR 16972/2021 determina os aparelhos que serão utilizados para a execução do ensaio, listados a seguir:

- Balança, com resolução melhor ou igual a 50 g;
- Haste de adensamento, de aço, com 16 mm de diâmetro e 600 mm de comprimento, com um de seus extremos em forma semiesférica;
- Recipiente, cilíndrico e de material não atacável pela umidade, rígido e provido de alças;
- Pé ou concha;
- Placa para rasamento do recipiente;
- Estufa, com capacidade para manter temperatura entre $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- Termômetro, com resolução menor ou igual a $1,0 ^\circ\text{C}$.

Quadro 3 - Características do recipiente.

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Recipiente		
	Capacidade Mínima (dm ³)	Diâmetro interior (mm)	Altura interior (mm)
$d \leq 37,5$	10	220	268
$37,5 < d \leq 50$	15	260	282
$50 < d \leq 75$	30	360	294

Fonte: ABNT NBR 16972 (ABNT, 2021).

4.2.4.2. Amostra para ensaio

A amostra para a realização deste ensaio deve ser aproximadamente 150% do volume necessário para encher o recipiente e deve ser manipulada de maneira a evitar sua segregação. Que deve ser seca durante 24 horas ou até massa constante, à temperatura de $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$, a massa é considerada constante quando entre duas pesagens sucessivas em intervalo de 1 hora, existe uma variação inferior a 0,1%.

4.2.4.3. Execução do ensaio

Essa norma possui 3 métodos de ensaio:

- Método A, deve ser utilizado para determinar a massa unitária de material compactado, em agregados com DMC menor ou igual a 37,5 mm;

- Método B, também deve ser empregado para determinar massa unitária de material compactado, porém, com DMC superior a 37,5 mm;
- Método C, para determinar a massa unitária de material no estado solto.

4.2.4.3.1. Método A

Determinar a massa do recipiente vazio. Em seguida, encher o recipiente até um terço de sua capacidade e nivelar a superfície com os dedos. Após isso efetuar o adensamento da camada de agregado com 25 golpes da haste de adensamento, distribuídos uniformemente em toda a superfície.

Realizar o mesmo procedimento ao preencher o segundo e o terceiro terço da capacidade do recipiente. É importante ressaltar que durante os golpes de adensamento na primeira camada, a haste não deve tocar o fundo do recipiente, assim como no adensamento da segunda e terceira camada a haste não deve penetrar na camada anterior.

Nivelar a camada superficial do agregado com as mãos ou espátula, de maneira que fique rente a borda superior do recipiente. Determinar a massa do recipiente com seu conteúdo.

4.2.4.3.2. Método B

Determinar a massa do recipiente vazio. Em seguida, encher em 3 camadas, assim como no método A. Efetuar o adensamento de cada camada de agregado colocando o recipiente sobre uma base firme, elevando alternadamente os lados opostos cerca de 50 mm e deixando-os cair.

Realizar 50 repetições em cada camada, sendo 25 vezes em cada lado, posteriormente nivelando a camada superficial e determinando a massa do recipiente com seu conteúdo.

4.2.4.3.3. Método C

Determinar a massa do recipiente vazio. Em seguida, encher o recipiente até que ele transborde usando uma pá ou concha, despejando o agregado de uma altura que não seja maior que 50 mm acima da borda superior do recipiente. Nivelar a camada superficial e determinar a massa do recipiente com seu conteúdo.

4.2.4.4. Cálculos do ensaio

A massa unitária é calculada através da mesma fórmula pelos métodos A, B e C, conforme a seguir:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde, m_{ar} é a massa do recipiente com o agregado, m_r é a massa do recipiente vazio e V é o volume do recipiente. As massas sendo expressas em kg e volume em m^3 .

Caso deseje saber a massa unitária de agregados na condição saturada superfície seca, deve-se empregar a seguinte equação:

$$\rho_{as} = \rho_{ap} \left[1 + \frac{A}{100} \right] \quad (\text{Equação 6})$$

Onde, ρ_{ap} é a massa unitária do agregado, em kg/m^3 e A é a taxa de absorção do agregado, em porcentagem, obtida conforme ABNT NBR 16916/2021.

Por fim, é calculado o índice de vazios do agregado, com a fórmula abaixo:

$$E_V = \frac{100[d_1 \times \rho_w - \rho_{ap}]}{d_1 \times \rho_w} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde, d_1 é a densidade do agregado seco, ρ_w é a densidade da água e ρ_{ap} é a massa unitária do agregado. Expressos em kg/m^3 .

4.2.4.5. Relatório de ensaio

A massa unitária do agregado é a média dos resultados individuais obtidos em pelo menos 3 determinações. O resultado individual de cada determinação não pode apresentar desvio acima de 1% em relação à média.

O relatório deve informar os resultados da massa unitária com aproximação de 10 kg/m^3 , além do método utilizado (A, B ou C).

4.2.5. Testes de coleta de parâmetros para validar o aplicativo

Para mensurar e validar a funcionalidade do AgregaLab, assim como sua eficácia e objetivos, foram realizados testes e simulações de usabilidade com acadêmicos do curso de Engenharia Civil.

O teste aplicado consiste em avaliar o tempo para execução e a ocorrência de erros na realização dos cálculos e análises para obtenção dos resultados dos ensaios abordados neste trabalho, quando realizados manualmente.

Os testes foram realizados de maneira individual e presencial com cada acadêmico, em momentos distintos, pois a duração dos testes seria variável de acordo com o desempenho de cada estudante, além das variações de disponibilidade de horário entre os estudantes. O aplicativo foi implementado em um *smartphone* e disponibilizado para o acadêmico durante o período do teste, tendo em vista que a aplicação ainda não se encontra disponível em serviços de distribuição digital, como *Google Play Store* ou *Apple Store*.

Os cálculos durante o teste foram executados à mão pelos estudantes, com auxílio de calculadora científica e acesso ao conteúdo das normas técnicas referentes aos ensaios, com exceção do teste de determinação da composição granulométrica, normatizado pela NBR 17054/2022, onde também foi permitido aos acadêmicos o uso do programa Microsoft Excel, devido à necessidade de trabalhar com tabelas e gráficos.

