



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**  
**CAMPUS VIII – ARARUNA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE**  
**COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL**

**GLENDAL LESLEY SILVA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO ENTRE  
CIMENTOS A GRANEL DO MERCADO DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA – PB**

**ARARUNA – PB**

**2021**

**GLENDAL LESLEY SILVA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO ENTRE  
CIMENTOS A GRANEL DO MERCADO DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Estadual da  
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Área de concentração:** Materiais de  
construção

**Orientador:** Prof. Dr. Daniel Baracuy da  
Cunha Campos

**Coorientador:** Prof. Esp. Lauandes Marques  
de Oliveira

**ARARUNA – PB**

**2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586a Silva, Glenda Lesley.

Análise comparativa da resistência à compressão entre cimentos a granel do mercado do município de João Pessoa – PB [manuscrito] / Glenda Lesley Silva. - 2021.

54 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2021.

"Orientação : Prof. Dr. Daniel Baracuy da Cunha Campos, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Cimento. 2. Construção civil. 3. Qualidade da produção.

I. Título

21. ed. CDD 624.183 3

GLENDAL LESLEY SILVA

ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO ENTRE CIMENTOS  
A GRANEL DO MERCADO DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA – PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Estadual da  
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Materiais de construção.

Aprovado em: 14/10/2021.

**BANCA EXAMINADORA**

*Daniel Baracuy da Cunha Campos*

Prof. Dr. Daniel Baracuy da Cunha Campos (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

*Lauandes Marques de Oliveira*

Prof. Esp. Lauandes Marques de Oliveira  
Faculdade Três Marias (FTM)

*Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro*

Profa. Dra Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A Deus, por seu infinito amor por mim, aos meus pais, por todos os sacrifícios que me fizeram chegar até aqui, e ao meu amor e amigos, que me apoiaram nessa jornada, DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por seu infinito amor e misericórdia, por toda sabedoria e acolhimento nos momentos difíceis, por me proporcionar tantas bênçãos e por ser o meu porto seguro. É graças a ti, Senhor, que posso fazer os próximos agradecimentos. Todo louvor e glória a ti, Deus, eu o amo e adoro.

Aos meus pais, Gilma e Willame, por toda dedicação, amor e sacrifícios que me fizeram chegar até aqui. Sou infinitamente grata por tudo, sem vocês nada disso seria possível. Eu os amo demais. Aos meus irmãos e sobrinhos, por todo amor e carinho, amo vocês.

Ao meu amor, Igor, por todo companheirismo, carinho, apoio e paciência. Obrigada por sempre me motivar e acreditar em mim, quando eu mesma não conseguia. Sou infinitamente grata a Deus por ter me unido a ti e rogo para que Ele nos abençoe ainda mais. É um prazer partilhar a vida contigo. Eu te amo.

A Larissa, por toda amizade/irmandade, carinho e apoio. Obrigada por tudo, amiga, por me trazer para perto de Deus, me acolher nos momentos difíceis e vibrar comigo nos momentos felizes, obrigada por ver tanta bondade em mim e me inspirar a ser alguém melhor. Amo-te, indiazinha.

A Bruna, por toda amizade/irmandade, carinho e apoio ao longo desses 11 anos de amizade. Obrigada por toda parceria nos anos de escola e universidade, por ter topado ir para Araruna comigo, por me acolher nos momentos difíceis e vivenciar ao meu lado muitas loucuras e alegrias. Amo-te, Bru.

A Luana, por toda amizade, parceria, momentos vividos e noites de estudo ao longo do curso. Amo-te, Lu.

Ao meu orientador, Prof. Daniel Baracuy da Cunha Campos, por aceitar esse desafio e por todo conhecimento compartilhado no desenvolvimento deste trabalho e ao longo do curso.

A todo corpo docente do Curso de Engenharia Civil, pelos ensinamentos compartilhados ao longo do curso, em especial a banca examinadora, os professores Lauandes Marques de Oliveira e Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro.

A todos os meus amigos da graduação, em especial a Luiz, Lucas (Jack) e Sales, por toda parceria, amizade e momentos felizes, com certeza foram especiais nessa caminhada.

Aos meus amigos do grupo “Mundiça”, pela amizade e momentos divertidos.

Aos meus familiares, que me apoiaram ao longo dessa caminhada, em especial a memória da minha avó Carmelita, que reservava um cantinho tranquilo para que eu me preparasse para o vestibular que me permitiu está aqui hoje.

## RESUMO

O avanço da construção civil, atrelado a necessidade de segurança e eficiência das edificações, têm aumentado a atenção ao controle tecnológico dos materiais que envolvem esse meio. No setor da construção, o concreto é considerado o material mais consumido, logo, atestar a qualidade dos insumos utilizados na sua confecção é fundamental para garantir que a obra seja executada com máxima eficiência, evitando possíveis ocorrências. Desse modo, sendo o cimento o principal responsável pelas propriedades do concreto, o presente trabalho tem por objetivo analisar a qualidade e o desempenho dos principais cimentos a granel utilizados no mercado de João Pessoa – PB. A metodologia adotada consistiu na realização e análise de ensaios laboratoriais do módulo de finura dos cimentos em estudo – nomeados A, B e C –, da caracterização dos agregados e da resistência à compressão dos concretos produzidos. Os corpos de prova foram confeccionados para uma resistência de dosagem de 36,60 MPa, determinada a partir da resistência de projeto, 30,00 MPa. O concreto confeccionado com o cimento A atingiu uma resistência a compressão de  $41,16 \pm 3,00$  MPa, o cimento B de  $33,86 \pm 1,30$  MPa e o cimento C de  $20,92 \pm 4,53$  MPa. Desse modo, comparando os valores obtidos com a resistência de dosagem e de projeto, é possível analisar que os corpos de prova confeccionados com o cimento A foram os únicos a atingir a resistência à compressão esperada aos 28 dias, enquanto o cimento B alcançou apenas a resistência de projeto e o cimento C ficou abaixo de ambos os valores desejados, indicando que há diferenças significativas entre os cimentos a granel comercializados no município de João Pessoa.

**Palavras-Chave:** Controle tecnológico. Construção civil. Qualidade do cimento.

## ABSTRACT

The development of construction industry, associated to need safe and efficient buildings, has increased the attention in materials technological control. On the construction business, the concrete is the most use up material, therefore, ensure the quality of its input is fundamental for guarantee buildings with maximum efficiency, avoiding potential problems. This way, knowing that the cement is the principal input for concrete, this work aim analyses the quality and performance of the main in bulk cements of João Pessoa city, Paraíba State, Brazil, market. The methodology consisted of realized laboratory tests like the thinness index for three brands of cements – named A, B and C –, characterization of aggregates and compression strength for the concrete. The proof bodies were prepared for a dosage strength to 28 days of 36,60 MPa, calculated from project strength of 30,00 MPa. The concrete fabricated with the cement A reached compression strength of  $41,16 \pm 3,00$  MPa, with cement B  $33,86 \pm 1,30$  MPa and with cement C  $20,92 \pm 4,53$  MPa. Thereby, comparing the essays, the cement A was the only one that produced concrete with the compression strength to 28 days expected, while de cement B just achieved the project strength and the cement C didn't reach none of the parameters, indicating that there is significant differences between the bulk cement marketed in João Pessoa city.

