

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CAMPUS SERTÃO  
DELMIRO GOUVEIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ MICHAEL NUNES PEREIRA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO FORMATO DOS AGREGADOS  
GRAÚDOS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO**

Delmiro Gouveia

2024

JOSÉ MICHAEL NUNES PEREIRA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO FORMATO DOS AGREGADOS  
GRAÚDOS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. MSc. Alexandre Nascimento de Lima.

Delmiro Gouveia

2024

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca do Campus Sertão**  
**Sede Delmiro Gouveia**

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4/2209

P436a Pereira, José Michael Nunes

Análise da influência da variação do formato dos agregados graúdos nas propriedades físicas e mecânicas do concreto / José Michael Nunes Pereira. - 2024.

60 f. : il.

Orientação: Alexandre Nascimento de Lima.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2024.

1. Engenharia civil. 2. Construção civil. 3. Concreto. 4. Agregado graúdo. 5. Resistência dos materiais. I. Lima, Alexandre Nascimento de, orient. II. Título.

CDU: 624.012.44

JOSÉ MICHAEL NUNES PEREIRA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO FORMATO DOS  
AGREGADOS GRAÚDOS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS  
DO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 25 de novembro de 2024.

**Banca examinadora:**

Documento assinado digitalmente  
 **ALEXANDRE NASCIMENTO DE LIMA**  
Data: 28/11/2024 10:00:41-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. MSc. Alexandre Nascimento de Lima – Orientador – UFAL

Documento assinado digitalmente  
 **ODAIR BARBOSA DE MORAES**  
Data: 27/11/2024 09:41:52-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Odair Barbosa de Moraes – Examinador Interno – UFAL

Documento assinado digitalmente  
 **WENDELL JOSE SOARES DOS SANTOS**  
Data: 27/11/2024 19:40:48-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Wendell José Soares dos Santos – Examinador Interno – UFAL

## DEDICATÓRIA

*“Aos meus pais, Joelson e Adeilde, por nunca abdicarem de me ofertar uma educação de qualidade. Se cheguei até aqui, no mais alto nível da graduação, é porque vocês foram os meus pilares. Aos senhores, a minha gratidão para sempre.”*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por me dar forças nas horas mais difíceis. Por me orientar nos momentos em que estive confuso. Por me fazer enxergar as minhas qualidades e ajudar a corrigir os meus defeitos. Por ouvir os meus clamores e jamais me deixar sozinho. Tu fostes o meu guia nesta caminhada e continuarás sendo.

À minha amada mãe, pelo amor e cuidado durante toda a minha existência. Por ser a pessoa que iniciou o meu processo de alfabetização antes mesmo de entrar em uma escola. Pelos castigos, broncas e puxões de orelha quando eu me desviava dos estudos. Por ser exemplo de resiliência, perseverança e fé em Deus e Nossa Senhora.

Ao meu pai, por ser a maior e melhor referência de ser humano que eu poderia ter. Por mostrar que na vida nada é fácil, mas com dedicação e foco conseguimos vencer os desafios diários. Por investir em mim e nunca ter deixado faltar nada, mesmo com todas as dificuldades e lutas. Por estar realizando o seu sonho de ser um engenheiro civil através do seu filho. Essa conquista é nossa.

Ao meu grande amor, Isabelle, por estar sempre presente e me ajudar em todas as fases da graduação. Pelo companheirismo nos momentos de lutas e de conquistas. Por ser a minha parceira de curso, mesmo sendo de uma instituição diferente. Por me apoiar e me acompanhar nas realizações passadas e no compartilhamento de sonhos futuros. Por ser a minha fonte de inspiração e força de vontade nos desafios diários. Você foi determinante para que eu chegasse até aqui. Gratidão por tudo.

À minha irmã, que acompanhou de perto todo o processo de amadurecimento que tive durante a graduação. Pela nossa amizade que nunca imaginei que teríamos. Por ser o meu maior exemplo de força contra os nossos problemas de ansiedade. Sua mentalidade e inteligência são tão brilhantes quanto o seu futuro.

Aos meus familiares, pelo apoio e por acreditarem em mim. Aos meus colegas de faculdade, em especial Júlio, Diógenes e Jonatas, por serem parceiros do começo ao fim da graduação e por compartilharem comigo os momentos de tristeza e felicidade nesse processo.

Ao meu orientador, Alexandre, por me instruir da melhor forma possível para que eu pudesse desenvolver este trabalho. Por mostrar que o respeito de um professor não se adquire através do medo, mas sim sendo parceiro e compreensível com as dificuldades de cada um.

Aos meus professores, por todos os ensinamentos e conselhos ao longo da jornada acadêmica. À Universidade Federal de Alagoas, que através do processo de interiorização, permitiu com que eu e muitas outras pessoas pudessem sonhar em ter um nível superior e alcançar.

## RESUMO

O concreto é um material de uso e conhecimento mundial no setor construtivo. Suas propriedades no estado fresco e endurecido são os principais motivadores para que essa metodologia construtiva continue presente ao longo dos anos. Por esse motivo, estudar as características da mistura é de importância relevante, pois possibilita a maximização dos resultados de resistência e vida útil das estruturas. O presente trabalho teve como objetivo determinar a influência do formato dos agregados graúdos nas propriedades físicas e mecânicas do concreto. O desenvolvimento da pesquisa foi crucial para entender qual formato será o mais aceitável, visando maximizar as características do concreto estrutural. Os formatos escolhidos para desenvolvimento da pesquisa foram o cúbico e o lamelar, pois foram os formatos que apresentaram maior discrepância nos resultados de acordo com pesquisas presentes na literatura. A metodologia para obtenção dos resultados baseou-se na realização de ensaios físicos e mecânicos com corpos de prova de concreto que foram obtidos com agregados graúdos previamente separadas de acordo com seu formato. Os resultados do trabalho mostraram que o agregado ideal para a mistura do concreto é o cúbico, tendo em vista que, de acordo com os resultados obtidos, gerou uma melhor trabalhabilidade no estado fresco e resistência no estado endurecido.

**Palavras-chave:** concreto; agregado; resistência; formato; graúdo.

## ABSTRACT

Concrete is a widely used and well-understood material in the construction sector across the country. Its properties in both fresh and hardened states are key reasons this construction method has remained prevalent over the years. Therefore, studying the characteristics of the concrete mixture is of great importance, as it allows for maximizing the strength and durability of structures. This study aims to determine the influence of the shape of coarse aggregates on the physical and mechanical properties of concrete. The development of this research will be crucial for identifying the most suitable shape to enhance the characteristics of structural concrete. The shapes chosen for this study were cubic and lamellar, as they show the greatest discrepancy in results according to existing literature. The methodology to obtain results involved performing physical and mechanical tests on concrete specimens made with coarse aggregates previously sorted by shape. The results of this study show that the ideal aggregate for concrete mixtures is the cubic shape, as it positively impacts the test results, particularly in compressive strength for hardened concrete.

**Keywords:** concrete; aggregate; resistance; format; coarse aggregat.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo de inserção de concreto nos moldes.....	22
Figura 2: Execução do Slump Test.....	29
Figura 3: Amostras do ensaio de granulometria.....	32
Figura 4: Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria dos agregados miúdos.....	33
Figura 5: Amostra de areia sendo pesada.....	33
Figura 6: Areia e água sendo pesadas em conjunto.....	34
Figura 7: Amostra de areia no recipiente sendo pesada.....	35
Figura 8: Agregado cúbico.....	35
Figura 9: Agregado lamelar.....	36
Figura 10: Amostras de agregados graúdos para realização do ensaio de granulometria.....	37
Figura 11: Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria dos agregados graúdos.....	37
Figura 12: Amostras do agregado graúdo submersas em água.....	38
Figura 13: Determinação da massa da amostra com o recipiente.....	39
Figura 14: Superplastificante em processo de medição.....	40
Figura 15: Processo de mistura dos materiais na betoneira.....	40
Figura 16: Medição do slump do concreto.....	41
Figura 17: Moldagem dos corpos de prova.....	41
Figura 18: Processo de cura dos corpos de prova.....	42
Figura 19: Processo de cozimento dos corpos de prova.....	42
Figura 20: Pesagem da massa submersa do corpo de prova.....	43
Figura 21: Corpos de prova na estufa.....	43
Figura 22: Processo de retificação dos corpos de prova.....	44
Figura 23: Rompimento dos corpos de prova.....	44
Figura 24: Abatimento do concreto com agregado cúbico.....	50
Figura 25: Abatimento do concreto com agregado lamelar.....	51

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Distribuição granulométrica do agregado miúdo .....	46
Gráfico 2: Valores médios de acordo com o formato de agregado graúdo utilizado .....	53
Gráfico 3: Resistências médias do concreto de acordo com o formato do agregado graúdo ...	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resistências das rochas mais comuns utilizadas para fabricação de britas no Brasil .....	17
Tabela 2: Forma dos agregados graúdos .....	18
Tabela 3: Representação do tipo de agregado graúdo com respectivos usos .....	19
Tabela 4: Determinação do consumo de água em l/m <sup>3</sup> .....	26
Tabela 5: Determinação do volume do agregado seco .....	27
Tabela 6: Quantitativo de corpos de prova de acordo com o formato dos agregados graúdos	31
Tabela 7: Granulometria do agregado miúdo .....	45
Tabela 8: Características do agregado miúdo.....	46
Tabela 9: Granulometria do agregado graúdo cúbico .....	47
Tabela 10: Granulometria do agregado graúdo lamelar .....	47
Tabela 11: Características do agregado graúdo de acordo com o formato.....	48
Tabela 12: Características do cimento.....	48
Tabela 13: Resultados do slump test .....	50
Tabela 14: Resultados de absorção de água .....	52
Tabela 15: Resultados de índice de vazios .....	52
Tabela 16: Resultados de massa específica da amostra seca.....	53
Tabela 17: Resultados de resistência à compressão aos 7 dias.....	54
Tabela 18: Resultados de resistência à compressão aos 28 dias.....	55

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>15</b>
1.1.1	Objetivo geral .....	15
1.1.2	Objetivos específicos .....	15
<b>1.2</b>	<b>Justificativa .....</b>	<b>15</b>
<b>2.</b>	<b>REFERÊNCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Agregado graúdo .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Granulometria e índice de forma .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Massa específica e massa unitária dos agregados .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Resistência à compressão do concreto .....</b>	<b>21</b>
<b>2.5</b>	<b>Influência do agregado graúdo nas propriedades do concreto.....</b>	<b>22</b>
<b>2.6</b>	<b>Concreto estrutural .....</b>	<b>24</b>
<b>2.7</b>	<b>Dosagem do concreto – Método ABCP .....</b>	<b>25</b>
<b>2.8</b>	<b><i>Slump Test</i>.....</b>	<b>28</b>
<b>2.9</b>	<b>Índice de vazios, absorção de água e massa específica do concreto no estado endurecido .....</b>	<b>29</b>
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização dos materiais.....</b>	<b>32</b>
3.1.1	Agregados miúdos .....	32
3.1.2	Agregados Graúdos .....	35
3.1.3	Cimento.....	39
<b>3.2</b>	<b>Ensaio de caracterização do concreto .....</b>	<b>39</b>
3.2.1	Confeção do concreto e ensaios no estado fresco .....	39
3.2.2	Ensaio de índice de vazios, absorção de água e massa específica dos concretos no estado endurecido .....	42
3.2.3	Determinação da resistência à compressão.....	43
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Análise dos materiais utilizados e dosagem do concreto .....</b>	<b>45</b>
4.1.1	Classificação dos agregados miúdos .....	45
4.1.2	Classificação dos agregados graúdos.....	46
4.1.3	Classificação do cimento .....	48
4.1.4	Determinação do traço para o concreto .....	48
<b>4.2</b>	<b>Propriedades do concreto no estado fresco .....</b>	<b>49</b>
4.2.1	Determinação da consistência do concreto: <i>Slump Test</i> .....	50
<b>4.3</b>	<b>Propriedades do concreto no estado endurecido .....</b>	<b>51</b>
4.3.1	Resultados da absorção de água, índice de vazios e massa específica .....	51

4.3.2 Resultados de resistência à compressão.....	54
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>58</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto é um material amplamente discutido e usado na construção civil. Sua utilização no Brasil iniciou-se no século XX, com a chegada de firmas estrangeiras que se instalavam à época, sendo consolidado na década de 40 com a primeira aparição na Associação Brasileira de Normas Técnicas e regulado pelos Conselhos de Engenharia (Santos, 2008). A estabilização dessa tecnologia reflete tanto no cenário educacional, com as disciplinas obrigatórias que são lecionadas com base no entendimento do material, como no mercado de trabalho, através da variedade de edificações em concreto armado presentes no país.