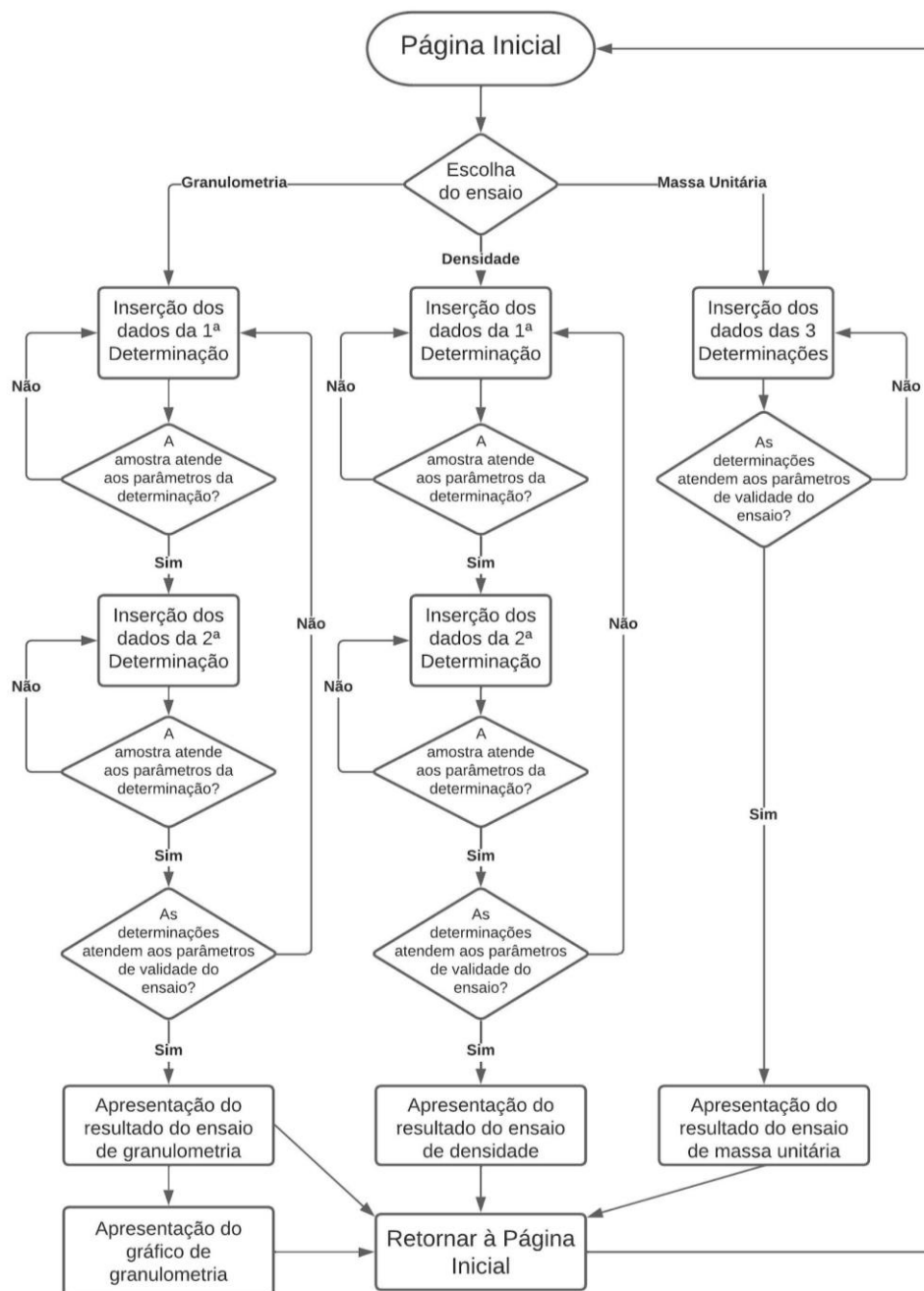
Enquanto o estudante executava os cálculos e análises para obtenção dos resultados, foi marcado os intervalos de tempo gasto para concluir o processo de cada ensaio, além de coletar os resultados dos cálculos para posterior comparação com o retornado pela aplicação.

5. RESULTADOS

A aplicação *mobile* AgregaLab foi desenvolvida para otimizar a obtenção de resultados dos ensaios de caracterização de agregados para concreto, e têm se mostrado muito eficaz para alcançar os resultados propostos.

5.1. Aplicativo AgregaLab

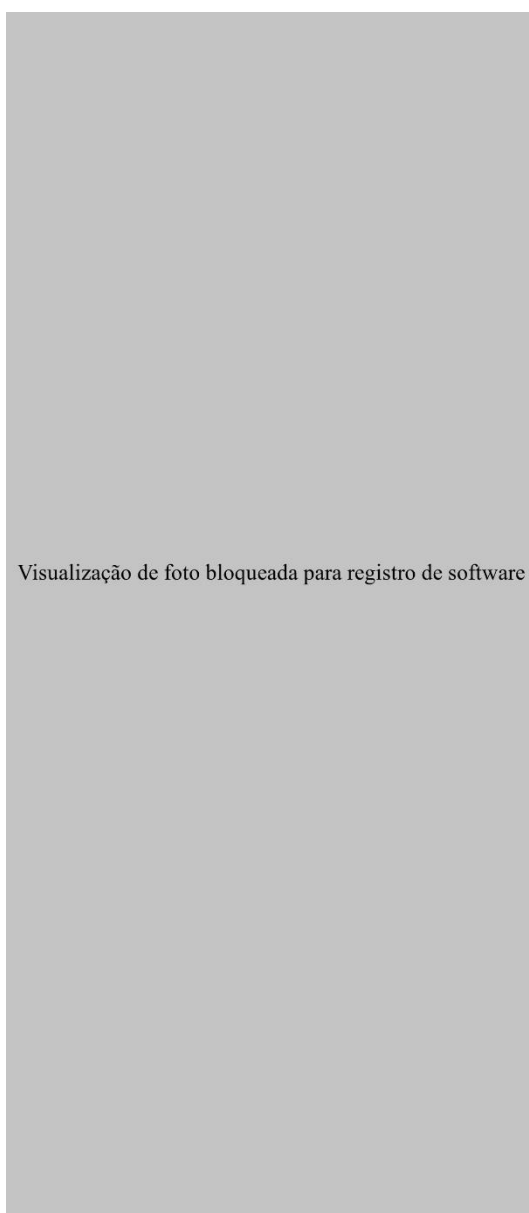
Figura 9 - Fluxograma do AgregaLab.



Fonte: Autores, 2023.

Após a modelagem do fluxograma do Agregalab, seguindo a metodologia da Prototipação, a primeira versão do aplicativo foi programada, sendo o foco dessa etapa do desenvolvimento a estruturação da montagem da navegação entre as telas. Na tela inicial foi inserido um menu para que o usuário pudesse escolher qual ensaio trabalhar. Na figura abaixo vemos o primeiro protótipo do Agregalab.

Figura 10 - Primeira versão do aplicativo, menu de navegação.

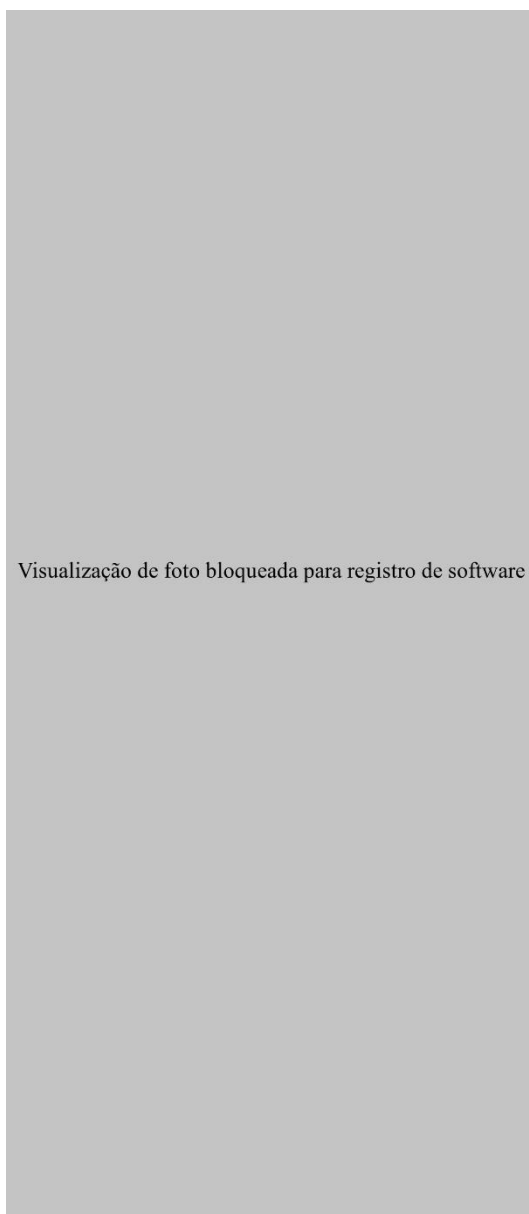


Fonte: Autores, 2023.

O próximo passo foi a inserção do conteúdo das telas que receberão os dados dos ensaios realizados pelo usuário, sendo utilizado principalmente *TextInput* e *RadioButton*.

A figura a seguir mostra a tela para recebimento dos dados do ensaio da determinação da massa unitária e do índice de vazios. Devido à não obrigatoriedade da obtenção dos resultados de massa unitária na condição saturada superfície seca e do índice de vazios, é apresentado na tela um *RadioButton* para que o usuário indique se deseja inserir os dados ou não.

Figura 11 - Tela do ensaio de massa unitária e índice de vazios.