**Keywords:** Technological control. Construction industry. Cement quality.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapa do processo de fabricação do cimento Portland -----	23
Figura 2 - Representação esquemática do processo de produção do cimento Portland -----	25
Figura 3 - Fluxograma de aceitação da água para amassamento do concreto -----	28
Figura 4 - Estudo de dosagem de concreto-----	30
Figura 5 - Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa -----	33
Figura 6 - Ensaio do abatimento do tronco de cone-----	39
Figura 7 - Corpos de prova-----	40
Figura 8 - Cura dos corpos de prova -----	40
Figura 9 - Dados dos ensaios de resistência a compressão-----	49

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros físicos e mecânicos do cimento, segundo NBR 16.697/2018.....	18
Quadro 2 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland .....	20
Quadro 3 - Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa) .....	22
Quadro 4 - Classificação das areias quanto ao módulo de finura.....	35
Quadro 5 - Classificação das britas quanto à dimensão dos grãos .....	35
Quadro 6 - Consumo de água aproximado .....	37
Quadro 7 - Volume compactado seco de agregado graúdo ( $m^3/m^3$ de concreto) .....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do ensaio de módulo de finura do cimento A .....	42
Tabela 2 - Dados do ensaio de módulo de finura do cimento B.....	42
Tabela 3 - Dados do ensaio de módulo de finura do cimento C.....	43
Tabela 4 - Dados do ensaio de determinação do teor de umidade .....	43
Tabela 5 - Dados da análise granulométrica da primeira areia ensaiada (areia 1) .....	44
Tabela 6 - Dados da análise granulométrica da segunda areia ensaiada (areia 2).....	44
Tabela 7 - Dados da análise granulométrica do agregado graúdo.....	45
Tabela 8 - Primeira dosagem do concreto .....	46
Tabela 9 - Dados da segunda dosagem do concreto.....	46
Tabela 10 - Dados do primeiro ensaio de abatimento do tronco de cone.....	46
Tabela 11 - Dados do segundo ensaio de abatimento do tronco de cone .....	47
Tabela 12 - Dados do terceiro ensaio de abatimento do tronco de cone .....	47
Tabela 13 - Dados do primeiro ensaio de resistência à compressão .....	48
Tabela 14 - Dados do segundo ensaio de resistência à compressão .....	48
Tabela 15 - Dados do terceiro ensaio de resistência à compressão .....	48

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Objetivo geral</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>17</b>
<b>4.1</b>	<b>Cimento</b>	<b>17</b>
<b>4.1.1</b>	<i>Propriedades do cimento</i>	<b>17</b>
<b>4.1.2</b>	<i>Tipos de cimento</i>	<b>19</b>
<b>4.1.3</b>	<i>Processo de fabricação</i>	<b>22</b>
<b>4.1.3.1</b>	<i>Extração da matéria prima e britagem</i>	<b>23</b>
<b>4.1.3.2</b>	<i>Pré-homogeneização e moagem</i>	<b>23</b>
<b>4.1.3.3</b>	<i>Clinkerização</i>	<b>24</b>
<b>4.1.3.4</b>	<i>Resfriamento</i>	<b>24</b>
<b>4.1.3.5</b>	<i>Moagem</i>	<b>25</b>
<b>4.1.3.6</b>	<i>Expedição</i>	<b>25</b>
<b>4.1.4</b>	<i>Cimento a granel</i>	<b>26</b>
<b>4.2</b>	<b>Componentes do concreto</b>	<b>26</b>
<b>4.2.1</b>	<i>Aglomerantes</i>	<b>26</b>
<b>4.2.2</b>	<i>Agregado</i>	<b>26</b>
<b>4.2.3</b>	<i>Água de amassamento</i>	<b>27</b>
<b>4.2.4</b>	<i>Aditivos</i>	<b>28</b>
<b>4.3</b>	<b>Controle de qualidade</b>	<b>29</b>
<b>4.3.1</b>	<i>Insumos</i>	<b>29</b>
<b>4.3.2</b>	<i>Produção</i>	<b>30</b>
<b>4.3.3</b>	<i>Transporte e operação de concretagem</i>	<b>31</b>

4.3.4	<i>Resistência à compressão</i>	32
5	<b>METODOLOGIA</b>	33
5.1	<b>Caracterização dos materiais</b>	34
5.1.1	<i>Cimento</i>	34
5.1.2	<i>Agregados</i>	34
5.1.3	<i>Água</i>	35
5.2	<b>Dosagem do concreto</b>	35
5.3	<b>Ensaio do abatimento do tronco de cone</b>	39
5.4	<b>Confecção e ensaio de ruptura dos corpos de prova</b>	39
6	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	42
6.1	<b>Caracterização dos materiais</b>	42
6.1.1	<i>Módulo de finura do cimento</i>	42
6.1.2	<i>Teor de umidade do agregado</i>	43
6.1.3	<i>Análise granulométrica do agregado</i>	44
6.2	<b>Dosagem do concreto</b>	45
6.3	<b>Ensaio do abatimento do tronco de cone</b>	46
6.4	<b>Ensaio de resistência à compressão</b>	47
7	<b>CONCLUSÃO</b>	51
	<b>REFERÊNCIAS</b>	52
	<b>APÊNDICE A – Título do Apêndice</b>	Erro! Indicador não definido.
	<b>ANEXO A – Título do Anexo</b>	Erro! Indicador não definido.

## 1 INTRODUÇÃO

A sobrevivência de toda espécie se baseia na nutrição, reprodução e proteção. A proteção, por sua vez, trouxe a necessidade do homem procurar abrigos mais seguros e duráveis, evoluindo os tipos de moradia e possibilitando, assim, a descoberta de materiais de construção mais eficientes e resistentes com o passar dos anos.

Essa procura por materiais que proporcionassem construções mais arrojadas conduziu a experimentação de diversos aglomerantes, sendo o principal deles o cimento. Sua origem remota data de 4500 anos atrás e passou por diversas modificações até chegar ao que é consumido hoje. Monumentos do Egito antigo e grandes obras gregas e romanas já utilizavam materiais que possuíam propriedades de endurecimentos sob a ação da água, mas foi em 1756 que o inglês John Smeaton deu o grande passo no desenvolvimento do cimento, obtendo um produto resistente, resultante da calcinação de calcários moles e argilosos (MAURY; BLUMENSCHHEIN, 2012).

Por sua vez, o construtor inglês Joseph Aspdin, em 1824, ao queimar conjuntamente calcário e argila, observou que a mistura resultava em um pó fino, que, após secar, tornava-se tão dura quanto as pedras empregadas na construção. Devido a semelhança em cor e solidez com as rochas da ilha britânica de Portland, foi patenteado de “cimento Portland”, nomenclatura utilizada no mundo todo até os dias atuais (MAURY; BLUMENSCHHEIN, 2012; NEVILLE, 2016).