As características físicas presentes no concreto são os principais motivadores para a sua utilização. O material em seu estado endurecido permite que elementos estruturais mantenham sua estabilidade de forma satisfatória, além de proporcionar uma longa vida útil. A resistência à compressão, sua principal propriedade, é discutido por especialistas da área profusamente, visando maximizar os resultados através da manipulação de sua composição. Sua mistura é constituída por cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água, além de aditivos plastificantes, aceleradores e retardadores de pega ou incorporadores de ar, que podem ser usados para atender a uma determinada solicitação (Bastos, 2019).

O estudo das características do concreto é de importância relevante, tendo em vista a sua sólida presença nas mais diversas áreas construtivas. Compreender a funcionalidade de cada material presente na mistura é determinante para os avanços nas pesquisas, pois pode-se identificar as características que dão ao composto as propriedades presentes. De acordo com Silva e Melo (2020), as qualidades do concreto fresco e endurecido, tais como trabalhabilidade, resistência à compressão, tração e módulo de elasticidade, são possíveis graças à presença dos agregados graúdo e miúdo.

O agregado graúdo é um material proveniente de rochas estáveis com diâmetro entre 4,8 mm e 152 mm. Ele é responsável por conferir resistência mecânica ao concreto, além de reduzir a retração e controlar a fissuração. O agregado miúdo é responsável por preencher os vazios entre os agregados graúdos e contribuir para a homogeneidade e a trabalhabilidade do concreto ou da argamassa. Além disso, o agregado miúdo ajuda a melhorar a aderência do cimento e pode influenciar a resistência e a durabilidade do material final (Mehta e Monteiro, 2008).

Para garantir a qualidade do concreto como um todo, é necessário que os materiais sejam caracterizados através de ensaios individuais. Os ensaios com agregados são regulados por normas técnicas que garantem a qualidade e a conformidade dos materiais usados na

construção civil. No Brasil, as principais normas estão contidas na ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) que descrevem os procedimentos e requisitos necessários para aprovação do material para o uso de acordo com a necessidade. De acordo com Ribeiro *et al.* (2013), caracterizar tecnologicamente um material de construção significa, de forma geral, compreender suas propriedades fundamentais, como sua natureza, origem e composição, assim como seu comportamento sob determinadas condições. É crucial analisar como o material reage a diferentes demandas e assegurar que ele cumpra os requisitos técnicos necessários para desempenhar as funções estabelecidas na formação de uma estrutura.

O presente trabalho tem como objetivo discutir e analisar, através de ensaios laboratoriais, a influência do formato do agregado graúdo nas propriedades físicas e mecânicas do concreto, com ênfase na resistência à compressão, principal característica do concreto no seu estado endurecido. O conhecimento adquirido servirá de contribuição no melhoramento da mistura, com ênfase na mistura no estado endurecido

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Avaliar a influência do formato do agregado graúdo nas características físicas e mecânicas do concreto.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Escolher um critério de separação dos agregados graúdos de acordo com o seu formato;
- Analisar as propriedades físicas dos agregados graúdos em função de seu formato;
- Verificar a influência do formato dos agregados graúdos previamente separados na resistência do concreto.

## **1.2 Justificativa**

O concreto é um material que possui muitas variações causadas pela sua composição. Os insumos usados alteram diretamente as características da microestrutura, que possui alta

complexidade e heterogeneidade (Mehta e Monteiro, 2008). Dessa forma, entende-se a importância de se analisar a influência dos agregados, tendo em vista que ocupam maior volume na mistura.

A variação no formato dos agregados graúdos e a disposição dos grãos na mistura pode impactar na resistência do concreto em seu estado endurecido. Logo, o foco principal do desenvolvimento do trabalho foi nas características relacionadas à resistência à compressão, analisando o desempenho do concreto com diferentes formas de agregados graúdos de mesma origem.

A análise do agregado graúdo presente no concreto está diretamente ligada à qualidade do material, além de proporcionar um melhor custo-benefício. Silva e Geyer (2018) fez uma divisão dos agregados graúdos em cúbico, alongado, lamelar e alongado-lamelar para confeccionar corpos de prova de concreto, tendo como resultado que a forma do agregado influencia nas características da mistura no seu estado endurecido. Logo, torna-se de grande valia analisar o comportamento da mistura com diferentes formatos de agregados graúdo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico serão discutidas as características dos agregados graúdos e a sua influência nas propriedades do concreto, além de informações relevantes sobre a mistura, sua resistência no estado endurecido e a determinação do traço ideal de acordo com a resistência estabelecida.

### 2.1 Agregado graúdo

O conceito de agregado na construção é um conjunto de partículas heterogêneas que é usado na produção de concretos e argamassas, podendo ser definido pela origem, peso específico e dimensão. O agregado graúdo, componente de maior dimensão, é obtido em jazidas de rochas, através do processo de fragmentação. Após isso, ocorre a separação dos materiais, regido pelo ensaio de granulometria (Bauer, 2013).

Os agregados graúdos são derivados de uma mistura de rochas. No Brasil, os tipos mais comuns são: granito, basalto, gnaiss e calcário. Além disso, cada sólido possui uma resistência à tração e compressão, fator que contribui positivamente para que o concreto resista às solicitações de carregamento no seu estado endurecido (Bauer, 2013). Na Tabela 1, pode-se observar os tipos de rochas e suas respectivas resistências à compressão e tração.

Tabela 1: Resistências das rochas mais comuns utilizadas para fabricação de britas no Brasil

<b>Rocha</b>	<b>Resistência à compressão (MPa)</b>	<b>Resistência à tração (MPa)</b>
Granito	90	10
Basalto	140-180	15
Gnaiss	90-110	Não definido
Calcário	160	8

Fonte: Bauer (2013)

Estudos realizados permitem estabelecer outros critérios de diferenciação dos agregados graúdos. Silva e Geyer (2018) estabeleceu que as dimensões da pedra britada podem ser usadas para considerar o agregado como cúbico, alongado, lamelar e alongado-lamelar. A diferenciação entre eles obedece uma relação entre o comprimento (c), a largura (l) e a espessura (e) do material britado. A Tabela 2 apresenta as classificações possíveis para o agregado graúdo com seus respectivos critérios de medida.

Tabela 2: Forma dos agregados graúdos

<b>Forma</b>	<b>Razão</b>	<b>Índice</b>
Cúbico	$c/e <$ $l/e <$	1,8
Alongado	$c/e >$ $l/e <$	1,8
Lamelar	$c/e >$ $l/e >$	2,4
Alongado Lamelar	$c/e >$ $l/e >$	3

Fonte: Geyer (2018)

As características presentes nos agregados graúdos são significantes para o concreto. Mehta e Monteiro (2008) enfatizam que o papel do agregado graúdo no concreto vai além de simplesmente ocupar espaço. Eles apontam que esse componente pode modificar a microestrutura da matriz cimentícia, impactando em fatores essenciais como a porosidade, a permeabilidade e a resistência à ação de agentes nocivos. Os autores salientam que o uso de agregados com alta resistência e baixa capacidade de absorção de água pode melhorar de forma significativa o desempenho do concreto, especialmente em condições adversas, como em ciclos de congelamento e descongelamento, além de diminuir a propensão a fissuras resultantes da retração plástica e térmica.

A seleção criteriosa de agregados graúdos de alta qualidade pode resultar em concreto mais resistente ao desgaste e com maior durabilidade, especialmente em pavimentos e outras estruturas sujeitas a alto tráfego ou exposição a ciclos de abrasão. Agregados com características físicas adequadas, como baixa porosidade e alta resistência à fragmentação, não apenas melhoram a capacidade do concreto de resistir a cargas cíclicas, mas também são fundamentais para manter a integridade estrutural em condições extremas, como variações térmicas intensas e ambientes expostos à ação de produtos químicos agressivos (Kosmatka e Wilson, 2016).

## 2.2 Granulometria e índice de forma

O ensaio de granulometria tem como objetivo estabelecer critérios dimensionais de separação dos agregados graúdos. De acordo com a norma NBR 7211 (ABNT, 2022), os agregados graúdos devem ser constituídos de forma que passem pela peneira com abertura de malha de 75 mm e fiquem retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR 17054 (ABNT, 2022).

A NBR NM 248 (ABNT, 2001), substituída pela NBR 17054 (2022), resulta em uma subdivisão granulométrica que auxilia para determinados fins construtivos (Luz e Almeida, 2012). A tabela a seguir mostra como tal divisão é realizada.

Tabela 3: Representação do tipo de agregado graúdo com respectivos usos

<b>Produtos</b>	<b>Usos</b>
Areia artificial e areia natural (4,8 a 0,074 mm)	Assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, emboço, podendo entrar na composição de concreto e asfalto.
Pó de pedra (< 4,8 mm)	Confecção de pavimentação asfáltica, lajotas, bloquetes intertravados, lajes, jateamento de túneis e acabamento em geral.
Brita “0” ou pedrisco (4,8 a 9,5 mm)	Massa asfáltica.
Brita 1 (4,8 a 12,5 mm)	Intensivamente na fabricação de concreto, com inúmeras aplicações, como na construção de pontes, edificações e grandes lajes.
Brita 2 (12,5 a 25,0 mm)	Fabricação de concreto que exija maior resistência, principalmente em formas pesadas.
Brita 3 (25 a 50 mm)	Também denominada pedra de lastro utilizada nas ferrovias.
Brita 4 (50 a 76 mm)	Produto destinado a obras de drenagem, como drenos sépticos e fossas.
Rachão, pedra de mão ou pedra marroada	Fabricação de gabiões <sup>3</sup> , muros de contenção e bases.
Brita graduada	Em base e sub-base, pisos, pátios, galpões e estradas.
Bica corrida (<25mm)	Massa asfáltica, aterro.