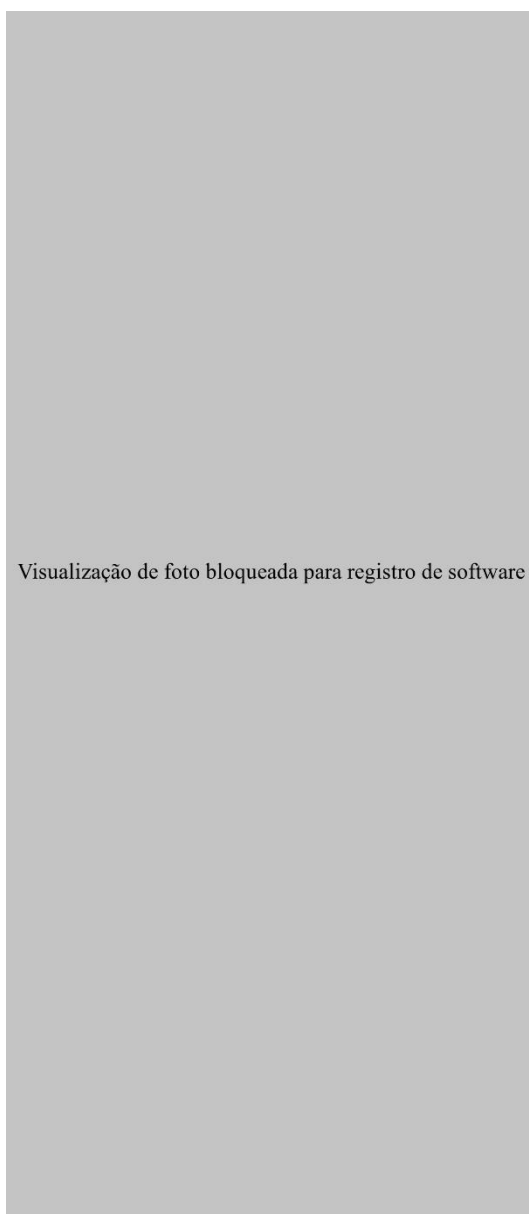


Fonte: Autores, 2023.

Já na imagem abaixo é apresentada a tela de recebimento dos dados do ensaio normatizado pela NBR 16916/2021, Determinação da Densidade e Absorção de Água

de Agregados Miúdos. Este ensaio requer duas determinações, portanto possui duas telas iguais.

Figura 12 - Tela do ensaio de densidade e absorção de água.

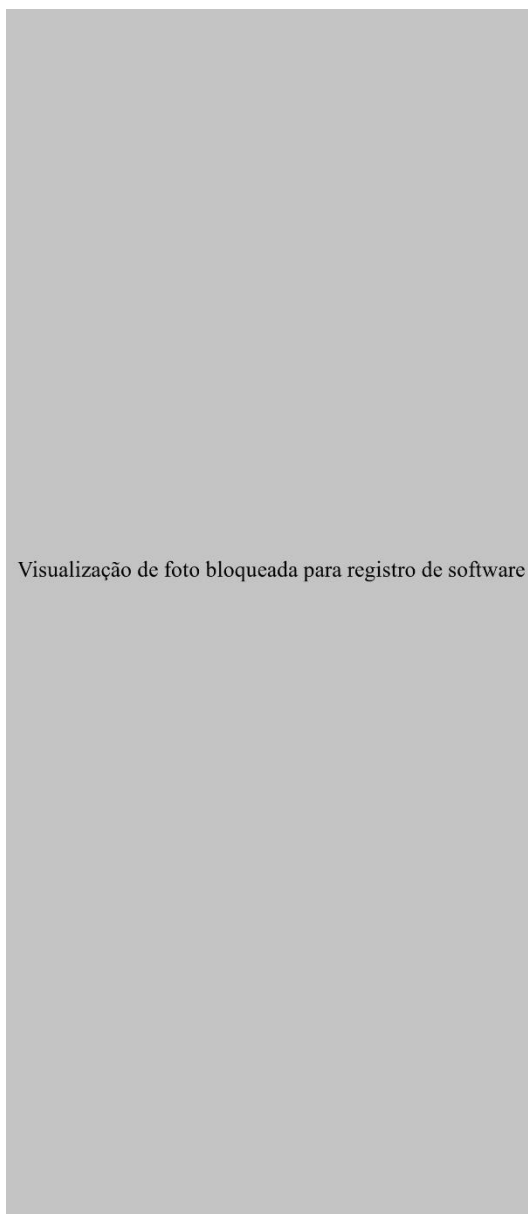


Visualização de foto bloqueada para registro de software

Fonte: Autores, 2023.

Por fim, foi realizada a tela o ensaio de granulometria, que também precisa de duas determinações, e para que o usuário já possa fazer uma análise inicial dos dados, foi inserido além dos campos de *TextInput*, uma tabela que atualiza automaticamente as porcentagens de massa retida assim que os dados são inseridos.

Figura 13 - Tela do ensaio da composição granulométrica.



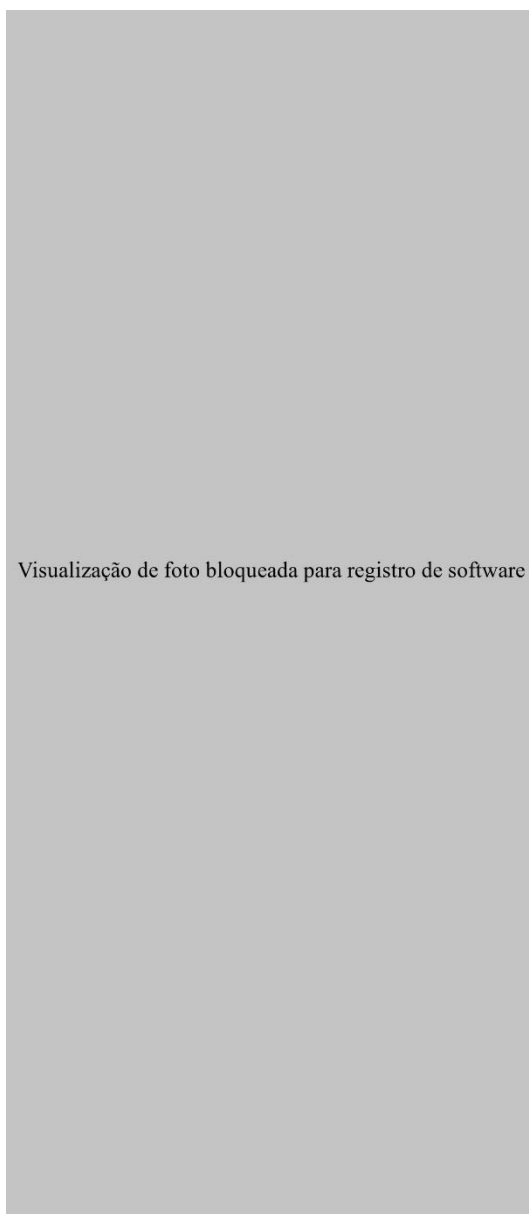
Visualização de foto bloqueada para registro de software

Fonte: Autores, 2023.

Com as telas para recebimento dos dados do ensaio em pleno funcionamento, o próximo protótipo teve a adição da funcionalidade de cálculo dos resultados, com base nas equações apresentadas pelas normas técnicas.

A figura a seguir mostra a tela de resultado do ensaio de massa unitária e índice de vazios. Conforme explicado anteriormente, o cálculo da massa unitária saturada superfície seca e o índice de vazios são opcionais de acordo com a necessidade do usuário, portanto esses resultados aparecerão apenas quando o *RadioButton* da tela da Figura 11 estiver marcado como “Sim”.