O produto desenvolvido por Aspdin, embora tenha os mesmos princípios básicos, passou por diversas pesquisas que determinaram proporções adequadas da mistura, teor de seus componentes, tratamento térmico necessário e natureza química dos materiais, até obter o cimento Portland utilizado no presente. Por ser composto de matéria prima disponível em todo o globo e possuir propriedades como trabalhabilidade, moldabilidade, hidráulica e elevadas resistências a esforços, o cimento Portland proporcionou uma revolução na construção civil (LIMA, 2011), tornando-se ainda mais relevante a partir do uso em concreto simples, armado e protendido (SILVA et al., 2018).

O concreto de cimento Portland é o segundo material mais consumido do mundo, sendo considerado o mais importante da construção civil (BARBOSA; ALMEIDA FILHO, 2018). O mérito se deve a sua resistência à água, facilidade de aplicação em diversas formas e tamanhos, baixo custo, disponibilidade de matéria-prima por todo o mundo e seu potencial de utilização.

Devido à grande demanda do material, houve o desenvolvimento tecnológico e racionalização do processo de produção, sendo criados parques industriais denominados de centrais dosadoras de concreto, contribuindo ainda mais para a crescente utilização no mercado. Essa industrialização possibilitou redução de custos e maior capacidade de produção, sem alterar o desempenho e qualidade exigida do concreto (MASCOLO et al., 2013).

Neste âmbito, devido à pressão do mercado por redução de custos e manutenção das exigências mínimas para qualidade do material, aumentou-se ainda mais a importância e necessidade do controle tecnológico do concreto. Nesse sentido, um dos indicadores que atestam sua qualidade é a resistência à compressão, visto que, além de ser uma propriedade de fácil mensuração, por meio dela é possível determinar alterações no desempenho do material (MASCOLO et al., 2013).

Sendo assim, considerando a importância do cimento e do concreto na indústria da construção civil, e o advento das centrais dosadoras como responsáveis por alavancar a produção e garantir qualidade a esse material, bem como a relevância que o cimento a granel tem no abastecimento desse setor, este trabalho realizou uma análise comparativa das propriedades mecânicas de corpos de prova de concreto produzidos a partir de cimentos a granel comercializados na cidade de João Pessoa – PB.

## 2 JUSTIFICATIVA

A indústria cimenteira desempenha um papel relevante no desenvolvimento da infraestrutura socioeconômica de uma localidade, visto que está relacionada diretamente com o aumento da prosperidade da população, geração de empregos e oportunidades de sustento (BARROS et al., 2018). Atrelada a isso está a produção de concreto, material que devido a sua acessibilidade e propriedades, é fundamental para suprir as necessidades da construção civil, tendo sua qualidade intrinsecamente relacionada a do cimento.

A crescente utilização desse material, associada a necessidade de garantir as especificações exigidas no projeto, requer um controle tecnológico da qualidade do concreto. O método mais utilizado para essa avaliação é a determinação da resistência à compressão, devido a relação direta entre a resistência do concreto com a capacidade da estrutura de resistir aos esforços solicitados, bem como a facilidade de execução do ensaio e a possibilidade de correlacionar a resistência com outras propriedades do concreto, que possuem ensaios mais complicados de serem realizados (CASTRO, 2009).

Desse modo, é notória a importância dessa pesquisa, pois a partir da análise de resistência à compressão do concreto e da caracterização do aglomerante, por meio do módulo de finura, utilizando os principais cimentos a granel disponíveis na cidade de João Pessoa – PB é possível verificar o nível de controle tecnológico no mercado local e propor estratégias de melhoria.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Avaliar as propriedades físico-mecânicas do concreto confeccionado a partir dos principais cimentos a granel comercializados no município de João Pessoa – PB.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar os insumos necessários a fabricação do concreto, analisando o módulo de finura dos cimentos e a granulometria dos agregados miúdo e graúdo.
- Realizar dosagem experimental do traço de concreto de acordo com a ABCP/ACI.
- Analisar a resistência à compressão dos concretos confeccionados com cimentos a granel adquiridos no município de João Pessoa – PB.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 Cimento

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico produzido a partir do clínquer Portland, ao qual é adicionado sulfato de cálcio durante a operação. Neste sentido, materiais como pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, também podem ser adicionados ao clínquer no processo de moagem (ABNT, 1991), a partir disso, são desenvolvidos os diferentes tipos de cimento de acordo com as dosagens desses materiais.

Sendo assim, a matéria-prima utilizada na produção do cimento consiste, essencialmente, em calcário, composto majoritariamente por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e materiais argilosos à base de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), bem como de constituintes secundários como óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ), fosfatos, álcalis, entre outros (NEVILLE, 2016; GALHARDO, 2014).

#### 4.1.1 Propriedades do cimento

Os materiais da composição do cimento Portland, conferem a ele propriedades físicas e químicas singulares. As físicas são avaliadas sob os aspectos do produto em pó, da pasta – que consiste na mistura de cimento e água – e da argamassa – que corresponde a mistura da pasta com o agregado miúdo. Por sua vez, as propriedades químicas estão associadas ao processo de endurecimento por hidratação, que consiste em reações de hidratação do cimento com liberação de calor (reações exotérmicas) (BAUER, 2003).

Em relação às propriedades físicas, principalmente sob os aspectos da pasta e da argamassa, é avaliado o comportamento do produto quando empregado para seu fim, esta análise se baseia em processos artificialmente definidos nos métodos e com especificações padronizadas, utilizadas tanto para o controle de aceitação do produto, quanto para avaliação de suas qualidades para os fins de utilização (BAUER, 2003). As propriedades que permitem essa avaliação são a densidade absoluta, resistência à compressão, exsudação, finura e tempo de pega e o padrão estabelecido pela NBR 16.697/2018 está exposto no Quadro 1.

**Quadro 1 – Parâmetros físicos e mecânicos do cimento, segundo NBR 16.697/2018**

Sigla <sup>a</sup>	Classe	Finura	Tempo de início de pega min	Expansibilidade a quente mm	Resistência à compressão MPa				Índice de brancura -
		Resíduo na peneira 75 µm %			1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	
CPI CPI-S CP II-E CP II-F CP II-Z	25	≤ 12,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 8	≥ 15	≥ 25	-
	32	≤ 12,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 10	≥ 20	≥ 32	-
	40	≤ 10,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 15	≥ 25	≥ 40	-
CP III CP IV	25	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 8	≥ 15	≥ 25	-
	32	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 10	≥ 20	≥ 32	-
	40	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 12	≥ 23	≥ 40	-
CP V	ARI	≤ 6,0	≥ 60	≤ 5	≥ 14	≥ 24	≥ 34	-	-
CPB Estrutural	25	≤ 12 <sup>b</sup>	≥ 60	≤ 5		≥ 8	≥ 15	≥ 25	≥ 78
	32	≤ 12 <sup>b</sup>	≥ 60	≤ 5		≥ 10	≥ 20	≥ 32	
	40	≤ 12 <sup>b</sup>	≥ 60	≤ 5		≥ 15	≥ 25	≥ 40	
CPB Não estrutural	-	≤ 12 <sup>b</sup>	≥ 60	≤ 5	-	≥ 5	≥ 7	≥ 10	≥ 82

<sup>a</sup> Requisitos aplicáveis também aos cimentos resistentes a sulfatos e de baixo calor de hidratação, identificados por sua sigla seguida de sufixo RS ou BC, respectivamente.  
<sup>b</sup> Resíduo na peneira 45 µm.