Fonte: Luz e Almeida (2012)

O índice de forma do agregado graúdo é definido como a relação entre comprimento médio e a espessura média dos grãos maiores que 9,5 mm, de acordo com a NBR 7809 (ABNT, 2019). Além disso, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2022), o resultado do índice de forma dos agregados não pode ser maior que 3. A determinação serve para garantir a maior uniformidade possível do material.

O ensaio do índice de forma, normatizado pela NBR 7809 (ABNT, 2019), consiste inicialmente em separar o agregado graúdo em diferentes frações granulométricas, por meio de peneiras padrão. Isso é feito com a peneiração manual ou mecânica para classificar o agregado de acordo com os tamanhos desejados. O índice de forma de cada fração granulométrica é obtido pela média da relação entre largura e espessura, medida com o auxílio de um paquímetro.

### 2.3 Massa específica e massa unitária dos agregados

De acordo com a norma NBR 16917 (ABNT, 2021), a massa específica é a razão entre a massa do agregado seco e o seu volume, desconsiderando os poros presentes na amostra. O ensaio envolve a medição da massa e do volume ocupado pelas partículas do agregado graúdo e pode ser realizado nas condições de massa específica aparente, seca ou saturada com superfície seca.

No caso dos agregados miúdos, a norma que estabelece os padrões e métodos para determinação da massa específica é a NBR 16916 (ABNT, 2021). O ensaio é fundamental para determinar a densidade dos grãos, sem considerar os vazios entre eles. Essa propriedade é importante para o cálculo preciso das misturas de concreto, pois permite ajustar a proporção dos materiais para garantir a resistência e a durabilidade das estruturas. O ensaio, realizado com o uso de frascos volumétricos ou picnômetros, é amplamente utilizado em laboratórios de controle de qualidade, sendo essencial na caracterização de agregados miúdos (Medeiros, 2018).

O ensaio de massa específica em agregados graúdos é essencial para determinar a densidade real das partículas, sem considerar os vazios entre os grãos. Esse dado é importante para calcular a proporção correta de agregados na mistura de concreto, impactando diretamente na resistência, durabilidade e economia da obra. O ensaio, realizado com o uso de balanças hidrostáticas e procedimentos padronizados, permite ajustar a dosagem dos materiais de acordo com as características do agregado (Ferreira, 2019).

O ensaio de massa unitária dos agregados, conforme a NBR 16972 (ABNT, 2021), é utilizado para determinar a massa de agregados por unidade de volume, incluindo tanto agregados miúdos quanto graúdos. A massa unitária representa a densidade aparente do material, considerando os vazios entre os grãos. Esse ensaio é crucial para o cálculo das quantidades dos materiais a serem utilizados em concretos e argamassas, influenciando diretamente a dosagem e a qualidade do produto final.

Segundo Neville (2016), a massa unitária de agregados influencia tanto a trabalhabilidade quanto a resistência do concreto, sendo importante para o controle da mistura, especialmente na construção de estruturas de grande porte.

## 2.4 Resistência à compressão do concreto

Uma das principais características do concreto é a resistência à compressão. A resistência à compressão é um dos principais parâmetros que define a qualidade do concreto. Depende de vários fatores, incluindo a relação água/cimento, a idade do concreto, e as características dos agregados utilizados (Neville, 2016). O American Concrete Institute (ACI 318, 2019), em seu código de normas, estabelece que a resistência à compressão é uma das características mais importantes do concreto estrutural e que testes de resistência são frequentemente usados para garantir a conformidade com os requisitos de projeto.

Neville (2016) discute que a resistência à compressão é amplamente considerada a propriedade mais relevante do concreto, pois é um dos principais critérios de desempenho em praticamente todos os projetos estruturais. Além disso, a resistência à compressão está diretamente associada à capacidade do concreto de resistir a forças axiais, o que torna esse parâmetro uma medida central na avaliação da qualidade do material. O autor ressalta que fatores como a relação água/cimento, o tipo de cimento utilizado, as condições de cura e as características dos agregados desempenham papéis cruciais no desenvolvimento dessa propriedade.

O ensaio de resistência à compressão do concreto é um dos testes mais importantes e amplamente utilizados para avaliar a qualidade e a capacidade de carga do material. Ele consiste em submeter corpos de prova cilíndricos, normalmente com dimensões de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, a uma carga compressiva crescente até a ruptura. O objetivo é determinar a tensão máxima que o concreto pode suportar sem falhar, fornecendo uma medida direta da resistência do material. É prescrito pela NBR 5739 (ABNT, 2018). A Figura 1 mostra a moldagem dos corpos de prova de concreto.

Figura 1: Processo de inserção de concreto nos moldes



Fonte: Silva *et al.* (2020)

De acordo com Coutinho (2008), o ensaio de compressão é essencial para o controle da produção do concreto, permitindo que engenheiros avaliem a resistência potencial do material e a qualidade da execução em campo. Além disso, o teste garante que o concreto atenda aos requisitos de segurança e desempenho ao longo da vida útil da estrutura.

O ensaio de resistência à compressão é padronizado pela norma brasileira NBR 5739 (ABNT, 2018), que estabelece os procedimentos necessários para a moldagem, cura, preparação e execução do teste, garantindo resultados confiáveis e consistentes. A norma especifica que os corpos de prova devem ser submetidos a uma carga axial uniformemente distribuída a uma taxa controlada até a falha. Os resultados desse ensaio são fundamentais para verificar a conformidade do concreto com as especificações do projeto estrutural, além de servir como parâmetro para a avaliação de sua durabilidade e desempenho.

## **2.5 Influência do agregado graúdo nas propriedades do concreto**

O concreto possui características advindas da sua constituição física. A presença de cimento e agregados contribui, em conjunto, para que o material atenda às necessidades construtivas. Logo, pode-se afirmar que o agregado graúdo é parte fundamental do processo de resistência da mistura no estado endurecido.

Porém, a resistência do material britado não é a propriedade determinante para contribuir com a resistência do concreto. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a resistência do agregado graúdo é comumente desconsiderada, tendo em vista que a ruptura do concreto ocorre em outras fases. Entretanto, os agregados influenciam na resistência do

concreto através de sua forma, textura superficial e granulometria. Os fatores citados podem contribuir com a relação água/cimento e com as características da zona de transição na interface.

Diversos estudos foram realizados para identificar as propriedades presentes no agregado graúdo. Silva e Geyer (2018) observou que o formato dos agregados graúdos cúbicos e lamelares podem contribuir com a resistência à compressão e tração, respectivamente. Silva *et al.* (2018) identificaram que o formato cúbico do agregado graúdo é ideal, pois permite um empacotamento considerável juntamente com o agregado miúdo, diminuindo o número de vazios e permitindo uma maior resistência.

A forma e a textura superficial do agregado graúdo influenciam na relação entre as resistências à tração na flexão e na resistência à compressão, além de contribuir com o bloqueio de fissuras do concreto em seu estado endurecido (Neville, 2016).

Kosmatka e Wilson (2016) puderam identificar que os agregados graúdos têm um efeito significativo sobre a resistência e o desempenho do concreto em diversas condições ambientais e de carga, além da qualidade e granulometria dos agregados serem fatores que podem impactar a trabalhabilidade, a permeabilidade e a resistência do concreto, bem como sua resposta a variações de temperatura.

Os agregados graúdos desempenham um papel crucial na determinação das propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto. A fissuração do concreto está diretamente relacionada à granulometria, forma e composição dos agregados. Além disso, os agregados podem influenciar a resistência ao desgaste e a estabilidade dimensional, especialmente em ambientes onde o concreto está sujeito a variações de temperatura e umidade. Escolher agregados adequados é fundamental para otimizar o desempenho do concreto em diversas aplicações (Mindess *et al.*, 2003).

Estudos recentes mostram que agregados graúdos com o menor índice de forma possuem uma maior tendência de proporcionar ao concreto uma melhor resistência à compressão. Estudos realizados por Silva e Geyer (2018) mostram que britas na forma cúbica e alongada apresentaram maiores resistências nos seus corpos de prova. Em contrapartida, concretos com agregados lamelares e alongado lamelar (maior índice de forma) obtiveram uma maior resistência à tração.

O agregado graúdo no formato cúbico apresenta um melhor desempenho se comparado aos demais, pois a sua forma e a boa distribuição granulométrica permite um bom empacotamento dos agregados graúdos e miúdos, eliminando vazios na microestrutura do concreto e melhorando as propriedades tanto do concreto fresco quanto do concreto

endurecido (Silva *et al.*, 2020).

## 2.6 Concreto estrutural

De acordo com a NBR 6118 (2023), define-se como concreto estrutural o material destinado para fins estruturais como vigas, pilares, lajes e fundações, com o objetivo de vencer os esforços internos e externos atuantes. Além disso, concretos estruturais devem apresentar resistência mínima de 20 MPa.

O concreto estrutural é uma mistura de cimento, agregados e água, cuja qualidade depende não apenas da dosagem correta dos materiais, mas também do controle adequado do processo de cura. A resistência à tração relativamente baixa do concreto estrutural é normalmente compensada pela introdução de armaduras de aço, que conferem à estrutura a capacidade de suportar cargas dinâmicas e de flexão (Mehta e Monteiro, 2008).

Conforme discutido por Callister e Rethwisch (2015), o concreto é fundamental na engenharia civil devido à sua alta disponibilidade e ao fato de poder ser fabricado a partir de materiais locais. Sua capacidade de suportar cargas pesadas e sua durabilidade fazem com que ele seja amplamente utilizado em obras de infraestrutura, como aeroportos, sistemas de esgoto e prédios comerciais. A adição de reforço, como aço, torna o concreto ainda mais resistente, permitindo a construção de arranha-céus e pontes suspensas.

O uso do concreto estrutural na construção civil é amplamente adotado devido à sua versatilidade e resistência. Conforme Neville (2016), o concreto permite a construção de edificações com características variadas, desde pequenas residências até grandes edifícios, graças à sua adaptabilidade a diferentes formas e tamanhos. A durabilidade também é um fator destacado por Mehta e Monteiro (2008), que mencionam a capacidade do concreto de suportar esforços diversos ao longo do tempo, tornando-o um material essencial em estruturas de longa vida útil. Além disso, sua compatibilidade com outros materiais, como o aço, amplia suas possibilidades de aplicação, especialmente em estruturas de grande porte.

Kosmatka e Wilson (2016) destacam que o concreto estrutural é projetado para oferecer não só resistência, mas também durabilidade em condições variadas de exposição. Características como trabalhabilidade, baixa permeabilidade e alta densidade são essenciais para assegurar a longevidade das estruturas. Esses autores enfatizam a importância da resistência ao fogo e à abrasão como atributos cruciais para a confiabilidade das estruturas de concreto em aplicações específicas, como túneis e edifícios de grande altura.