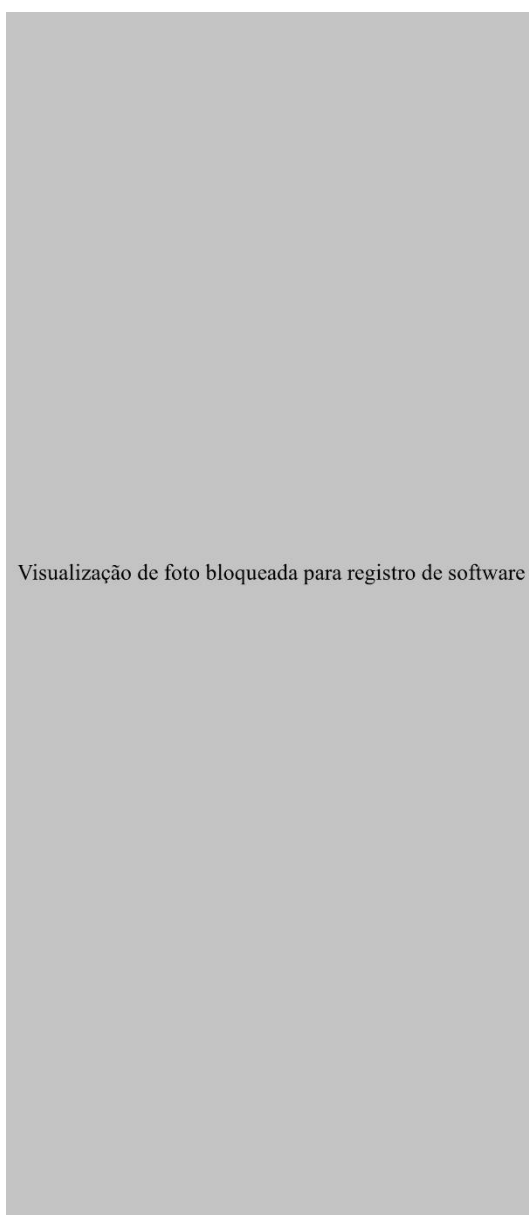
Figura 14 - Tela de resultados do ensaio de massa unitária e índice de vazios.



Fonte: Autores, 2023.

A tela do resultado do ensaio de densidade e absorção de água de agregado miúdo retorna as informações que a NBR 16916/2021 cita como obrigatórias para compor um relatório de ensaio, a densidade do agregado estudado, a densidade do agregado na condição saturada superfície seca e a taxa de absorção de água do agregado.

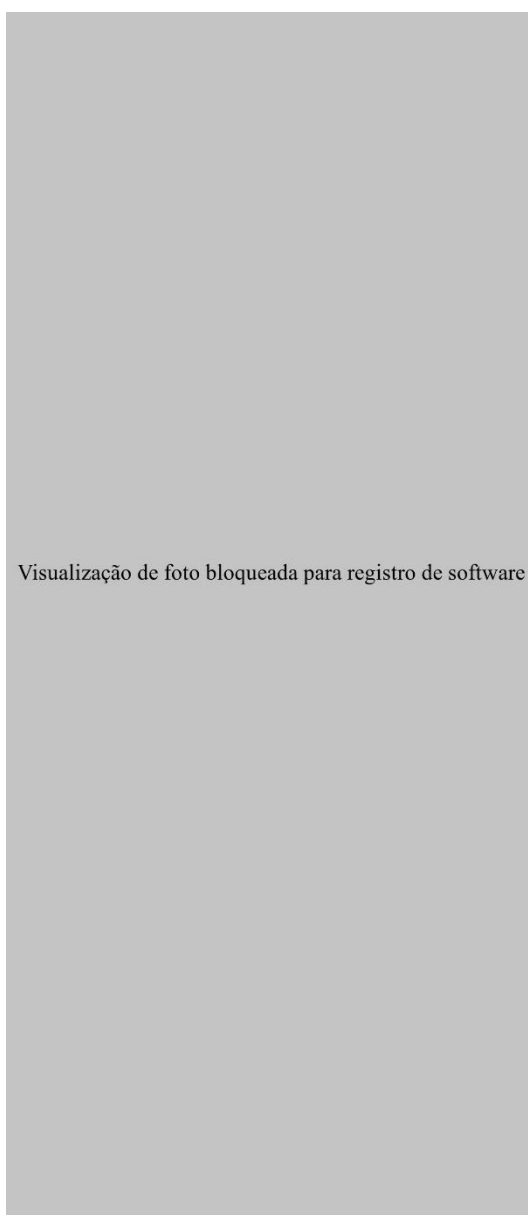
Figura 15 - Tela de resultados do ensaio de densidade e absorção de água.



Fonte: Autores, 2023.

Para a tela de resultado do ensaio de granulometria, normatizado pela NBR 17054/2022, as informações do DMC e Módulo de Finura da determinação são apresentadas assim como nas outras telas, porém as informações de massa retida e massa retida acumulada foram sintetizadas em uma tabela para melhor visualização da progressão do peneiramento.

Figura 16 - Tela de resultados do ensaio de composição granulométrica.



Fonte: Autores, 2023.

Com as telas de resultados estando em pleno funcionamento, realizando os cálculos seguindo rigorosamente as fórmulas descritas pelas normas, fora planejado a implementação de uma nova funcionalidade no aplicativo, sendo a adição dos parâmetros de validade dos ensaios no fluxograma do aplicativo.

A maneira como as verificações dos parâmetros seriam realizadas e retornadas para o usuário foi um tópico de reflexão do trabalho. Foram elencadas duas possibilidades:

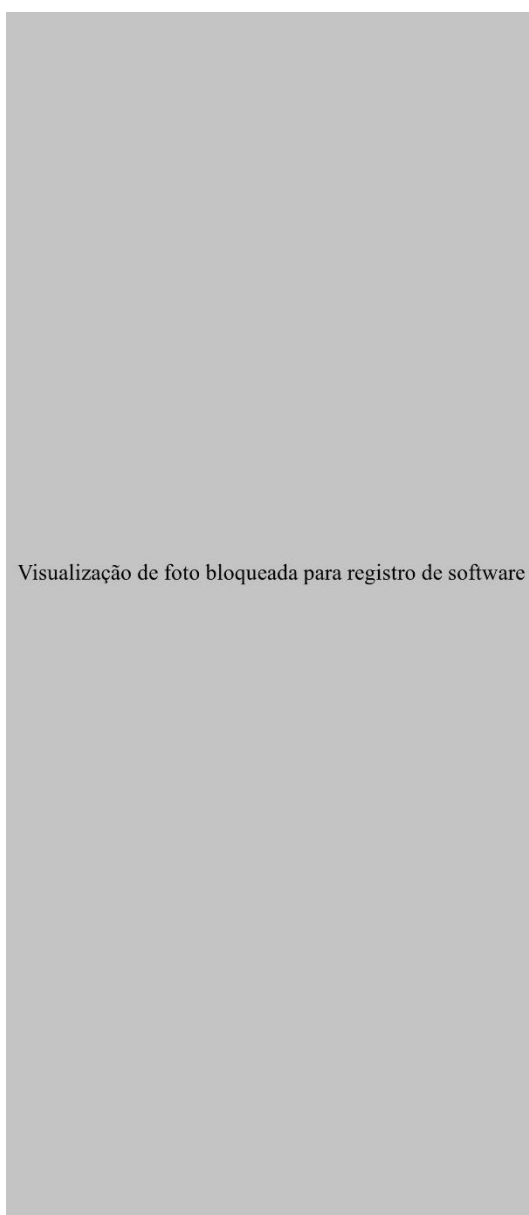
1. Após a inserção de dados realizar os cálculos e direcionar para uma “tela intermediária” entre a tela de recebimento de dados e a tela dos

- resultados, para que o usuário corrija os dados inseridos, identificando quais os dados que não atendem aos parâmetros de validade da norma;
2. Realizar os cálculos na própria tela de inserção dos dados, e antes do usuário direcionar para a tela de resultados, o aplicativo realizar as verificações das normas e em caso de reprovação impedir o prosseguimento do aplicativo, retornando ao usuário um alerta de quais pontos da amostra não atendem aos parâmetros de validade da norma.