Fonte: Adaptado de ABNT (2018).

- **Densidade absoluta (massa específica):** De extrema importância no processo de dosagem do consumo do produto, a massa específica do cimento é considerada em torno de 3,15 kg/dm<sup>3</sup>, podendo variar para valores ligeiramente inferiores (BAUER, 2003). A NBR 16.605/2017 define os requisitos normativos para determinação da massa específica do cimento.
- **Resistência mecânica:** A resistência mecânica do cimento é definida a partir da confecção e ruptura de corpos de prova de argamassa, em que a resistência do cimento corresponde a máxima tensão que a mistura suporta sem se romper, sendo determinada de acordo com a NBR 7.215/2019.
- **Exsudação:** É um fenômeno de segregação que ocorre em argamassas e concretos. Isto acontece quando os grãos de cimento são mais pesados que a água que os envolve, fazendo com que os mesmos sedimentem e a água aflore para superfície, prejudicando a uniformidade, resistência e durabilidade do produto. Este fenômeno está diretamente ligado a finura do cimento (BAUER, 2003) e é determinado com base nos requisitos normativos da NBR 15.558/2008.

- **Finura:** Também conhecida como superfície específica do produto, está relacionada a sua granulometria e é responsável por controlar a velocidade da reação de hidratação do mesmo. A NBR 11.579/2013 define os requisitos para determinar esta propriedade. O aumento da finura melhora a resistência à compressão, em especial a da primeira idade, diminui a exsudação, aumenta a impermeabilidade, a trabalhabilidade e a coesão dos concretos, bem como diminui a expansão em autoclave (BAUER, 2003).
- **Tempo de pega:** A pega é o processo de enrijecimento da pasta de cimento, em que é avaliado o momento que a pasta adquire certa consistência que impossibilita sua trabalhabilidade, sendo analisado o tempo equivalente ao início e ao fim da pega (NEVILLE, 2016). Determinada pela NBR 16.607/2018, tal propriedade tem por finalidade determinar o intervalo de tempo em que a pasta pode ser trabalhada.

Segundo Bauer (2003), as propriedades químicas do cimento Portland estão relacionadas diretamente ao processo de endurecimento por hidratação. Sendo assim, são analisadas as propriedades de estabilidade e calor de hidratação.

- **Estabilidade:** É uma característica associada a incidência eventual de indesejáveis expansões volumétricas após o endurecimento do concreto, sendo ocasionada pela hidratação de cal e magnésio livre presente na mistura. A estabilidade é determinada por meio dos ensaios de expansão em autoclave (BAUER, 2003).
- **Calor de hidratação:** A quantidade de calor gerado nas reações de hidratação, durante o processo de endurecimento do cimento, é considerável, sendo fundamental determinar essa energia, visto que a elevação da temperatura pode ocasionar trincas de contração ao fim do resfriamento da massa (BAUER, 2003).

#### ***4.1.2 Tipos de cimento***

Diante de tantas propriedades, naturalmente o cimento Portland possui várias tipologias, que se caracterizam, segundo a NBR 16.697/2018, por adições e propriedades especiais. Todas as tipologias são nomeadas pela sigla CP (Cimento Portland) e acrescida de algarismos romanos de I a V ou B quando se trata do cimento Portland branco, seguida de sua classe de resistência a compressão aos 28 dias – que pode ser 25, 32, 40 ou ARI (alta resistência inicial), estes valores representam a resistência mínima à compressão que deve ser atingida aos

28 dias de idade, em megapascals (MPa) –, e dos sufixos RS (resistentes a sulfatos) ou BC (baixo calor de hidratação), quando aplicáveis, conforme o Quadro 2.

**Quadro 2 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland**

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo		
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC		
	Com adição	CP I-S				
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E				
	Com material carbonático	CP II-F				
	Com material pozolânico	CP II-Z				
Cimento Portland de alto-forno		CP III				
Cimento Portland pozolânico		CP IV				
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI			
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40			
	Não estrutural	CPB	-	-		

Fonte: Adaptado de ABNT (2018).

- Cimento Portland Tipo I – (CP I):** Conhecido por cimento Portland comum, apresenta dois subtipos, CP I e CP I-S. A diferença entre eles é a presença e o percentual de suas adições, o CP I é composto por 95% a 100% de clínquer e gesso e por 0 a 5% de adições que podem ser escória de alto forno, material pozolânico e /ou carbonático (fíler de calcário), enquanto o CP I-S pode apresentar entre 6% a 10% de fíler de calcário destas adições e 90% a 94% de clínquer e gesso, de acordo com a NBR 16.697/2018.
- Cimento Portland Tipo II – (CP II):** Conhecido por cimento Portland composto, apresenta três subtipos, CP II-E, CP II-Z e CP II-F, compostos por escória, pozolana e fíler de calcário, respectivamente. O cimento CP II-E contém adição em torno de 6% a 34% de escória de alto forno, o que lhe confere a propriedade de baixo calor de hidratação, a porcentagem restante é de clínquer e gesso, podendo ainda receber até 15% de fíler de calcário. O cimento CP II-Z é constituído por cerca de 6% a 14% de material pozolânico, o que confere ao cimento menor permeabilidade, podendo ser adicionado até 15% de fíler de calcário, sendo a porcentagem restante de clínquer e gesso. O cimento CP II-F é composto por 11% a 25% de fíler de calcário e 75% a 89% de clínquer e gesso, sendo indicado para estruturas em concreto armado, argamassas de assentamento e revestimento, mas não é recomendado para ambientes muito agressivos.