A grande funcionalidade do concreto estrutural está presente na resistência à

compressão, mensurada através de ensaios destrutivos. A resistência tem contribuição fundamental na qualidade do concreto, visto que existe uma relação direta com a pasta do cimento hidratada (Neville, 2016).

Outra característica do concreto é a sua resistência à tração, que possui menores resultados se comparados à resistência à compressão. De acordo com Neville (2016), a resistência à tração do concreto é significativamente inferior à sua resistência à compressão, representando geralmente cerca de 10% dessa última. Devido a essa baixa capacidade de resistir a esforços de tração, é comum o uso de armaduras de aço em concreto armado, que compensam essa limitação e permitem que a estrutura suporte esforços de flexão e tração de maneira eficiente.

Conhecer a resistência à tração permite estimar a carga para a qual ocorre a fissuração e, desse modo, prever a durabilidade do concreto (Farias, 2018). A NBR 7222 (ABNT, 2011) estabelece os critérios e os métodos do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

## **2.7 Dosagem do concreto – Método ABCP**

A dosagem do concreto é definido como o procedimento necessário para estabelecer a melhor proporção entre os materiais constituintes da mistura. De acordo com Neville (2016), a dosagem deve levar em consideração a escolha dos materiais adequados e suas quantidades, com o intuito de obter um concreto com trabalhabilidade, resistência, durabilidade e consistência.

O processo de dosagem é fundamental para ajustar as propriedades desejadas do concreto, como fluidez, resistência e durabilidade. As pequenas variações na quantidade de água ou cimento podem afetar significativamente o desempenho do concreto. Por isso, é importante adotar métodos rigorosos para calcular e testar as proporções ideais para diferentes tipos de projeto (Domone e Illston, 2010).

O método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) consiste em utilizar características como módulo de finura, diâmetro máximo e massas específicas real e unitária de cada material que será empregado na produção do concreto. Após isso, determina-se o consumo dos materiais constituintes da mistura através das equações do método.

O método ABCP é conhecido por sua simplicidade e praticidade, sendo muito empregado em obras de pequeno e médio porte. Ele parte da definição da resistência característica à compressão e da relação água/cimento (a/c) adequada, e, a partir disso, ajusta as proporções dos materiais para garantir a qualidade do concreto. Esse método também leva

em consideração o tipo de cimento e os agregados disponíveis localmente, facilitando sua aplicação em diferentes regiões (Casculo, 2017).

Andrade e Dal Molin (2011) afirmam que o método de dosagem ABCP é um dos mais utilizados para a produção de concreto no Brasil, devido à sua confiabilidade e à simplicidade na aplicação. Eles destacam que a metodologia envolve o cálculo das quantidades de cimento, água, agregados miúdos e graúdos com base na resistência desejada e nas condições da obra, assegurando que o concreto atenda aos requisitos de resistência e durabilidade.

Para realização do cálculo do traço pelo método ABCP, inicialmente deve-se determinar as características do cimento. Massa específica, tipo de cimento e resistência aos 28 dias são os dados necessários. Nos agregados, são efetuadas análises granulométricas, nas quais se determina o módulo de finura do agregado miúdo e o tamanho máximo do agregado graúdo, além de suas respectivas massas específicas e a massa do graúdo compactado (Ambrozewicz, 2012).

Para determinar o fator  $a/c$ , deve-se consultar a curva de Abrams, que relaciona a resistência requerida do concreto aos 28 dias com a resistência normal do cimento. Após isso, o consumo de água é determinado através da tabela que relaciona o diâmetro máximo do agregado graúdo com o abatimento do concreto (Ambrozewicz, 2012). A Tabela 4 mostra como determinar o consumo de água do traço.

Tabela 4: Determinação do consumo de água em  $l/m^3$

Abatimento (mm)	D <sub>máx</sub> do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Adaptado de Ambrozewicz (2012)

Com o valor do consumo de água, o consumo de cimento é determinado pela Equação

1.

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

$C_c$  - Consumo de cimento ( $kg/m^3$ );

$C_a$  - Consumo de água ( $l/m^3$ );

$a/c$  - fator água-cimento.

Para determinar o consumo de agregado graúdo, deve-se utilizar a Equação 2, além de utilizar a Tabela 5 de determinação do volume de agregado graúdo seco

$$Cb = Vc \cdot Mc \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$Cb$  – Consumo de agregado graúdo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$Vc$  – Volume do agregado seco ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ );

$Mc$  – Massa unitária compactada do agregado graúdo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Tabela 5: Determinação do volume do agregado seco

Módulo de finura	D <sub>máx</sub> do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
1,8	0,645	0,77	0,795	0,82	0,845
2	0,625	0,75	0,775	0,8	0,825
2,2	0,605	0,73	0,755	0,78	0,805
2,4	0,585	0,71	0,735	0,76	0,785
2,6	0,565	0,69	0,715	0,74	0,765
2,8	0,545	0,67	0,695	0,72	0,745
3	0,525	0,65	0,675	0,7	0,725
3,2	0,505	0,63	0,655	0,68	0,705
3,4	0,485	0,61	0,635	0,66	0,685
3,6	0,465	0,59	0,615	0,64	0,665

Fonte: Adaptado de Ambrozewicz (2012)

O consumo de agregado miúdo a ser utilizado é calculado através da Equação 3.

$$Cm = \left[ 1 - \left( \frac{Cc}{MEc} + \frac{Cb}{MEb} + \frac{Ca}{MEa} \right) \right] \cdot MEm \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

$Cm$  – Consumo de agregado miúdo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$Cc$  – Consumo de cimento ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$Cb$  – Consumo de brita ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$Ca$  – Consumo de água ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$MEc$  – Massa específica do cimento ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$MEb$  – Massa específica do agregado graúdo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$MEa$  – Massa específica da água ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$MEm$  – Massa específica do agregado miúdo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Após a obtenção dos resultados calculados, o traço unitário é determinado através da razão entre o consumo de cimento/consumo de cimento, consumo de agregado miúdo/consumo de cimento, consumo de agregado graúdo/consumo de cimento e consumo de água/consumo de cimento.

## 2.8 *Slump Test*

O *Slump Test* (abatimento do tronco de cone) é um ensaio utilizado para medir a consistência e a trabalhabilidade do concreto fresco. Ele é amplamente aplicado na construção civil para verificar se a mistura de concreto atende aos requisitos de plasticidade e fluidez desejados para o projeto. O teste é simples, rápido e fornece uma indicação direta da coesão do concreto, facilitando ajustes na mistura antes de sua aplicação em obra (Mehta e Monteiro, 2008).

O *Slump Test* é uma ferramenta crucial no controle da trabalhabilidade do concreto fresco, ajudando a garantir que a mistura tenha a consistência adequada para ser aplicada em obra sem comprometer a qualidade final da estrutura (Neves, 2018).

De acordo com Oliveira (2021), o uso regular do *Slump Test* em canteiros de obras possibilita ajustes imediatos na dosagem de água, garantindo que o concreto atenda às especificações técnicas, aumentando a segurança e a eficiência do processo construtivo.

Segundo Mendes (2020), além de ser um método de controle de qualidade, o *Slump Test* também é utilizado como um indicador de possíveis desvios na dosagem dos componentes do concreto, especialmente no que se refere à quantidade de água. O ajuste correto da água de amassamento é essencial para garantir que o concreto tenha a trabalhabilidade desejada sem comprometer a resistência final, sendo que uma quantidade excessiva de água pode causar segregação, e uma quantidade insuficiente pode dificultar o adensamento e a homogeneidade do material.

Carolina *et al.* (2014) afirmam que a realização do ensaio de abatimento no tronco de cone é vital para garantir que a mistura de concreto seja adequada para a aplicação específica, proporcionando uma medição objetiva da consistência e da fluidez do material. Eles destacam que, ao monitorar o abatimento, os engenheiros podem ajustar a composição da mistura para otimizar a colocação e a compactação, prevenindo problemas como segregação e falta de homogeneidade. Além disso, os autores ressaltam que um controle rigoroso do *slump test* pode contribuir significativamente para a durabilidade e a resistência do concreto, assegurando que

as propriedades do material atendam às exigências do projeto e às condições ambientais a que a estrutura será exposta.

A NBR 16889 (ABNT, 2020) é a norma que regula o procedimento para determinar a consistência do concreto fresco por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone. O ensaio serve para verificar a trabalhabilidade do concreto, que é a capacidade de ser misturado, transportado e lançado de maneira adequada. O teste utiliza um molde de metal com formato de tronco de cone (cone de Abrams), com uma base maior (20 cm de diâmetro), uma base menor (10 cm de diâmetro) e uma altura de 30 cm. O molde é preenchido com três camadas de concreto fresco, cada uma compactada com 25 golpes de uma haste de aço. Após o preenchimento, o molde é cuidadosamente levantado na vertical, permitindo que o concreto se espalhe. A diferença entre a altura original do concreto e a altura após o assentamento é chamada de *slump*. Essa medida é feita com uma régua e determina o grau de plasticidade do concreto. A Figura 2 apresenta o procedimento de medição.

Figura 2: Execução do *Slump* Test



Fonte: Silva *et al.* (2020)

## 2.9 Índice de vazios, absorção de água e massa específica do concreto no estado endurecido

Os métodos laboratoriais usados para caracterizar o concreto e os materiais que o compõem são de importância relevante, pois garantem o controle de qualidade e melhoramento da vida útil das construções. No estado endurecido, o concreto possui algumas atribuições que precisam ser conhecidas e quantificadas, como o índice de vazios, a absorção de água e a massa específica.

De acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2005), o índice de vazios é determinado por meio da relação entre o volume de vazios e o volume total da amostra de concreto endurecido. Este

parâmetro está diretamente ligado à permeabilidade e durabilidade do concreto, uma vez que maiores índices de vazios tendem a aumentar a suscetibilidade à penetração de agentes agressivos, o que pode comprometer a durabilidade da estrutura (Mehta & Monteiro, 2008).

A absorção de água é uma propriedade que reflete a capacidade do concreto endurecido de absorver água quando imerso. Essa característica é fundamental para avaliar a porosidade e, conseqüentemente, a durabilidade do concreto. O procedimento de determinação da absorção de água envolve a saturação da amostra em água por um período específico, seguida da pesagem para verificar a quantidade de água absorvida (Neville, 2016).

A massa específica do concreto no estado endurecido é determinada pela razão entre a massa da amostra seca e seu volume total. Esse parâmetro é essencial para calcular a capacidade de carga do concreto e estimar a resistência mecânica. A densidade também está correlacionada com a porosidade do concreto, uma vez que concretos mais porosos tendem a apresentar menor massa específica (Helene, 2011).

O ensaio de absorção de água e índice de vazios, preconizado pela NBR 9778 (ABNT, 2005) consiste em colcar os corpos de prova imersos em água por 72 hs, submetê-los ao processo de cozimento em água fervente durante 5 horas. Em seguida, a amostra é pesada para determinar a massa saturada ( $M_{sat}$ ), com secagem superficial. Em seguida, a amostra é suspensa em água para a medição da massa submersa ( $M_{sub}$ ). Com as duas massas medidas, os corpos de prova são inseridos na estufa por um período de 72 h e em seguida é realizada a pesagem individual dos moldes.