A segunda opção foi mais viável para o prosseguimento do trabalho, tendo em vista que evitaria a criação de mais telas para o aplicativo, o que consequentemente aumentaria o “peso” para realizar a instalação da aplicação. Outro ponto que direcionou a escolha foi a facilidade em alterar os dados do ensaio após a verificação, com a manutenção na mesma tela basta o usuário trocar os valores do *TextInput*, sem que seja necessário a transferência dos dados inválidos para uma outra tela intermediária e só então permitir a alteração dos mesmos.

A primeira parte a receber a funcionalidade de verificação dos parâmetros de validade foi a do ensaio de massa unitária e índice de vazios, normatizado pela NBR 16972/2021, sendo escolhida por ser a tela com funcionalidades e cálculos mais simples, permitindo implementar as verificações de maneira ágil e sendo permitido a realização de testes mais brevemente.

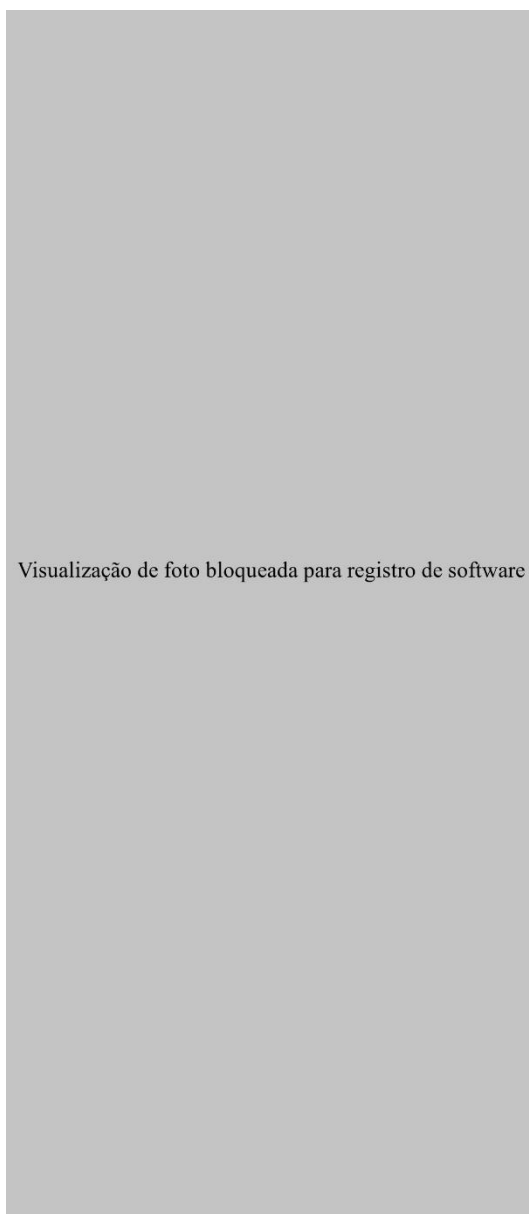
Figura 17 - Alerta da verificação de validade do ensaio de massa unitária.



Fonte: Autores, 2023.

No âmbito do ensaio de densidade e absorção de água de agregados miúdos, descrito pela NBR 16916/2021, a implementação da verificação foi um pouco mais elaborada, pois existiam duas variáveis para serem analisadas e com condicionantes distintas.

Figura 18 - Alerta da verificação do ensaio de densidade.

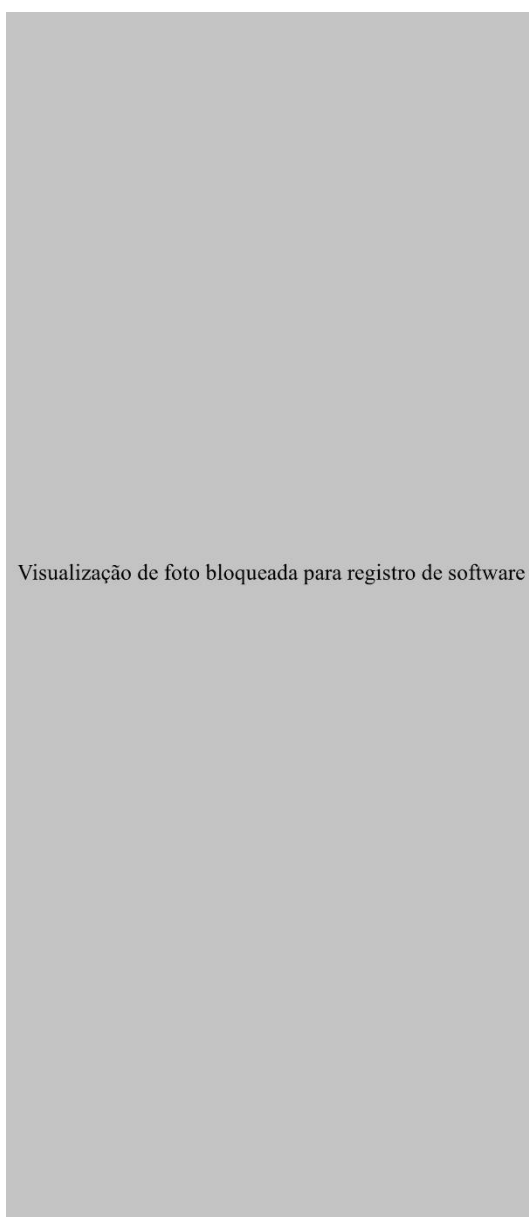


Visualização de foto bloqueada para registro de software

Fonte: Autores, 2023.

O último ensaio que teve a implementação da funcionalidade de verificação de validade da amostra foi o ensaio de determinação granulométrica. Isso se deu por seu caso ser o mais complexo deste trabalho, com vários campos de *TextInput* na tabela, sendo necessário realizar uma verificação contabilizando a somatória de massa retida em todas as peneiras com a massa inicial, e outro conjunto de verificações individualizadas para cada abertura de peneiras, comparando os dados entre a determinação 1 e 2.

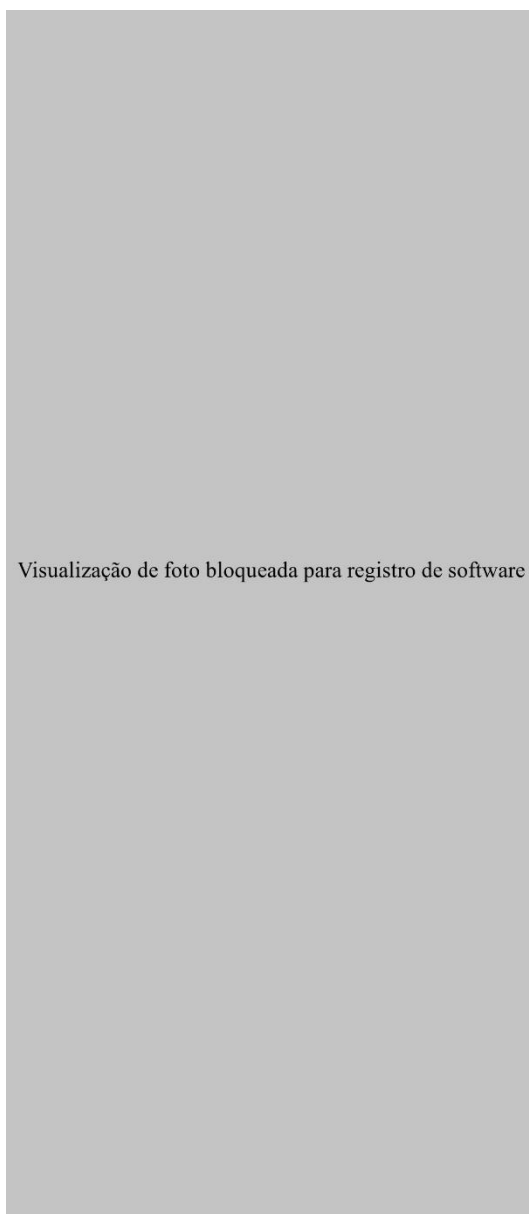
Figura 19 - Alerta da verificação geral do ensaio de determinação granulométrica.