- **Cimento Portland Tipo III – (CP III):** Conhecido por cimento Portland de alto forno, é constituído por 35% a 75% de escória e 25% a 65% de clínquer e gesso. As principais propriedades conferidas ao cimento pela adição de escória são baixo calor de hidratação, maior impermeabilidade, durabilidade e resistência a agentes agressivos.
- **Cimento Portland Tipo IV – (CP IV):** Conhecido por cimento Portland pozolânico, apresenta de 15% a 50% de pozolana e 45% a 85% de clínquer e gesso, podendo ser adicionado até 10% de fíler de calcário. O alto teor de pozolana confere ao cimento uma alta impermeabilidade e conseqüentemente maior durabilidade e resistência a agentes agressivos.
- **Cimento Portland Tipo V – (CP V-ARI):** Conhecido por cimento Portland de alta resistência inicial, é constituído por 90% a 100% de clínquer e gesso, podendo conter até 10% de fíler de calcário. Este cimento é produzido com uma dosagem diferenciada de calcário e argila do clínquer se comparado aos outros tipos de cimento e apresenta também uma granulometria menor, com o objetivo de conferir a este tipo de cimento uma alta resistência inicial do concreto em suas primeiras idades, podendo atingir 26 MPa de resistência à compressão em apenas 1 dia de idade, devido ao fato de apresentar na sua composição maior percentual de  $C_3S$  (silicato tri cálcio), que é responsável pela resistência nas primeiras idades.
- **Cimento Portland Branco – (CPB):** Este cimento é diferenciado pela coloração obtida a partir de matérias-primas com baixos teores de óxido de ferro e manganês, como por exemplo a utilização de caulim ao invés da argila ou o ferro é removido quando utilizado argila vermelha. O cimento Portland branco é classificado em dois subtipos, o estrutural e o não estrutural, o estrutural apresenta classes de resistência de 25, 32 e 40 MPa e é utilizado em concretos brancos para fins arquitetônicos, já o não estrutural não tem indicações de classe e é aplicado para fins não estruturais, como rejuntamento de azulejos (GALHADO, 2014).

No Quadro 3 é apresentado um resumo dos limites de composição de cada tipo de cimento, em porcentagem de massa, segundo a NBR 16.697/2018.

**Quadro 3 - Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa)**

Designação normalizada	Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material Carbonático
Cimento Portland comum	CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC	95-100	0-5		
	CP I-S			90-94	0	0	6-10
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno	CP II-E			51-94	6-34	0	0-15
Cimento Portland composto com material pozolânico	CP II-Z			71-94	0	6-14	0-15
Cimento Portland composto com material carbonático	CP II-F			75-89	0	0	11-25
Cimento Portland de alto forno	CP III			25-65	35-75	0	0-10
Cimento Portland pozolânico	CP IV			45-85	0	15-50	0-10
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V <sup>a</sup>	ARI		90-100	0	0	0-10
Cimento Portland branco	Estrutural	25, 32 ou 40		75-100	-	-	0-25
	Não estrutural	-	-	50-74	-	-	26-50

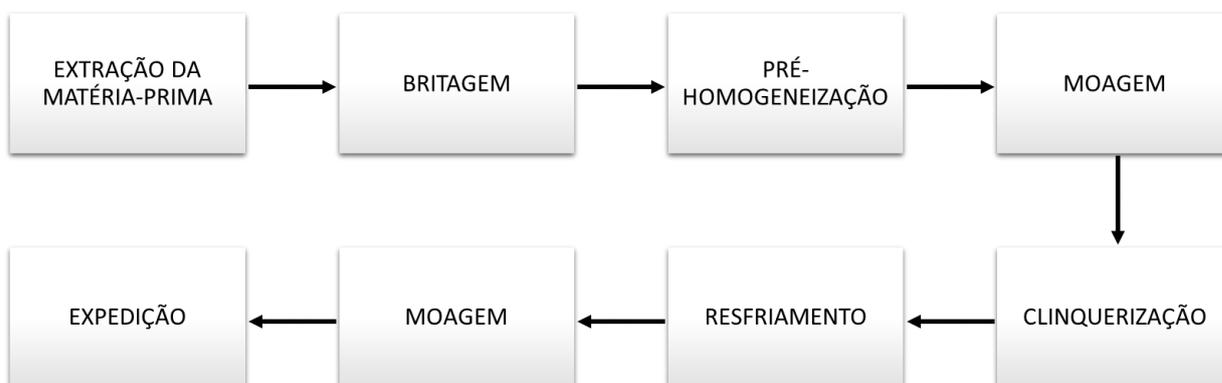
<sup>a</sup> No caso de cimento Portland de alta resistência a sulfatos (CP V-ARI RS), podem ser adicionadas escórias granuladas de alto-forno ou materiais pozolânicos.

Fonte: Adaptado de ABNT (2018).

### 4.1.3 Processo de fabricação

Independentemente do tipo de cimento, existe o processo de fabricação genérico que pode ocorrer por via úmida, no qual a matéria-prima é moída e homogeneizada dentro da água, ou por via seca, em que a homogeneização se dá sem o uso da água (BAUER, 2003). O primeiro modelo de produção, embora mais eficaz, encontra-se em desuso, visto que requer maior consumo de energia, logo o método por via seca é comumente empregado e utiliza das etapas apresentadas na Figura 1 para produzir o cimento.

**Figura 1 - Etapa do processo de fabricação do cimento Portland**



Fonte: Autor (2021).

#### 4.1.3.1 Extração da matéria-prima e britagem

O processo de extração da matéria-prima é realizado por meio da exploração de pedreiras, quando se trata de rochas e xistos, e por escavação, ao se tratar de argilas. Para a primeira situação é realizada uma avaliação da composição química dos diferentes setores da mina, a fim de determinar a área na qual será extraído o calcário que possua as características desejadas. A partir disso, é traçado um plano de fogo, que tem por finalidade alocar os explosivos de modo a tombar o material e reduzir seu tamanho, facilitando assim o transporte (LIMA, 2019). Já para as argilas, a escavação é realizada por meio da técnica usual de movimentação de terras ou por dragagens (BAUER, 2003)

A matéria-prima rochosa, após extração, contém blocos com dimensões que podem apresentar até 1 m<sup>3</sup>, então, para obter a granulometria adequada o material é submetido a um processo de beneficiamento que consiste em reduzir o tamanho dos grãos por meio de um britador do tipo primário (mandíbulas), produzindo grânulos de diâmetro igual ou inferior a 25mm (BAUER, 2003; CIMENTO ITAMBÉ, 2010; GALHARDO, 2014).

#### 4.1.3.2 Pré-homogeneização e moagem

O material britado é transportado para local de armazenamento, onde é empilhado em camadas, possibilitando mistura antes da alimentação do moinho, com a finalidade de realizar uma homogeneização preliminar, minimizando os efeitos das variações na composição química da matéria-prima (LIMA, 2011).

Na sequência, o material pré-homogeneizado, a argila e os outros aditivos, que podem ser minérios ferrosos, alumínicos ou materiais processados, são dosados nas balanças de cru e transportados para etapa seguinte, conhecida como moinho de farinha ou moagem de cru (SHIN-IKE, 2013). Neste processo, além de ser submetido a moagem, o material é misturado e secado, por meio do reaproveitamento do calor do vapor proveniente do forno. O produto subsequente é chamado de farinha ou cru, o qual é conduzido por via pneumática aos silos de homogeneização, a fim de controlar quimicamente a composição básica da mistura e realizar as eventuais correções (BAUER, 2003).

O processo de moagem é fundamental para qualidade do cimento, visto que a eficiência dessa etapa produz grãos muito finos, os quais facilitam as reações químicas necessárias entre os componentes da farinha.