A determinação da absorção de água é dada pela Equação 4.

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \cdot 100 \quad (\text{Equação 4})$$

O índice de vazios é encontrado através da Equação 5.

$$I = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_{sub}} \cdot 100 \quad (\text{Equação 5})$$

A massa específica da amostra seca é determinada pela Equação 6.

$$\rho = \frac{M_s}{M_{sat} - M_{sub}} \quad (\text{Equação 6})$$

### 3. METODOLOGIA

A metodologia consistiu inicialmente na separação de uma amostra de agregado graúdo em 2 formatos diferentes, além de caracterizar algumas propriedades físicas dos 2 formatos. Com base nas propriedades de um dos formatos do agregado graúdo, do cimento e do agregado miúdo, determinar uma única dosagem de um concreto para 25 MPa, moldar corpos de prova dos 2 concretos e determinar as características físicas e mecânicas (índice de vazios, absorção, massa específica no estado endurecido e resistência à compressão). A análise dos resultados indicará a influência do formato do agregado graúdo nos parâmetros estudados.

Os formatos trabalhados foram o cúbico e o lamelar. Cada formato teve 10 corpos de prova que foram rompidos com 7 e 28 dias, respectivamente, através do ensaio de resistência à compressão, com 5 CP's para cada idade. A Tabela 6 descreve as quantidades de acordo com cada formato, além do ensaio a ser realizado:

Tabela 6: Quantitativo de corpos de prova de acordo com o formato dos agregados graúdos

<b>Formato do agregado graúdo</b>	<b>Tipo de ensaio</b>	<b>Quantidade de CPs</b>
Cúbico	Compressão	10
Lamelar	Compressão	10
<b>TOTAL:</b>		<b>20</b>

Fonte: Autor (2024)

Os formatos descritos são baseados no estudo realizado por Silva (2018), que classificou os agregados graúdos de acordo com uma relação entre o comprimento (c), largura (l) e espessura (e).

A dosagem do concreto para confecção dos corpos de prova foi realizada através do método ABCP, com medição dos materiais em massa, resistência e abatimento requeridos de 25 MPa e  $12 \pm 2$  cm, respectivamente.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com a norma NBR 5738 (ABNT, 2018), que descreve os materiais e métodos a serem utilizados para confecção e rompimento dos corpos de prova. Todos foram produzidos no laboratório de materiais de construção civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão, de acordo com o que é descrito na norma.

### 3.1 Caracterização dos materiais

Neste tópico serão discutidos os materiais que foram utilizados para confecção dos corpos de prova, além dos ensaios que foram realizados para identificar as características presentes.

#### 3.1.1 Agregados miúdos

Os agregados miúdos foram provenientes de uma obra localizada na cidade de Delmiro Gouveia/AL, onde foi submetido aos ensaios de granulometria e massa específica, regidos pelas normas NBR 7211 (ABNT, 2022) e NBR 16916 (ABNT, 2021), respectivamente.

No ensaio de granulometria, duas amostras foram utilizadas para realizar o procedimento. Após passarem pela estufa durante o período de 24 h, as amostras foram despejadas, separadamente, nas peneiras 9,5 mm, 6,3 mm, 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 600  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$  e 150  $\mu\text{m}$ . A Figura 3 mostra as amostras que foram separadas para serem colocadas na estufa.

Figura 3: Amostras do ensaio de granulometria



Fonte: Autor (2024)

A Figura 4 apresenta as peneiras que foram utilizadas para realização do ensaio de granulometria.

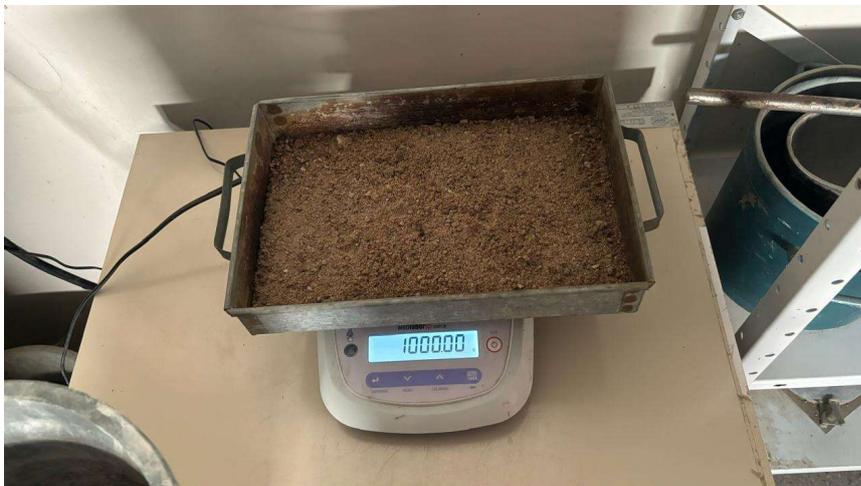
Figura 4: Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria dos agregados miúdos



Fonte: Autor (2024)

O ensaio de massa específica da areia foi realizado com a ajuda de um frasco Erlenmeyer, uma balança de precisão e duas amostras contendo 1 kg de areia que foi seca em estufa.

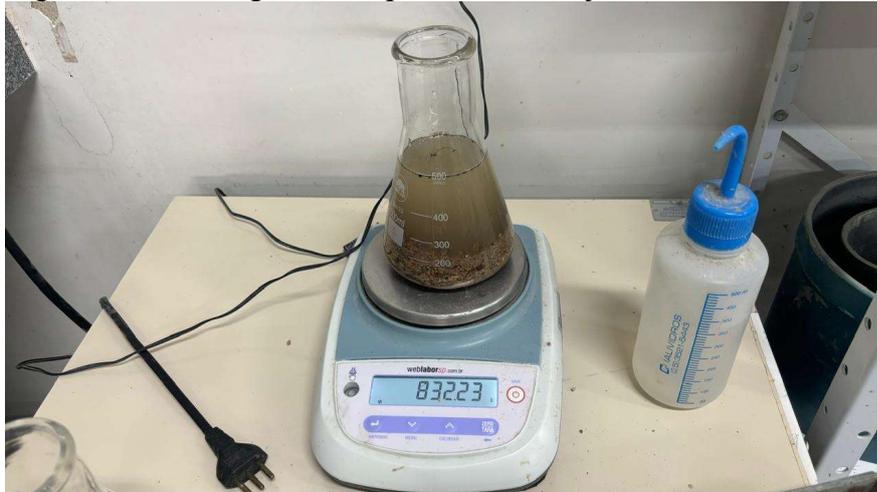
Figura 5: Amostra de areia sendo pesada



Fonte: Autor (2024)

O frasco volumétrico é preenchido com 500 g da areia e pesado para determinação da massa da amostra + frasco ( $M_c$ ). Após isso, deve-se preencher o frasco com água até a marca de 500 mL, eliminando os vazios e preenchendo sempre que necessário. A Figura 6 mostra o processo de pesagem da areia com a água adicionada ( $M_d$ ).

Figura 6: Areia e água sendo pesadas em conjunto



Fonte: Autor (2024)

A massa específica da amostra pode ser determinada através da equação 7.

$$\text{Massa Específica} = \frac{\text{Massa da amostra seca em estufa (g)}}{\text{Volume do frasco (cm}^3\text{)} - \text{Volu de água adicionada (cm}^3\text{)}} \quad (\text{Equação 7})$$

O volume de água adicionada pode ser determinado através da Equação 8.

$$\text{Volume de água} = \frac{(M_d - M_c) (g)}{\text{Densidade da água (g/cm}^3\text{)}} \quad (\text{Equação 8})$$

Para determinar a densidade aparente do agregado miúdo, foi usado um recipiente cilíndrico de massa e volume conhecidos, uma balança de precisão e uma concha. A areia foi colocada dentro do recipiente em uma única camada para posterior medida da massa areia + recipiente. A Figura 7 apresenta o processo de pesagem do material com o recipiente.

Após isso, a densidade aparente do material foi identificada através da Equação 9.

$$\text{Massa Unitária} = \frac{\text{Massa da areia (g)}}{\text{Volume do Recipiente (cm}^3\text{)}} \quad (\text{Equação 9})$$

Figura 7: Amostra de areia no recipiente sendo pesada



Fonte: Autor (2024)

### 3.1.2 Agregados Graúdos

Os agregados graúdos utilizados para o desenvolvimento do estudo foram coletados em uma pedreira localizada na zona rural de Delmiro Gouveia-AL. O material é composto por brita 1 e separados de acordo com o formato preestabelecido na pesquisa (cúbico e lamelar). Vale ressaltar que os formatos foram selecionados de acordo com o critério utilizado por Silva e Geyer (2018), com o auxílio de um paquímetro. A Figura 8 mostra a aparência visual do agregado em formato cúbico.

Figura 8: Agregado cúbico



Fonte: Autor (2024)

A Figura 9 apresenta o agregado graúdo em formato lamelar.

Figura 9: Agregado lamelar



Fonte: Autor (2024)

Com a separação dos agregados realizada, fez-se necessário determinar as características de cada formato através dos ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária.

Para realizar o ensaio de granulometria, regido pela ABNT NBR 7211 (2022), foram utilizadas as peneiras de 50 mm, 32 mm, 25 mm, 19 mm, 16 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 6,3 mm e 4,8 mm. Após o período de 24 h na estufa, duas amostras previamente separadas foram lançadas nas peneiras, separadamente, e cada quantidade retida foi pesada. A Figura 10 mostra os agregados que foram utilizados para realização do ensaio.

Figura 10: Amostras de agregados graúdos para realização do ensaio de granulometria



Fonte: Autor (2024)

A Figura 11 mostra as peneiras que foram usadas para realização do ensaio de granulometria.

Figura 11: Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria dos agregados graúdos



Fonte: Autor (2024)

O ensaio de massa específica foi realizado de acordo com os padrões estabelecidos pela NBR 16917 (ABNT, 2021). O procedimento iniciou com a coleta de duas amostras do agregado, que deve ser seca em estufa. Após a secagem, a amostra seca é imersa em água por um período mínimo de 24 horas, o que permite a saturação dos poros do agregado. A Figura 12 apresenta os agregados submersos em água para posterior pesagem.

Figura 12: Amostras do agregado gráudo submersas em água



Fonte: Autor (2024)

Após a imersão, a massa da amostra foi pesada para determinação da massa do agregado submerso ( $M_s$ ). Em seguida, o excesso de água foi removido da superfície dos grãos com o auxílio de um pano úmido, para que se mantenha a água absorvida nos poros. O ensaio então seguiu para a determinação da massa do agregado com superfície seca ( $M_c$ ). Por fim, a massa específica da amostra é determinada através da Equação 10.

$$\text{Massa Específica} = \frac{M_c}{M_c - M_s} \quad (\text{Equação 10})$$

Na determinação da massa unitária do agregado gráudo, foi utilizado a NBR 16972 (ABNT, 2021). Para realização do ensaio, inicialmente pesou-se um recipiente de volume conhecido para tara. Após isso, uma amostra do agregado gráudo foi despejada no recipiente em 3 camadas, cada uma adensada com uma barra de aço padronizada com 25 golpes. Por fim, determinou-se a massa da amostra + recipiente. A Figura 13 apresenta o processo de pesagem da amostra com o recipiente.