Visualização de foto bloqueada para registro de software

Fonte: Autores, 2023.

Figura 20 - Alerta da verificação individualizada das peneiras do ensaio de determinação granulométrica.

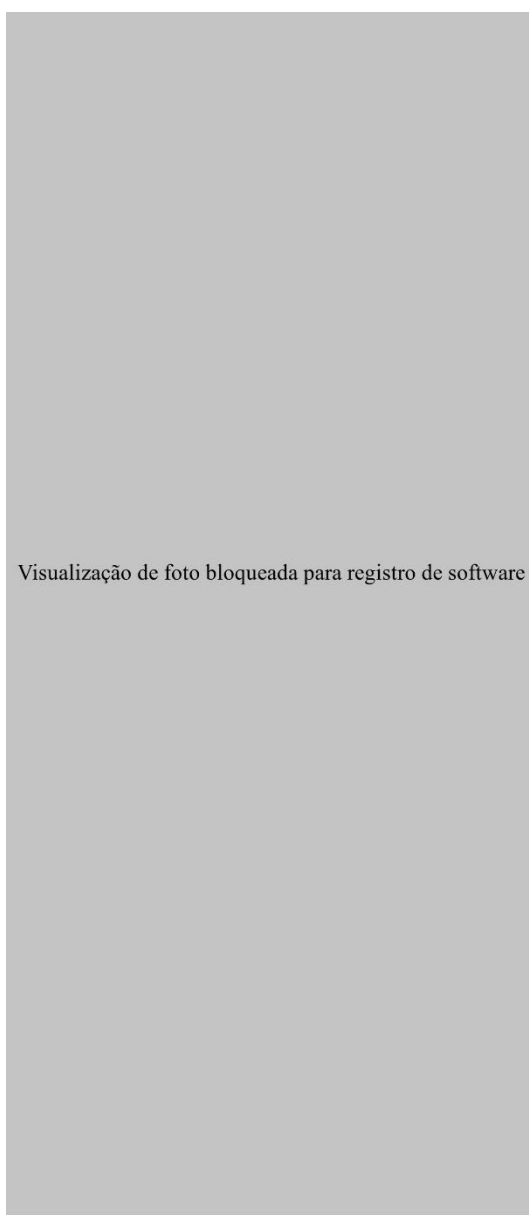


Visualização de foto bloqueada para registro de software

Fonte: Autores, 2023.

Ainda na seção de determinação granulométrica, uma funcionalidade implementada exclusivamente neste ensaio é a exibição de gráfico, este que representa a distribuição acumulada das massas retidas no conjunto de peneiras, sendo uma eficiente e concisa maneira de visualização do resultado do ensaio.

Figura 21 - Tela de exibição do gráfico da curva granulométrica.

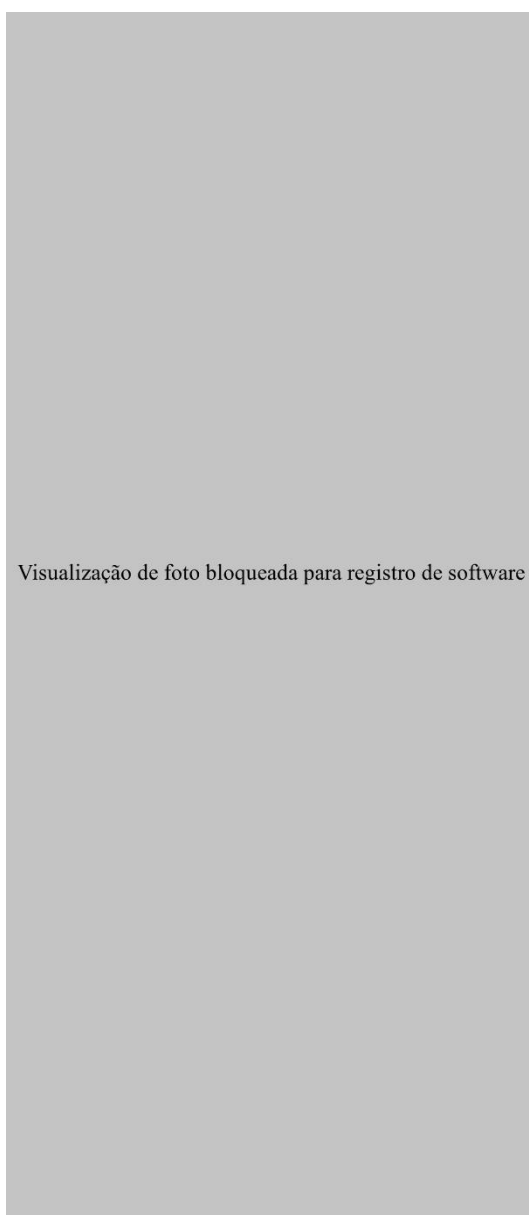


Visualização de foto bloqueada para registro de software

Fonte: Autores, 2023.

Com todas as funcionalidades de execução da ferramenta devidamente implementadas e testadas, foi dedicado um tempo para montagem da identidade visual e estética do aplicativo, tornando a utilização do AgregaLab mais agradável ao usuário.

Figura 22 - Tela inicial com identidade visual e estética da aplicação.



Fonte: Autores, 2023.

Figura 23 - Ícone do Agregalab.



Fonte: Autores, 2023.

5.1.1. Diferencial do AgregaLab

O aplicativo deste trabalho se diferencia em diversos pontos quando analisado as ferramentas *mobile* que existem atualmente.

Sua principal característica inovadora é a especificação de atendimento às normas específicas de ensaio de agregados da ABNT, determinando claramente os parâmetros de avaliação e apontando as inconsistências das amostras coletadas. Além disso os aplicativos encontrados na busca do estado da arte apresentam ensaios diversos da construção civil, e dentre essa variedade apenas poucos são sobre o estudo de agregados para concreto, portanto uma ferramenta direcionada à caracterização dos agregados consegue englobar de maneira mais específica às normas técnicas.

Outro ponto importante é a localização, as atuais ferramentas mais abrangentes para ensaios do interesse da engenharia civil pesquisadas se encontram em idiomas estrangeiros e também trabalham com normativas que não se enquadram na realidade do país. O AgregaLab, sendo em português, pode beneficiar também o grupo de pessoas que ainda não dominam uma língua estrangeira.

5.2. Usabilidade do AgregaLab

Os testes de usabilidade e eficácia do AgregaLab foram realizados em momentos distintos com 6 estudantes do curso de Engenharia Civil, onde foi coletado o tempo para obtenção dos resultados do ensaio de maneira tradicional, com cálculos realizados à mão e com auxílio de calculadora científica. Com o tempo coletado sendo comparado com o tempo para obter os resultados com o AgregaLab é possível mensurar o ganho que essa ferramenta possibilita para seu usuário.

Além disso, neste teste foi possível comparar os resultados obtidos pelos acadêmicos com a ferramenta e verificar também a incidência de erros humanos durante o processo de realização dos cálculos e obtenção dos resultados dos ensaios.

Como parâmetro de base, o tempo computado durante os testes com os acadêmicos, foi desde o recebimento dos dados até a obtenção dos resultados do ensaio, contabilizando também o período para consulta à norma quanto aos parâmetros de validade dos ensaios. Assim podendo comparar com exatidão o tempo gasto pelo acadêmico para realizar as mesmas etapas e processos que o AgregaLab executa.

5.2.1. Otimização na obtenção dos resultados dos ensaios

Um dos principais objetivos da ferramenta desenvolvida neste trabalho é facilitar o processo de obtenção dos resultados dos ensaios de caracterização física dos agregados para concreto.

Através dos testes foi analisado e mensurado o real benefício do AgregaLab para a comunidade acadêmica.

5.2.1.1. Obtenção dos resultados do ensaio de composição granulométrica

O ensaio de determinação da composição granulométrica possui como particularidade que a exibição de seu resultado usualmente não é realizada à mão, pois se utiliza de tabelas e gráficos para a interpretação das informações das massas retidas em peneiras.