#### *4.1.3.3 Clinquerização*

Após a homogeneização, a farinha crua é passada por um pré-aquecedor, onde é aquecida a uma temperatura que varia entre 700 a 900 °C antes de ser conduzida ao forno, o qual fornece os gases utilizados para realizar o pré-aquecimento (NEVILLE, 2016).

No passo seguinte, ocorre a clinquerização, que é considerada a principal etapa para fabricação do cimento, na qual a farinha é aquecida a uma temperatura que varia de 900 a 1400 °C em forno rotativo, produzindo o clínquer. Neste processo, ocorrem várias reações químicas com o material, formando óxido de cálcio, por meio da calcinação do calcário, que por sua vez, reage com silicatos de ferro e alumínio (SHIN-IKE, 2013), obtendo um material composto basicamente por silicato dicálcio ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), silicato tricálcio ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), aluminato tricálcio ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e ferro-aluminato-tetracálcio ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), podendo ser abreviado respectivamente como  $\text{C}_2\text{S}$ ,  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_3\text{A}$  e  $\text{C}_4\text{AF}$  (RODRIGUES et al., 2013).

O clínquer, apresenta forma de pelotas acinzentadas e foscas, tamanho variado e propriedades hidráulicas. O desempenho do forno é fundamental para este processo, visto que é responsável por controlar a qualidade e o comportamento do cimento.

#### *4.1.3.4 Resfriamento*

Na saída do forno, o clínquer passa pelo processo de resfriamento, no qual o material tem sua temperatura reduzida a faixa de 50 a 70 °C. Nesse processo, é importante que o

resfriamento ocorra de forma rápida, visto que caso seja muito lento ocasiona o retorno dos cristais de  $C_3S$  e  $C_2S$ , reduzindo a resistência final do cimento (LIMA, 2019)

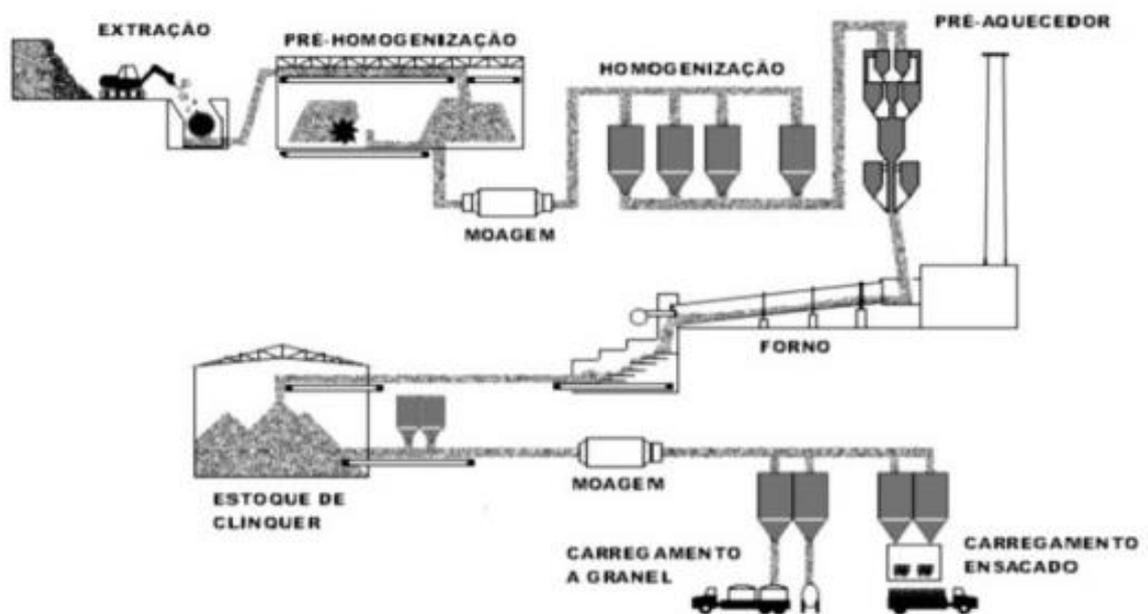
#### 4.1.3.5 Moagem

A moagem ocorre por meio de moinhos de bolas que consiste em vários compartimentos com esferas de aço progressivamente menores. Nesse processo, para serem moídos juntamente ao clínquer, são adicionados gesso, que é responsável por evitar a pega instantânea do cimento, calcário, pozolana e escória, de acordo com a porcentagem necessária para gerar os diferentes tipos de cimento (SHIN-IKE, 2013).

#### 4.1.3.6 Expedição

Após a etapa de moagem, o clínquer pulverizado é conduzido pneumáticamente para os separadores de ar, onde um ciclone reconduz os grãos de maior diâmetro ao moinho e os de menor aos silos de estocagem. O cimento finalizado é direcionado aos silos de estocagem para expedição, que pode ser realizada por ensacamento automaticamente em sacos de papel apropriado ou expedido a granel pelos veículos de transportes (BAUER, 2003). Todo o processo de produção de cimento apresentado está representado na Figura 2.

**Figura 2 - Representação esquemática do processo de produção do cimento Portland**



Fonte: Rodrigues et al. (2013).

#### **4.1.4 Cimento a granel**

Com o desenvolvimento das cidades, o aumento das obras de maior porte e a consequente necessidade de grandes volumes de concreto, a expedição de cimentos a granel tem se tornado uma opção de transporte cada vez mais procurada, principalmente devido a demanda das concreteiras. Segundo Bauer (2003), essa opção é a mais viável sempre que possível, visto que o cimento ensacado além de ter o preço do papel contribuindo de maneira considerável no custo do produto, ainda alcança uma perda com sacos de até 2%.

### **4.2 Componentes do concreto**

Araújo et al. (2000) define concreto como o produto resultante da mistura entre o aglomerante – cimento Portland – os agregados graúdo e miúdo, e a água, podendo ou não fazer uso de aditivos. Assim, ao longo dessa seção será apresentado cada um desses componentes.

#### **4.2.1 Aglomerantes**

Aglomerantes são materiais ativos, com propriedades ligantes e em geral pulverulentos, que, ao serem misturados com água, formam uma pasta responsável por proporcionar a união entre os grãos de agregados (ARAÚJO et al., 2000).

O principal aglomerante utilizado na construção civil para produção de concreto é o cimento Portland, especialmente devido a sua resistência mecânica. De acordo com a NBR 12.655/2015, o tipo de cimento deve ser definido de acordo com a aplicação do concreto, calor de hidratação do cimento, condições de cura, dimensões da estrutura e as condições as quais será exposta.

#### **4.2.2 Agregado**

Responsáveis por cerca de 75% do volume de concreto, os agregados têm grande relevância na qualidade do produto, visto que, de acordo com Neville (2016), o que a princípio eram considerados inertes, são materiais que têm suas propriedades físicas, térmicas e até mesmo químicas influenciando na durabilidade e desempenho do concreto, limitando sua resistência à compressão caso tais propriedades sejam indesejáveis.

De acordo com a NBR 7.211/2019, os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não podem conter substâncias que afetem a hidratação e endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra corrosão, a durabilidade e o aspecto externo do concreto.