Figura 13: Determinação da massa da amostra com o recipiente



Fonte: Autor (2024)

Logo, a massa unitária do agregado graúdo é definido através da Equação 10.

$$Massa\ Unitária = \frac{Massa\ de\ brita\ (g)}{Volume\ do\ Recipiente\ (cm^3)} \quad (Equação\ 11)$$

### 3.1.3 Cimento

O cimento utilizado no desenvolvimento dos ensaios foi o CP V-ARI-RS, com massa específica determinada pelo fabricante de 3100 kg/cm<sup>3</sup>.

## 3.2 Ensaios de caracterização do concreto

Neste tópico serão apresentados os ensaios que foram realizados para caracterização da mistura, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Os ensaios realizados foram: abatimento no tronco de cone (*slump test*), determinação da absorção de água, índice de vazios, massa específica e resistência à compressão.

### 3.2.1 Confecção do concreto e ensaio no estado fresco

O processo de confecção dos corpos de prova iniciou-se com a mistura dos materiais previamente ensaiados na betoneira. Durante esse processo, foi necessária a utilização de 50 mL de superplastificante para melhorar a fluidez do concreto sem alterar a sua resistência. A Figura 14 mostra o processo de medição da quantidade do material que foi usado.

Figura 14: Superplastificante em processo de medição



Fonte: Autor (2024)

Vale ressaltar que, dos 20 CPs confeccionados, 10 foram com agregados graúdos no formato cúbico e 10 no formato lamelar. Logo, 2 misturas de materiais foram feitas separadamente com a mesma quantidade de material para atender aos critérios estabelecidos na pesquisa. A Figura 15 apresenta a mistura dos materiais na betoneira.

Figura 15: Processo de mistura dos materiais na betoneira



Fonte: Autor (2024)

Na determinação do *slump*, foram utilizados os parâmetros contidos na NBR 16889 (ABNT, 2020) para execução do ensaio. Para realização do teste, utilizou-se de um tronco de cone, uma placa metálica e uma haste de ferro. O método consiste em preencher o tronco de cone em 3 camadas, sendo que cada uma é golpeada com a haste 25 vezes. Após o preenchimento total, retirou-se o tronco de cone e mediu-se a altura do concreto em relação à

haste apoiada. A figura 16 apresenta o processo de medição do *slump*.

Figura 16: Medição do *slump* do concreto



Fonte: Autor (2024)

Após o processo de execução do *slump test*, inicia-se a moldagem dos corpos de prova.

A Figura 17 mostra a moldagem CPs.

Figura 17: Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Autor (2024)

Após o tempo de cura inicial, os corpos de prova foram retirados dos moldes e imersos em água para continuação do processo de cura do concreto durante 7 dias e 28 dias, para obtenção da curva de resistência. A Figura 18 mostra o processo de cura dos corpos de prova submersos em água.

Figura 18: Processo de cura dos corpos de prova



Fonte: Autor, 2024.

### 3.2.2 Ensaio de índice de vazios, absorção de água e massa específica do concreto no estado endurecido

O processo de determinação do índice de vazios, absorção de água e massa específica foi realizado conforme as especificações contidas na NBR 9778 (ABNT, 2005). Vale ressaltar que, antes de partir para os procedimentos de ensaio, os corpos de prova devem estar imersos em água por um período de 72 h.

Logo após, os corpos de prova foram submetidos ao cozimento com uma temperatura constante durante 5 horas. A Figura 19 mostra o cozimento dos CP's.

Figura 19: Processo de cozimento dos corpos de prova



Fonte: Autor (2024)

Após isso, os corpos de prova foram submetidos à pesagem para determinação da

massa úmida. Vale ressaltar que, posteriormente, as amostras foram pesadas de forma submersa em água. A Figura 20 mostra o processo de determinação da massa submersa.

Figura 20: Pesagem da massa submersa do corpo de prova



Fonte: Autor (2024)

Dando seguimento ao ensaio, os corpos de prova foram levados à estufa durante um período de 72 h. A Figura 21 mostra os corpos de prova na estufa para secagem.

Figura 21: Corpos de prova na estufa



Fonte: Autor (2024)

Por fim, determinou-se a massa seca de cada CP para o desenvolvimento dos cálculos de absorção de água, índice de vazios e massa específica.

### 3.2.3 Determinação da resistência à compressão

Para determinar a resistência à compressão do concreto confeccionado, foi utilizado como parâmetro de ensaio a NBR 5739 (ABNT, 2018). Inicialmente, 20 corpos de prova em

formato cilíndrico foram feitos com traço calculado através do método ABCP (Associação Brasileira do Cimento Portland).

Vale ressaltar que, para executar o rompimento na prensa, faz-se necessário retificar a superfície dos corpos de prova. A retificação deve proporcionar uma superfície lisa e livre de ondulações e abaulamentos. Para isso, foi utilizado uma retífica específica para essa finalidade. A Figura 22 mostra o processo de retificação dos corpos de prova.

Figura 22: Processo de retificação dos corpos de prova



Fonte: Autor (2024)

Após o processo de retificação, os corpos de prova foram submetidos à medições de altura e diâmetro com o auxílio de um paquímetro digital. Por fim, ocorreu o rompimento para a determinação da resistência à compressão com o auxílio de uma prensa hidráulica. A Figura 23 apresenta a prensa sendo utilizada para determinação da resistência à compressão.

Figura 23: Rompimento dos corpos de prova



Fonte: Autor (2024)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análise dos materiais utilizados e dosagem do concreto

De acordo com o método de dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland, os materiais a serem utilizados necessitam de um ensaio prévio para determinar as quantidades que serão utilizadas na confecção do concreto. Nos tópicos seguintes são discutidos os resultados dos agregados graúdos, agregados miúdos e o cimento, destacando os parâmetros necessários para seguimento dos ensaios físicos e mecânicos da mistura.

#### 4.1.1 Classificação dos agregados miúdos

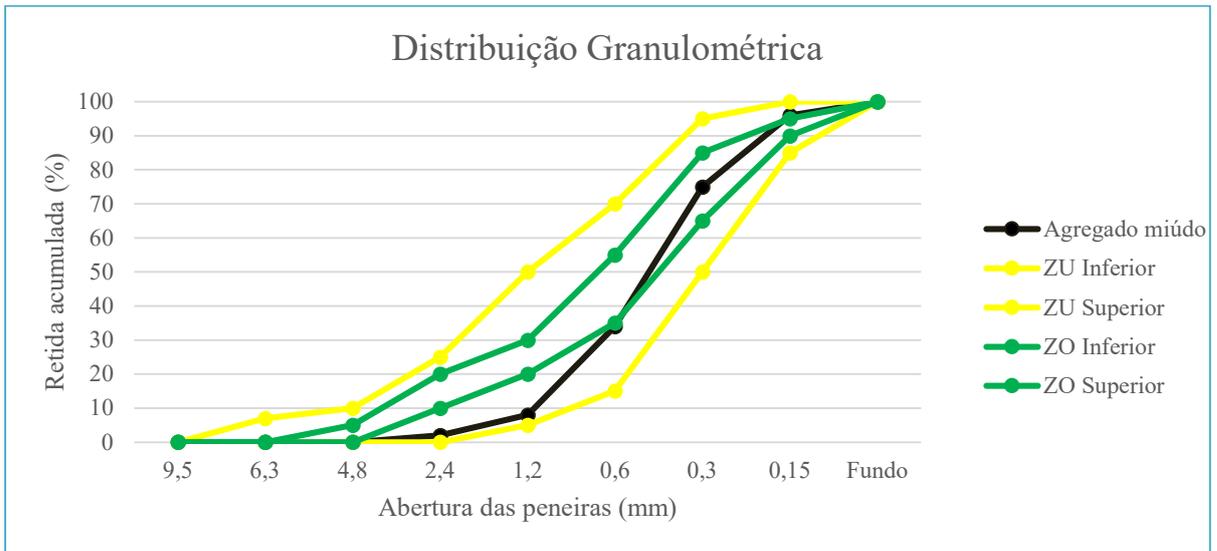
Os ensaios normatizados que foram realizados nos agregados miúdos tinham como objetivo determinar a granulometria, módulo de finura, massa específica e massa unitária do material. Na Tabela 7 e no Gráfico 1, são destacadas as porcentagens granulométricas e a curva granulométrica, respectivamente.

Tabela 7: Granulometria do agregado miúdo

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Porcentagem retida (%)</b>	<b>Porcentagem retida acumulada (%)</b>
9,5	0	0
6,3	0	0
4,8	0	0
2,4	2	2
1,2	6	8
0,6	26	34
0,3	41	75
0,15	21	96
Fundo	4	100

Fonte: Autor (2024)

Gráfico 1: Distribuição granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Autor (2024)

De acordo com os resultados apresentados, percebe-se uma boa distribuição granulométrica do material, visto que o comportamento gráfico do agregado obedece os limites impostos pelas Zonas Utilizáveis (ZU) estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2022). Logo, pode-se classificar o agregado como útil para a construção civil. Na Tabela 8, pode-se encontrar os resultados dos demais parâmetros que determinam a característica do agregado utilizado.

Tabela 8: Características do agregado miúdo

Característica	Resultado
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	2600
Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )	1515
Módulo de finura	2,15
Classificação granulométrica	Areia fina

Fonte: Autor (2024)

Tendo em vista os resultados apresentados na Tabela 6, observa-se a massa específica e a massa unitária com valores usuais na literatura. Além disso, o módulo de finura classifica o agregado como areia com predominância de grãos finos.

#### 4.1.2 Classificação dos agregados graúdos

Para obter a classificação dos agregados graúdos utilizados, os ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária foram realizados, com os resultados sendo

importantes para determinar a quantidade do material a ser usado para determinação da dosagem de concreto. A Tabela 9 apresenta os resultados do ensaio de granulometria do agregado graúdo cúbico.

Tabela 9: Granulometria do agregado graúdo cúbico

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Porcentagem retida (%)</b>	<b>Porcentagem retida acumulada (%)</b>
25	0,9	0,9
19	60,56	61,46
16	17,62	79,08
12,5	17,62	96,7
9,5	3,3	100
6,3	0	100
4,8	0	100
Fundo	0	100

Fonte: Autor (2024)

A Tabela 10 apresenta o resultado do ensaio de granulometria da brita lamelar.

Tabela 10: Granulometria do agregado graúdo lamelar

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Porcentagem retida (%)</b>	<b>Porcentagem retida acumulada (%)</b>
25	0	0
19	32,81	32,81
16	28,12	60,93
12,5	26,56	87,49
9,5	12,51	100
6,3	0	100
4,8	0	100
Fundo	0	100

Fonte: Autor (2024)

De acordo com os resultados obtidos, pode-se perceber uma boa distribuição granulométrica nos dois formatos, além da diferença nas porcentagens retiradas e acumuladas de cada peneira. Porém, apesar da variação na composição granulométrica de cada formato, a classificação de ambos é definida como brita 1, utilizada com frequência em construções em concreto armado. Na Tabela 11, os demais resultados de caracterização dos materiais são apresentados.