Portanto, para o teste com acadêmicos do ensaio de composição granulométrica de agregados para concreto foi contabilizado o tempo para obtenção do resultado com uma ferramenta atualmente bastante difundida no meio, o programa *Microsoft Excel*.

Quadro 4 - Tempo para obter resultado do ensaio de composição granulométrica.

Acadêmico	Duração do teste
A	30 min. 40 seg.
B	25 min. 50 seg.
C	33 min. 30 seg.
D	36 min. 40 seg.
E	27 min.
F	31 min. 10 seg.
Média Aprox.	30 min. 50 seg.

Fonte: Autores, 2023.

Conforme mostrado no Quadro 4, o tempo para obtenção dos resultados do ensaio de determinação da composição granulométrica foi em média 30 minutos e 50 segundos.

Como parâmetro de comparação, o tempo de obtenção dos resultados do ensaio normatizado pela NBR 17054/2022 no aplicativo AgregaLab é de 2 minutos e 10 segundos.

Através deste teste foi possível comprovar e mensurar que o AgregaLab permite otimizar o tempo do acadêmico em mais de 14 vezes na obtenção dos resultados do ensaio de determinação da composição granulométrica do agregado para concreto.

Essa grande otimização do tempo é justificada principalmente pelo fato do aplicativo permitir automatizar a organização das tabelas e da modelagem do gráfico de curva granulométrica, etapas que demandam bastante tempo se realizadas manualmente no programa *Microsoft Excel*.

5.2.1.2. Obtenção dos resultados do ensaio de densidade e absorção de água de agregados miúdos

Neste teste, como não foi necessária nenhuma ferramenta gráfica, os acadêmicos realizaram os cálculos de maneira tradicional, no papel, utilizando apenas os dados do ensaio, a NBR 16916/2021 como referência e uma calculadora científica.

Quadro 5 - Tempo para obter resultado do ensaio de densidade e absorção de água de agregados miúdos.

Acadêmico	Duração do teste
A	17 min. 20 seg.
B	16 min. 30 seg.
C	19 min 20 seg.
D	16 min. 50 seg.
E	15 min. 10 seg.
F	17 min 40 seg.
Média Aprox.	17 min. 10 seg.

Fonte: Autores, 2023.

Conforme mostrado no Quadro 5, o tempo para obtenção dos resultados do ensaio de densidade e absorção de água de agregados miúdos foi em média 17 minutos e 10 segundos.

Como parâmetro de comparação, o tempo de obtenção dos resultados do ensaio normatizado pela NBR 16916/2021 no aplicativo AgregaLab é de 1 minuto.

Por meio deste teste foi possível comprovar e mensurar que o AgregaLab permite otimizar o tempo do acadêmico em mais de 17 vezes na obtenção dos resultados do ensaio de determinação da densidade e absorção de água de agregados miúdos do concreto.

5.2.1.3. Obtenção dos resultados do ensaio de massa unitária e índice de vazios

Neste teste, como não foi necessária nenhuma ferramenta gráfica, os acadêmicos realizaram os cálculos de maneira tradicional, no papel, utilizando apenas os dados do ensaio, a NBR 16972/2021 como referência e uma calculadora científica.

Quadro 6 - Tempo para obter resultado do ensaio de massa unitária e índice de vazios.

Acadêmico	Duração do teste
A	15 min. 40 seg.
B	12 min. 10 seg.
C	13 min.
D	15 min. 10 seg.
E	14 min. 30 seg.
F	13 min. 20 seg.
Média Aprox.	14 min.

Fonte: Autores, 2023.

Conforme mostrado no Quadro 6, o tempo para obtenção dos resultados do ensaio de massa unitária e índice de vazios foi em média 14 minutos.

Como parâmetro de comparação, o tempo de obtenção dos resultados do ensaio normatizado pela NBR 16972/2021 no aplicativo AgregaLab é de 50 segundos.

Com esse teste foi possível atestar que o AgregaLab permite otimizar o tempo do acadêmico em até mais de 16 vezes na obtenção dos resultados do ensaio de determinação da massa unitária e do índice de vazios de agregados do concreto.

5.2.2. Redução da ocorrência de erros humanos

Outro fator de grande relevância quanto à automatização de processos é a diminuição de falhas decorrentes de erros humanos, e neste quesito o AgregaLab também demonstra sua grande importância.

Após a execução dos cálculos pelos acadêmicos, foi realizada a comparação com os resultados obtidos pela aplicação, e em caso de disparidade foi contabilizada como um erro decorrente da execução humana.

Quadro 7 - Erros humanos contabilizados durante os testes.

Ensaio	Acadêmico	Caso
Granulometria	B	Erro na modelagem do gráfico
Granulometria	F	Erro no cálculo do Módulo de Finura
Dens. e Absor. de água	C	Confusão das variáveis inseridas nas fórmulas

Fonte: Autores, 2023.

Durante a realização dos testes com os acadêmicos, foram contabilizados 3 eventos que ocasionaram em erros na obtenção dos resultados corretos dos ensaios. Todos ocorreram devido a pequenos momentos de desatenção, mesmo tendo pleno entendimento do processo que executavam.

Considerando os testes realizados, cada um dos 6 acadêmicos realizou os cálculos de 3 ensaios, somando um total de 18 execuções contabilizadas nos testes deste trabalho. E dentre essa quantidade em 3 execuções foi identificada a incidência da falha humana, totalizando 16,67 % do universo pesquisado.

Dentre os erros identificados nesses testes, todos podem ser sanados com a utilização do AgregaLab, que automatiza todo o processo de obtenção e verificação dos cálculos para alcançar os resultados dos ensaios de caracterização física do agregado para concreto.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de ferramentas e aplicações digitais têm como principal objetivo facilitar a vida e dar mais liberdade ao ser humano, que pode direcionar seus esforços em atividades que requerem maior análise e raciocínio, deixando os serviços repetitivos para serem realizados pelos algoritmos e ferramentas programadas.

Neste quesito, este trabalho desenvolveu uma aplicação *mobile*, nomeada como *AgregaLab*, com o objetivo de otimizar o tempo e melhorar a eficácia dos ensaios de caracterização física dos agregados para concreto. Uma ferramenta livre, rápida e de boa usabilidade para contribuir com o meio acadêmico e profissional da Engenharia Civil.

Os testes com o *AgregaLab* comprovaram a hipótese defendida por este trabalho, no qual estipula que um aplicativo *mobile* pode otimizar a obtenção dos resultados dos ensaios de caracterização física de agregados para concreto. Foi demonstrando ganhos significativos quanto ao tempo e eficácia em relação aos métodos de cálculo tradicionais, agilizando e automatizando processos, enquanto reduz a influência de erros humanos.

No teste do ensaio de determinação da composição granulométrica, constatou-se que o tempo médio para obtenção dos resultados utilizando o *AgregaLab* foi de 2 minutos e 10 segundos, em comparação à média de 30 minutos e 50 segundos utilizando ferramentas de planilha e gráficos, como o *Microsoft Excel*. Isso representa uma redução do tempo gasto para obter os resultados em mais de 14 vezes, principalmente devido à automatização da organização das tabelas e da modelagem do gráfico de curva granulométrica.

No ensaio de densidade e absorção de água de agregados miúdos, o tempo médio para obtenção dos resultados utilizando o *AgregaLab* foi de apenas 1 minuto, em comparação aos 17 minutos e 10 segundos quando realizando os cálculos com auxílio de calculadoras, representando um tempo 17 vezes menor do que o usual, demonstrando novamente a eficiência da ferramenta.

Já no ensaio de massa unitária e índice de vazios, o tempo médio para obtenção dos resultados utilizando o *AgregaLab* foi de 50 segundos, em comparação aos 14 minutos dos métodos tradicionais, em torno de 16 vezes mais rápido do que os métodos atualmente utilizados.