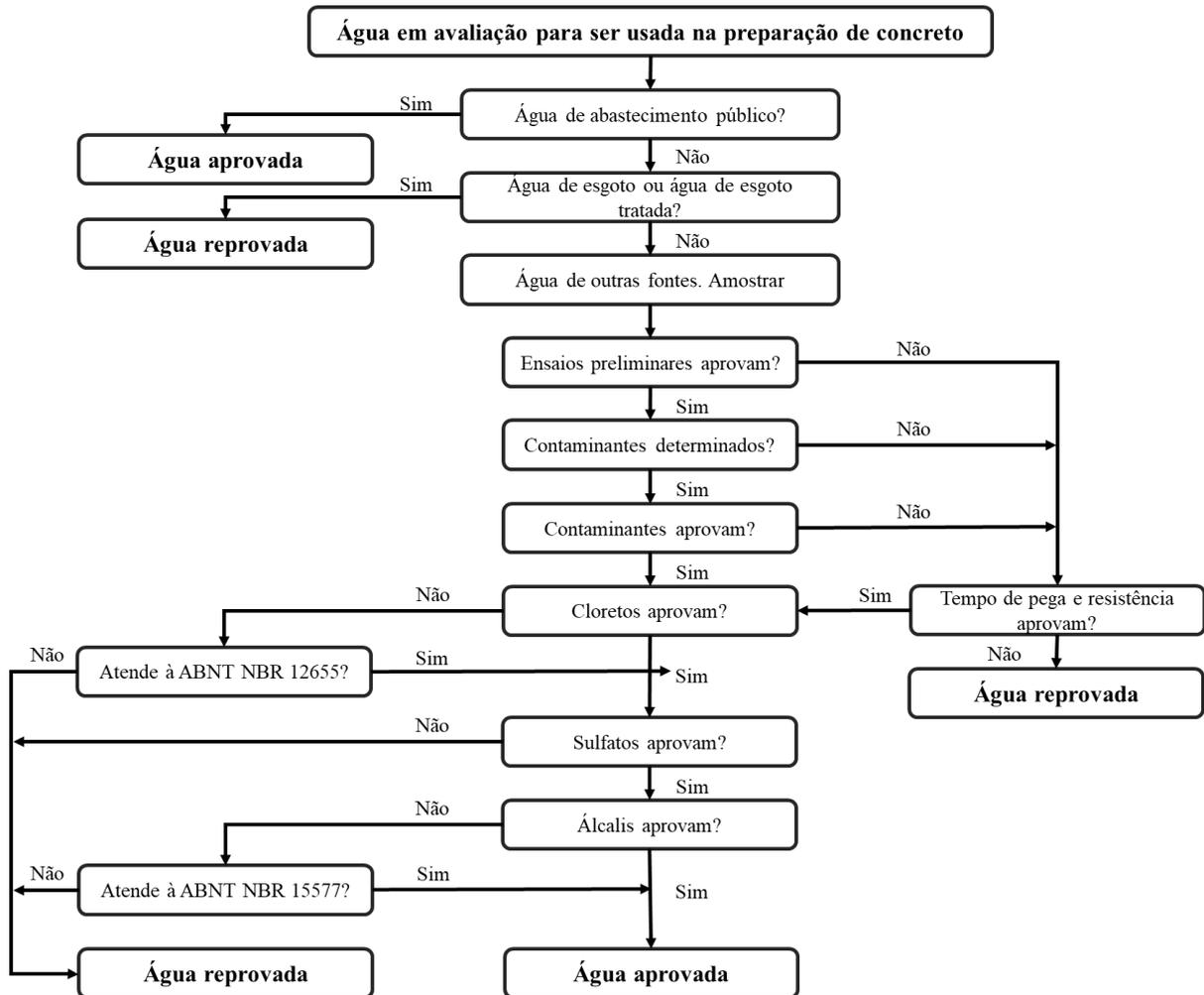
Os agregados podem ser classificados segundo sua origem – sendo naturais, industrializados ou reciclados –, peso específico – leves, médios ou pesados – e quanto às dimensões das partículas – miúdos ou graúdos –, sendo esta última a classificação que possui importância na confecção do concreto (BAUER, 2003). Assim a NBR 7.211/2019 define agregado miúdo como o material que passa no mínimo 85 % das partículas pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e fica retido na peneira de 150  $\mu$ m. Já o agregado graúdo compreende o material cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos até 85% das partículas na peneira de 4,75 mm.

#### **4.2.3 Água de amassamento**

A água, além de ser essencial na trabalhabilidade do concreto, é utilizada para promover as reações químicas de hidratação do cimento, que tem por finalidade garantir as propriedades de resistência e durabilidade. Essa substância ainda influencia em outros aspectos do concreto, como a pega, exsudação, retração por secagem, fluência, ingresso de sais, ataque químico ao concreto, corrosão das armaduras, entre outros (NEVILLE, 2016). Desse modo, a qualidade da água é fundamental para garantir a eficiência do concreto, visto que, quando comprometida pela presença de impurezas, pode reduzir a resistência e ocasionar problemas na estrutura (SOUSA, 2006).

Portanto, nem toda água que é apropriada para o consumo humano é boa para ser utilizada na produção de concreto, visto que, de acordo com Neville (2016), a água de amassamento não deve conter substâncias orgânicas indesejáveis ou constituintes inorgânicos em excesso, e dependendo da quantidade de citrato e açúcares, por exemplo, a água apta para ingestão se torna imprópria para confecção de concreto. Para isso a NBR 15.900-1/2009 determina parâmetros e condições para a água ser utilizada na produção de concreto, sendo a água potável a única considerada adequada sem a necessidade de ensaios. Outras fontes como água recuperada de processos de preparação do concreto, de fontes subterrâneas, de captação pluvial, de residual industrial e salobra, podem ser utilizadas desde que sigam os requisitos normativos da Figura 3.

**Figura 3 - Fluxograma de aceitação da água para amassamento do concreto**



Fonte: Adaptado de ABNT (2009).

#### 4.2.4 Aditivos

Segundo Neville (2016), o aditivo pode ser definido como um produto químico, físico ou físico-químico que possui o objetivo de obter uma ou mais alterações nas propriedades comuns do concreto, conferindo vantagens físicas e econômicas consideráveis, podendo ser adicionado durante a mistura dos materiais ou em uma mistura complementar antes do lançamento, a sua percentagem máxima em relação à massa de cimento é de 5%, exceto em casos especiais. A utilização de aditivos deve seguir os requisitos da NBR 11.768-1/2019 de acordo com a necessidade desejada.

### 4.3 Controle de qualidade

Para Bauer (2003), a exigência da qualidade do concreto está atrelada a responsabilidade da função que desempenha, desse modo, é necessária uma análise rigorosa das principais variáveis que influenciam suas propriedades, desde a seleção dos materiais, ao controle da produção e execução, avaliando especialmente sua capacidade de resistência.