Tabela 11: Características do agregado graúdo de acordo com o formato

<b>Característica</b>	<b>Resultado (agregado cúbico)</b>	<b>Resultado (agregado lamelar)</b>
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	2640	2633
Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )	1529	1493
Diâmetro máximo (mm)	19	19
Classificação granulométrica	Brita 1	Brita 1

Fonte: Autor (2024)

Observando os resultados apresentados, pode-se perceber que os valores de massa unitária se diferenciam de acordo com o formato do agregado graúdo. Porém, os resultados de massa específica são próximos.

No ensaio de massa específica, mesmo que os vazios contidos na amostra não sejam considerados, os agregados no formato lamelar apresentam angulações que resultam em superfícies irregulares, proporcionando um aumento no volume de poros internos desses agregados (Rahman e Azad, 2020). Logo, pode-se afirmar que o resultado confirma o fato do ensaio não considerar os vazios, gerando a proximidade dos resultados, sendo que o pequeno desvio nos valores ocorre devido às angulações formadas pela brita lamelar.

O ensaio de massa unitária leva em consideração os vazios presentes no conjunto. O agregado lamelar apresenta grãos mais angulares se comparados com os agregados cúbicos, o que gera uma menor reorganização do material no processo de compactação, gerando mais vazios e diminuindo sua massa unitária (Bhagat, 2019).

#### 4.1.3 Classificação do cimento

A Tabela 12 apresenta as características do aglomerante utilizado. Vale ressaltar que os valores foram obtidos pelo fabricante.

Tabela 12: Características do cimento

<b>Característica</b>	<b>Resultado</b>
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	3100
Classificação	CP V-ARI-RS

Fonte: Autor (2024)

#### 4.1.4 Determinação do traço para o concreto

A determinação do traço ideal que obedeça os parâmetros estabelecidos carece

de todas as características que foram apresentadas anteriormente. O traço foi calculado com base em um abatimento de 120 mm e resistência à compressão de 25 MPa. A qualidade do concreto produzido foi definida com base em um desvio padrão de 4 MPa, o que permite que ele se enquadre na condição A, conforme especificado pela NBR 12655 (ABNT, 2022). Essa norma estabelece critérios rigorosos para garantir a conformidade e a homogeneidade do concreto em sua produção. Um dos principais pontos ressaltados pela norma é o fato de que tanto o aglomerante quanto os agregados devem ser pesados em massa, com precisão, para a formulação adequada do traço de concreto.

A precisão na pesagem dos componentes é essencial para a obtenção de um concreto com as características desejadas, tanto em termos de resistência quanto de consistência. Assim, a adoção dessas práticas padronizadas contribui significativamente para a qualidade final do concreto utilizado em obras de construção civil.

O traço para 1 m<sup>3</sup> de concreto e o traço unitário em massa (kg) obtido com os respectivos valores de cimento, areia, brita e água está representado abaixo, respectivamente.

$$416,67 : 624 : 1116 : 200$$
$$1 : 1,5 : 2,68 : 0,48$$

Salienta-se que as mesmas quantidades e materiais foram utilizadas para obtenção dos corpos de prova, com observação apenas para os diferentes formatos de brita (cúbico e lamelar) que foram usadas em traços distintos. Além disso, para evitar desvios nos quantitativos e proporcionar a maior semelhança possível no traço, foram utilizadas as características presentes na brita cúbica para desenvolvimento dos cálculos de dosagem. A decisão evidenciou-se com o intuito de identificar apenas a influência do formato do agregado graúdo nas características do concreto.

## **4.2 Propriedades do concreto no estado fresco**

Neste tópico serão discutidos os resultados referentes ao desempenho do concreto no estado fresco, com o objetivo de avaliar a trabalhabilidade do material.

#### 4.2.1 Determinação da consistência do concreto: *Slump Test*

De acordo com o ensaio de abatimento do tronco de cone realizado, a Tabela 13 apresenta os resultados referentes a cada traço de concreto com seu respectivo formato de agregado graúdo.

Tabela 13: Resultados do *slump test*

<b>Formato do agregado graúdo</b>	<b>Abatimento do concreto (mm)</b>
Cúbico	200
Lamelar	115

Fonte: Autor (2024)

As Figuras 24 e 25 mostram os procedimentos de verificação do abatimento do concreto.

Figura 24: Abatimento do concreto com agregado cúbico



Fonte: Autor (2024)

Observa-se, pelos resultados apresentados, que o formato dos agregados graúdos influenciam diretamente na trabalhabilidade do concreto. Além disso, percebe-se que formato cúbico fornece uma melhor trabalhabilidade se comparado com o formato lamelar.

Figura 25: Abatimento do concreto com agregado lamelar



Fonte: Autor (2024)

Alguns experimentos na literatura confirmam o resultado apresentado. Estudos realizados por Muhit *et al.* (2013) e Khan *et al.* (2020), mostram que, de forma geral, os agregados graúdos em formatos cúbicos tendem a proporcionar uma melhor mistura e maior abatimento devido à sua capacidade de facilitar o fluxo e a distribuição uniforme no concreto fresco, aumentando a fluidez e a consistência da mistura. Em contrapartida, agregados de formas mais alongadas, como os achatados ou angulosos, causam uma maior resistência ao movimento durante a mistura, o que reduz o abatimento e dificulta o adensamento, especialmente em concretos com baixa relação água/cimento.

### 4.3 Propriedades do concreto no estado endurecido

#### 4.3.1 Resultados da absorção de água, índice de vazios e massa específica

Tendo em vista os ensaios realizados, os resultados para a absorção de água, índice de vazios e massa específica da amostra seca, de acordo com o formato de agregado graúdo utilizado no traço, são apresentados abaixo. A Tabela 14 apresenta os valores da absorção de água.

A absorção de água indica a proporção de poros que facilitam a entrada de água no interior da estrutura, podendo acarretar em problemas de degradação do material. Logo, analisando os resultados, os concretos com agregados graúdos no formato cúbico diminuem a quantidade de poros na mistura, proporcionando maior vida útil para as estruturas.

Tabela 14: Resultados de absorção de água

<b>Formato do agregado graúdo</b>	<b>Corpo de prova</b>	<b>Absorção de água (%)</b>	<b>Média (%)</b>	<b>Desvio padrão</b>
Cúbico	CP01C	5,54	5,54	0,14
	CP02C	5,48		
	CP03C	5,63		
	CP04C	5,34		
	CP05C	5,70		
Lamelar	CP01L	5,85	5,92	0,13
	CP02L	5,92		
	CP03L	6,19		
	CP04L	5,89		
	CP05L	5,95		

Fonte: Autor (2024)

A Tabela 15 mostra os resultados de índice de vazios que foram coletados.

Tabela 15: Resultados de índice de vazios

<b>Formato do agregado graúdo</b>	<b>Corpo de prova</b>	<b>Índice de vazios (%)</b>	<b>Média (%)</b>	<b>Desvio padrão</b>
Cúbico	CP01C	10,75	11,95	0,71
	CP02C	11,23		
	CP03C	12,13		
	CP04C	11,95		
	CP05C	12,51		
Lamelar	CP01L	13,22	13,27	1,00
	CP02L	13,36		
	CP03L	13,90		
	CP04L	11,29		
	CP05L	13,27		

Fonte: Autor (2024)

O índice de vazios analisa a quantidade de espaços vazios no interior do concreto que não são ocupados pelo material sólido. Analisando os resultados laboratoriais, verifica-se que o concreto que utiliza o agregado graúdo em formato lamelar proporciona um índice maior dessa característica. Isso significa que misturas com os agregados lamelares sugerem que o concreto possua maior probabilidade de espaços vazios, o que geralmente diminui sua resistência e durabilidade no estado endurecido.

A Tabela 16 apresenta os resultados do ensaio de massa específica da amostra seca.

Tabela 16: Resultados de massa específica da amostra seca

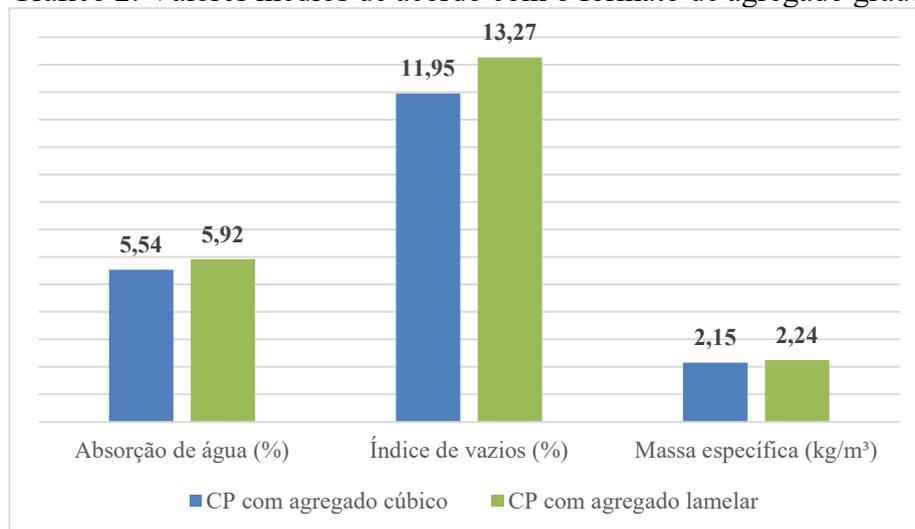
Formato do agregado graúdo	Corpo de prova	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	Média (kg/m <sup>3</sup> )	Desvio padrão
Cúbico	CP01C	1,94	2,15	0,12
	CP02C	2,05		
	CP03C	2,15		
	CP04C	2,24		
	CP05C	2,19		
Lamelar	CP01L	2,26	2,24	0,15
	CP02L	2,25		
	CP03L	2,24		
	CP04L	1,91		
	CP05L	2,23		

Fonte: Autor (2024)

A massa específica da amostra seca dos dois tipos de traços analisados possuem resultados próximos. Logo, pode-se afirmar que os agregados não apresentam uma influência relevante na relação entre massa e volume das amostras no estado seco. Isso pode ocorrer devido aos agregados graúdos serem da mesma origem mineralógica, o que pode compensar o número de vazios presentes no concreto com agregado lamelar através de uma maior quantidade de grãos nos corpos de prova. Esse fator pode aumentar a massa por unidade de volume do concreto no estado endurecido. Além disso, Mehta e Monteiro (2008) destacam que o formato e a textura superficial dos agregados da mesma origem influenciam propriedades como trabalhabilidade e empacotamento, mas não alteram a densidade do material.

O Gráfico 2 apresenta os valores médios de acordo com o formato de agregado graúdo que foi utilizado.