Além da otimização do tempo, o *AgregaLab* também contribui para a redução da ocorrência de erros humanos. Durante os testes de comparação, foram identificados três erros decorrentes de falhas humanas, totalizando uma incidência de erro de 16,67% em relação aos 18 cálculos realizados. Com a utilização do *AgregaLab*, esses erros podem ser evitados, pois a ferramenta automatiza todo o processo de obtenção e verificação dos cálculos.

Portanto, é perceptível que o AgregaLab é uma aplicação que possibilita uma significativa otimização de tempo na obtenção dos resultados dos ensaios de determinação da composição granulométrica, ensaio de determinação da densidade e absorção de água de agregados miúdos e ensaio da determinação de massa unitária e índice de vazios, normatizados respectivamente pelas normas NBR 17054/2022, NBR 16916/2021 e NBR 16972/2021. Além disso, a utilização do AgregaLab contribui para a redução da ocorrência de erros humanos, proporcionando maior confiabilidade e precisão nos resultados.

Essa ferramenta tem o potencial de ser de grande utilidade para a comunidade acadêmica e profissional no campo da Engenharia Civil, agilizando e aprimorando o processo de caracterização física dos agregados para concreto.

Para trabalhos futuros, pode-se desenvolver uma ferramenta digital para outros ensaios que não foram englobados por este trabalho, no âmbito da caracterização física dos agregados, como por exemplo o ensaio de densidade e absorção de água de agregados graúdos, normatizado pela NBR 16917/2021. Além disso, ensaios de outros materiais da construção civil também podem ser contemplados com aplicações digitais referenciadas nas atualizadas normas brasileiras para facilitar e otimizar a realização dos mesmos, como o próprio cimento ou a madeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. S. Agregados. In: **BAUER, L.A.F. Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: LTC. 5ª edição revisada. Vol 1, 2014. Capítulo 4.

ALMACINHA, José António. **Introdução ao Conceito de Normalização em Geral e sua Importância na Engenharia**. 2019. Instituto de Engenharia Mecânica e Industrial. Porto, 2019.

AMARAL, Cláudio César Sardinha do. **Desenvolvimento de Software**: Análise comparativa para modelos sequencial, interativo e incremental, espiral e prototipação. 2017.

ARNDT, Josué A.; DE SOUZA, Joelcio; BIANCHINI, Maurício. Influência do índice de forma do agregado graúdo na resistência à compressão do concreto. In: **Anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto. Bento Gonsálves, RS-2007**. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16916: Agregado Miúdo - Determinação da densidade e absorção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16972: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17054: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de Ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9935: Agregados - Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM-ISO 3310-1: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2010.

COLODEL, Bruno TL; DE OLIVEIRA, Arthur M.; DE JESUS, Andreia. Build The Future-Gravity Dams: A Primeira Versão de um Aplicativo *Mobile* para Ensino de Estabilidade de Barragens à Gravidade. In: **Anais do XXXII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação**. SBC, 2021. p. 429-439.

CLEMENTE, Ailton Calegario; PELISON, Márcio José; JUNIOR, Sebastião José Almeida Barbosa. **Aplicativo Mobile para Dimensionamento e Verificações de Fundações Profundas**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto Ensinar Brasil. Juiz de Fora, 2018.

DE ALMEIDA, Brivaldo Gomes et al.. **Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil**. 2012.

DE AZEVEDO, Letícia Maria Macêdo *et al.*. Caracterização física e mecânica do concreto incorporado com polímero. In: **Anais do I CONAPESC**. Campina Grande: Editora Realize, 2016.

DE LUCA, Marcelo Alexandre Siqueira *et al.*. A engenharia no contexto social: Evolução e Desenvolvimento. **Gestão, Tecnologia e Inovação: Revista Eletrônica dos Cursos de Engenharia**, v. 2, n. 1, p. 1-11, 2018.

DE SOUSA, Emerson Lima *et al.*. A importância das ferramentas digitais nas engenharias. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 62114-62120, 2020.

DEL SOLE, Alessandro. **Visual Studio Code Distilled**. 1. ed. Cremona: Apress, 2019.

DURIGAN, Giuseppe; PORTELLA, Renan Wunderlich. **Desenvolvimento de Aplicativo para Dimensionamento de Elementos em Concreto Armado**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2017.

EISENMAN, Bonnie. **Learning react native: Building native mobile apps with JavaScript**. O'Reilly Media, Inc., 2015.

EL MIR, Abdulkader; PÉITY, Ágnes; NEHME, Salem G. **Effect of maximum aggregate size on mechanical properties of high-strength concrete**. In: Proc. 12th Central European Congress on Concrete Engineering. 2017. p. 233-239.

FABRO, Fabi *et al.*. Influência da forma dos agregados miúdos nas propriedades do concreto. **Revista IBRACON de estruturas e materiais**, v. 4, p. 191-212, 2011.

FGV. **Pandemia acelerou o processo de transformação digital das empresas no Brasil**. Fundação Getúlio Vargas, 2022. Disponível em: <<https://portal.fgv.br/noticias/pandemia-acelerou-processo-transformacao-digital-empresas-brasil-revela-pesquisa>>. Acesso em: 21 de fev. 2023.

FORTES, Rita Moura; MERIGHI, João Virgílio. Controle tecnológico e controle de qualidade—um alerta sobre sua importância. In: **Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, XXXII**. 2004.

HENRIQUES, Cátia Andreia Gourgel. **"Brincar com os sons": introdução dos TIC na terapia da fala**. 2018. Tese de Doutorado – Instituto Universitário de Lisboa. Lisboa, 2018.

JÚNIOR, Enio Ribeiro. Propriedades dos materiais constituintes do concreto. **Revista Especialize**, v. 1, n. 10, 2015.

LECHETA, R. R. **ANDROID. Aprenda a criar aplicações para dispositivos móveis com o Android SDK**. 4 ed. São Paulo: Editora Novatec, 2015.

LODI, P. C. **Mecânica dos solos**. 1º ed. Ilha Solteira: UNESP, 2007.

MEIRELLES, Fernando S. **Panorama do Uso de TI no Brasil - 2022**. 2022. Disponível em: <<https://portal.fgv.br/artigos/panorama-uso-ti-brasil-2022>>. Acesso em: 21 de fev. 2023.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M.. **Concreto, estrutura, propriedades e materiais**. 3 ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

MEIER, Denis. **Análise da qualidade do agregado miúdo fornecido em Curitiba e região metropolitana**. 2011. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

MORAES, P. I.; SALAME, MFA. **Aplicativo móvel para análise granulométrica do solo com avaliação de usabilidade usando a ferramenta Google TestLab**. 2017.

NASCIMENTO, Erinaldo S. **Metodologias de Desenvolvimento de Sistemas**. 2013. Curso Técnico em Informática, Foz do Iguaçu, 2013.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2016.

OLIVEIRA, Érica Beatriz Pinto Moreschi de; NORONHA, Daisy Pires. A comunicação científica e o meio digital. **Informação & sociedade, estudos**, v. 15, n. 1, p. 75-92, 2005.

PETRUCCI, E. **Concreto de cimento Portland**. Porto Alegre: Ed. Globo, 1982

PRESSMAN, Roger S.; MAXIM, Bruce R.. **Engenharia de Software: UMA ABORDAGEM PROFISSIONAL**. 8. ed. São Paulo: Amgh Editora Ltda, 2016. 939 p. Revisão técnica: Reginaldo Arakaki, Julio Arakaki, Renato Manzan de Andrade.

ROHDEN, Abrahão Bernardo. **Efeito da resistência e da dimensão máxima característica do agregado graúdo nas propriedades mecânicas do concreto de alto desempenho**. 2011. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

VIACELLI, Luana. **Estudo da viabilidade da utilização do agregado miúdo britado em concreto convencional**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

WANDERLEY, Giovanna S. M. **Desenvolvimento de aplicativo para relatório de sondagem SPT na plataforma Android**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2017.

WEIDMANN, Denis Fernandes. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland**. 2008. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

WU, Wenhao. **React Native vs Flutter, Cross-platforms mobile application frameworks**. 2018. Thesis. Metropolia University of Applied Science. Helsinque, 2018.