Gráfico 2: Valores médios de acordo com o formato de agregado graúdo utilizado



Fonte: Autor (2024)

De acordo com os resultados apresentados, pode-se perceber que o formato do agregado graúdo altera as características analisadas. A absorção de água, o índice de vazios e massa específica aparente seca dos corpos de prova com agregados em formato cúbico possuem valores menores se comparados com as amostras no formato lamelar.

Os agregados cúbicos tendem a proporcionar uma melhor compactação do que os angulosos, reduzindo o índice de vazios e a absorção de água do material e proporcionando uma maior vida útil para as estruturas em concreto armado (Mehta e Monteiro, 2008).

Além dos dados analisados, pode-se perceber que o desvio padrão possui o mesmo comportamento independente do agregado graúdo utilizado, apresentando poucas variações.

#### 4.3.2 Resultados de resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado com corpos de prova com tempo de cura de 7 dias e 28 dias. A Tabela 17 mostra os resultados obtidos para os corpos de prova com 7 dias de cura.

Tabela 17: Resultados de resistência à compressão aos 7 dias

<b>Formato do agregado graúdo</b>	<b>Corpo de prova</b>	<b>Resistência à compressão axial aos 7 dias (MPa)</b>	<b>Média (MPa)</b>	<b>Desvio padrão</b>
Cúbico	CP01C	22,8	24,8	2,1
	CP02C	21,4		
	CP03C	25,3		
	CP04C	26,7		
	CP05C	24,8		
Lamelar	CP01L	15,9	15,6	1,6
	CP02L	15,6		
	CP03L	16,2		
	CP04L	12,5		
	CP05L	14,1		

Fonte: Autor (2024)

De acordo com os resultados apresentados, percebe-se a tendência dos corpos de prova com agregados graúdos cúbicos em apresentarem uma maior resistência à compressão aos 7 dias de cura. Além disso, verifica-se um menor desvio padrão nos CP's com agregados lamelares.

A Tabela 18 apresenta os resultados de resistência à compressão com 28 dias de cura.

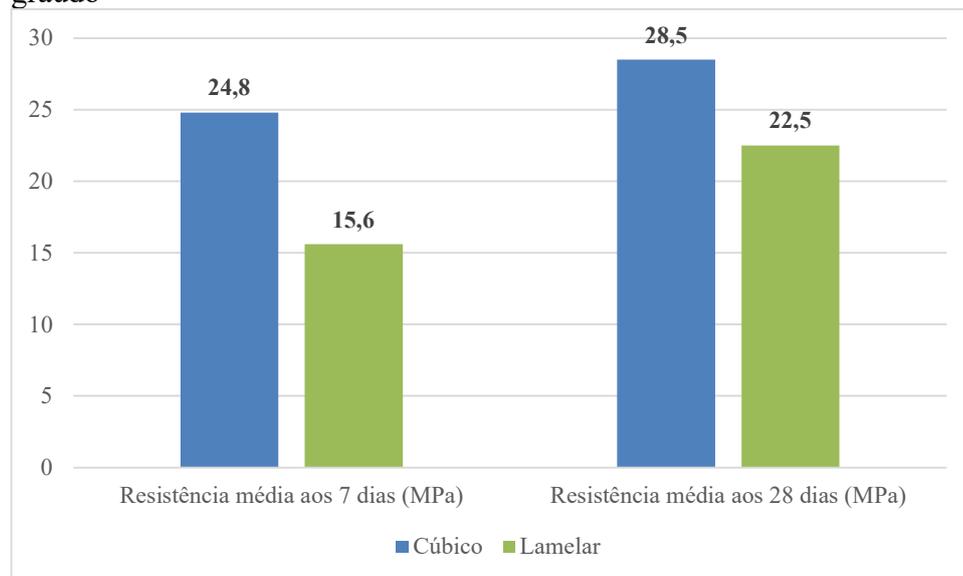
Tabela 18: Resultados de resistência à compressão aos 28 dias

Corpo de prova	Formato do agregado graúdo	Resistência à compressão axial aos 28 dias (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão
Cúbico	CP01C	27,4	28,5	0,8
	CP02C	27,8		
	CP03C	29,2		
	CP04C	28,5		
	CP05C	29		
Lamelar	CP01L	22,4	22,5	1,5
	CP02L	24		
	CP03L	25,5		
	CP04L	22,5		
	CP05L	22		

Fonte: Autor (2024)

A comparação da resistência à compressão do concreto aos 28 dias, de acordo com o formato de agregado graúdo, pode ser observada no Gráfico 3.

Gráfico 3: Resistências médias do concreto de acordo com o formato do agregado graúdo



Fonte: Autor (2024)

Observando os resultados apresentados, percebe-se uma clara influência do formato dos agregados graúdos na resistência à compressão do concreto. O formato cúbico possibilitou ao concreto uma resistência maior que o formato lamelar.

Na literatura, existem estudos que comprovam os valores apresentados. Silva *et al.* (2018) e Aginan *et al.* (2013) verificaram que os agregados com formato mais irregular, como os lamelares, tendem a reduzir a resistência do concreto, tanto no estado fresco quanto no endurecido. Isso ocorre porque esses formatos irregulares aumentam os vazios no concreto,

resultando em menor compactidade e, conseqüentemente, em menor resistência à compressão. Por outro lado, os agregados cúbicos garantem uma melhor reorganização dos grãos na mistura, evitando o acúmulo de vazios e gerando uma melhor compactação.

## 5. CONCLUSÃO

O estudo das características do concreto, bem como os materiais que compõem a mistura, são essenciais no desenvolvimento de melhorias que garantam durabilidade para as edificações. Este trabalho buscou, utilizando os critérios laboratoriais, identificar qual formato de agregado graúdo influencia positivamente no material.

O critério de separação dos agregados graúdos que foi utilizado possibilitou uma boa diferenciação, tendo em vista que os grãos possuem diferenças físicas visíveis a olho nu, além de reiterarem as diferenças de acordo com os resultados dos ensaios realizados.

No estado fresco, pode-se concluir que o formato cúbico possibilita melhorias significativas de trabalhabilidade do concreto, resultando em *slumps* favoráveis para o escoamento do material no processo de concretagem.

No estado endurecido, os resultados mostram que o formato cúbico produz um menor número de vazios, gerando uma maior proteção contra agentes físicos e químicos que possam prejudicar as armaduras presentes em estruturas de concreto armado.

A resistência à compressão, principal característica do concreto, possui valores maiores quando a mistura apresenta agregados graúdos no formato cúbico. O agregado no formato lamelar produz maiores vazios na mistura, o que dificulta o preenchimento de material e diminui a resistência.

Por fim, vale ressaltar a importância dos agregados graúdos para o concreto, bem como identificar os formatos adequados para utilização. A escolha do formato correto pode contribuir significativamente para o desempenho estrutural e a durabilidade das edificações, promovendo maior economia de material, além de otimizar processos de produção e aplicação. Os resultados deste trabalho reforçam a relevância de estudos voltados para a caracterização e seleção dos agregados, proporcionando um embasamento técnico para decisões projetuais que atendam aos requisitos de resistência e durabilidade, fatores essenciais para garantir segurança e sustentabilidade nas construções.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, T. A., & DAL MOLIN, D. C. C. **Tecnologia do Concreto de Alto Desempenho**. IBRACON, 2011.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 318: Building code requirements for structural concrete**. Farmington Hills: ACI, 2019. 624 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto: Especificação. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7809**: Agregado graúdo: Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto: Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889**: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916**: Agregado miúdo: Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16917**: Agregado graúdo: Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**: Agregados: Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054**: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2022.
- BHAGAT, S. B.; GOKHALE, A. K.; MURTHY, M. C. **Influence of aggregate shape on concrete performance: A study on angular vs. rounded aggregates**. Construction and Building Materials, v. 201, p. 171-179, 2019.
- BASTOS, Paulo Sérgio. **Fundamentos Do Concreto Armado**. São Paulo: UNESP, 2019.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5.ed. v.1. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

CALLISTER, W. D., & RETHWISCH, D. G. (2015). **Materials Science and Engineering: An Introduction** (9th ed.). Wiley.

COUTINHO, A. S. **Tecnologia do concreto estrutural**. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 300 p.

DOMONE, P., & ILLSTON, J. (2010). **Construction Materials: Their Nature and Behaviour** (4th ed.). CRC Press.

FARIAS, L. A. *et al.* **Ensaio de tração direta em corpos de prova de concreto**. 2018.

HELENE, P. R. L. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2011.

KHAN, M. S.; ALI, I.; ASLAM, M. **Effect of Shape and Texture of Aggregate on Concrete Strength and Workability**. International Journal of Structural and Civil Engineering Research, v. 9, n. 1, p. 95-102, 2020. Disponível em: <https://ijscer.com/article/effect-of-shape-and-texture-of-aggregate-on-concrete-strength-and-workability>. Acesso em: 31 out. 2024.

KOSMATKA, S. H., & WILSON, M. L. (2016). **Design and Control of Concrete Mixtures** (16th ed.). Portland Cement Association.

LUZ, A. B., ALMEIDA, S. L. M. de. **Manual de agregados para construção civil**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012.

MEDEIROS, J. P.. **Caracterização de agregados para concreto**. 3. ed. São Paulo: Editora Técnica, 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

MENDES, R. A.. **Trabalhabilidade e durabilidade do concreto: um enfoque prático**. Porto Alegre: Editora Civil, 2020.

MINDESS, S., YOUNG, J. F., & DARWIN, D. (2003). **Concrete** (2nd ed.). Prentice Hall.

MUHIT, I. B.; HAQUE, S.; ALAM, Md. R. **Influence of Crushed Coarse Aggregates on Properties of Concrete**. American Journal of Civil Engineering and Architecture, [s.l.], v. 1, n. 5, p. 103-106, 2013. Disponível em: <https://pubs.sciepub.com/ajcea/1/5/3/>. Acesso em: 31 out. 2024.

NEVES, J. C. **Controle de qualidade do concreto: métodos e práticas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Técnica, 2018.

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

OLIVEIRA, R. **Práticas de dosagem de concreto em campo**. Porto Alegre: Editora Construtora, 2021.

RAHMAN, S.; AZAD, A. K. **Effects on properties of coarse aggregate with respect to different sources**. 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/338548643\\_Effects\\_on\\_Properties\\_of\\_Coarse\\_Aggregate\\_with\\_Respect\\_to\\_Different\\_Sources](https://www.researchgate.net/publication/338548643_Effects_on_Properties_of_Coarse_Aggregate_with_Respect_to_Different_Sources). Acesso em: 06 nov. 2024.

SILVA, D. A.; MELO, C. E. L. **Processo de britagem e sua influências características físicas do agregado graúdo para o concreto reciclado**. Dossiê Especial Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade, p. 36-47, 18 jun. 2020.

SILVA, D. A., GEYER, A. L. B. **Influência da Forma do agregado graúdo nas propriedades mecânicas do concreto**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 12, Vol. 05, p. 67- 82, dezembro de 2018.

SILVA, D. A. E.; MELO, C. E. L.; GEYER, A. L. B. **Estudo da influência do agregado graúdo inadequado nas propriedades dos concretos fresco e endurecido**. Revista Principia, João Pessoa, v. 60, ed. 2, p. 387-406, 30 jun. 2023.