#### 4.3.1 Insumos

O controle tecnológico dos insumos tem por finalidade comprovar se o material atende aos requisitos normativos exigidos na NBR 12.655/2015 para elaboração do concreto. Desse modo, as análises de granulometria, massa específica e teor de umidade são essenciais para verificar interferências na qualidade do concreto. A explicação dessas propriedades é dada a seguir:

- **Análise granulométrica:** É realizada com base nos requisitos da norma NBR NM 248/2003, na qual determina a quantidade de massa do agregado que deve passar por uma série de peneiras, estabelecendo também a abertura de malha de acordo com o tipo de agregado. A composição granulométrica influencia no entrosamento dos grãos, interferindo diretamente na trabalhabilidade e resistência do concreto.
- **Módulo de finura:** O módulo de finura do cimento é determinado segundo a NBR 11.579/2013 e consiste na relação entre a massa de cimento com dimensões dos grãos superiores a 75  $\mu\text{m}$  e a massa total. Já o módulo de finura do agregado é determinado de acordo com a NBR 7.211/2019 e é obtida a partir dos valores resultantes do ensaio de peneiramento e consiste na soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da análise granulométrica em massa sobre 100. Em ambos, determina-se a área superficial disponível para hidratação, influenciando diretamente na água necessária na mistura.
- **Massa específica:** É a relação entre a massa do agregado seco e seu volume. A massa específica é utilizada para definir o consumo de cada material e é determinada segundo os requisitos das normas NBR NM 52/2009, para agregados miúdos, e a NBR NM 53/2009, para agregados graúdos.

- **Teor de umidade:** É a relação entre a massa de água absorvida pelo agregado e a massa desse mesmo agregado seco (BAUER, 2003). Seu valor é utilizado na correção da quantidade de água necessária para o concreto, podendo ser determinado por vários métodos, especialmente de acordo com a NBR 9.939/2011.

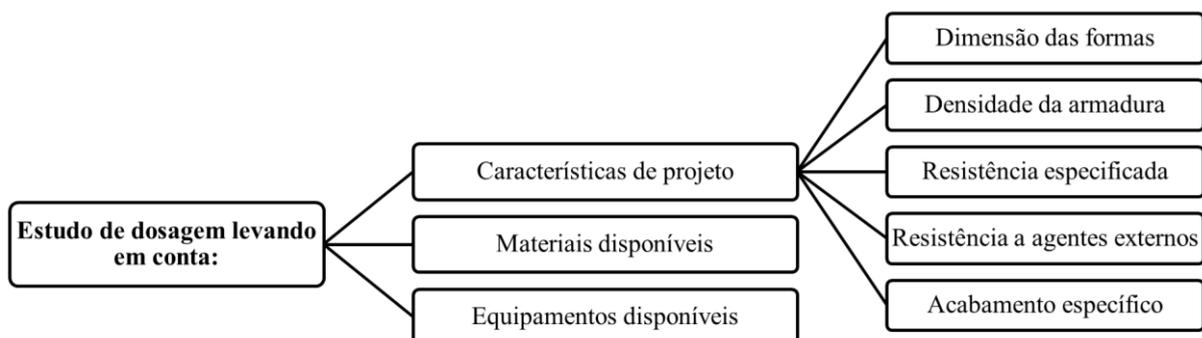
#### 4.3.2 Produção

O armazenamento correto dos materiais, a dosagem adequada, com base em todas as especificações de projeto e execução da concretagem, e o método de mistura, são etapas fundamentais na produção de concreto.

Durante o armazenamento, de acordo com a NBR 12.655/2015, os materiais componentes do concreto devem permanecer separados fisicamente até o momento da mistura, seja na obra ou na central dosadora, de acordo com sua classe ou graduação.

A etapa de dosagem consiste na escolha dos materiais e na determinação da proporção mais adequada e econômica destes, com a finalidade de alcançar as propriedades necessárias para o concreto fresco e endurecido, especialmente resistência, durabilidade e consistência (NEVILLE, 2016; ARAÚJO et al., 2000). Para Bauer (2003), o estudo da dosagem só é possível levando em contas as características de projeto, os materiais e os equipamentos disponíveis, como mostrado na Figura 4.

**Figura 4 - Estudo de dosagem de concreto**



Fonte: Adaptado de Bauer (2003).

O último passo da produção é a mistura, que consiste na obtenção de uma massa homogênea e com propriedades uniformes. Esse processo pode ser manual ou mecânico. O

método manual só é utilizado em ocasiões raras, devido à dificuldade de obter uma mistura uniforme (NEVILLE, 2016). Por outro lado, o método mecânico garante uma melhor uniformidade do concreto e, de acordo com a NBR 12.655/2015, a operação pode ser realizada na obra, por meio de betoneiras estacionárias, na central dosadora de concreto ou em caminhão betoneira.

### ***4.3.3 Transporte e operação de concretagem***

As etapas que sucedem a produção do concreto, são: transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto. O transporte pode ser tanto da central de concretagem até a obra, por meio de caminhão betoneira, quanto do local da obra até o ponto de lançamento, por meio de carrinho de mão, elevadores, guinchos ou através de bombeamento (ARAÚJO et al., 2000). Nessa etapa é necessário manter a homogeneidade do material, evitando vibrações excessivas que acarretem a segregação dos componentes. Outra condição importante é garantir que o processo seja rápido, para evitar que o concreto perca a trabalhabilidade ou seque (BAUER, 2003).

O lançamento consiste em colocar o concreto nas formas. A norma NBR 14.931/2004 estabelece diretrizes desde o preparo da superfície para receber a mistura, a aplicação e o modo que o material deve ficar depositado. Algumas diretrizes são pertinentes como as orientações de: o concreto não ser lançado após iniciar o processo de cura, ser aplicado o mais próximo possível de sua posição definitiva, manter a homogeneidade do concreto, entre outras. O lançamento deve ser contínuo, de modo que, após iniciado não haja nenhuma interrupção até o processo ter sido concluído.

Ainda segundo NBR 14.931/2004, durante e imediatamente após o lançamento o concreto deve ser vibrado, etapa denominada de adensamento, exceto para concretos autoadensáveis. O processo deve ser realizado de maneira cuidadosa, garantindo que todos os espaços das fôrmas sejam preenchidos, atentando para que não haja segregação dos materiais e não formem vazios ao redor das armaduras devido a sua vibração, prejudicando assim a aderência.

Finalizado o acabamento, o concreto deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais, evitando a evaporação da água pela superfície exposta e garantindo, assim, a resistência e durabilidade necessária (ABNT, 2004).

#### ***4.3.4 Resistência à compressão***

Para verificar a eficiência mecânica do concreto produzido, sempre se retira uma amostra para fazer corpos de prova e realizar ensaios de resistência à compressão, que é a tensão máxima que o concreto suporta sem entrar em colapso. Considerada uma das propriedades mais importantes do concreto endurecido, é adotada como parâmetro de dosagem e controle de qualidade devido à facilidade de execução do ensaio e a capacidade de ser relacionada com outras propriedades do concreto (SOUSA, 2006).

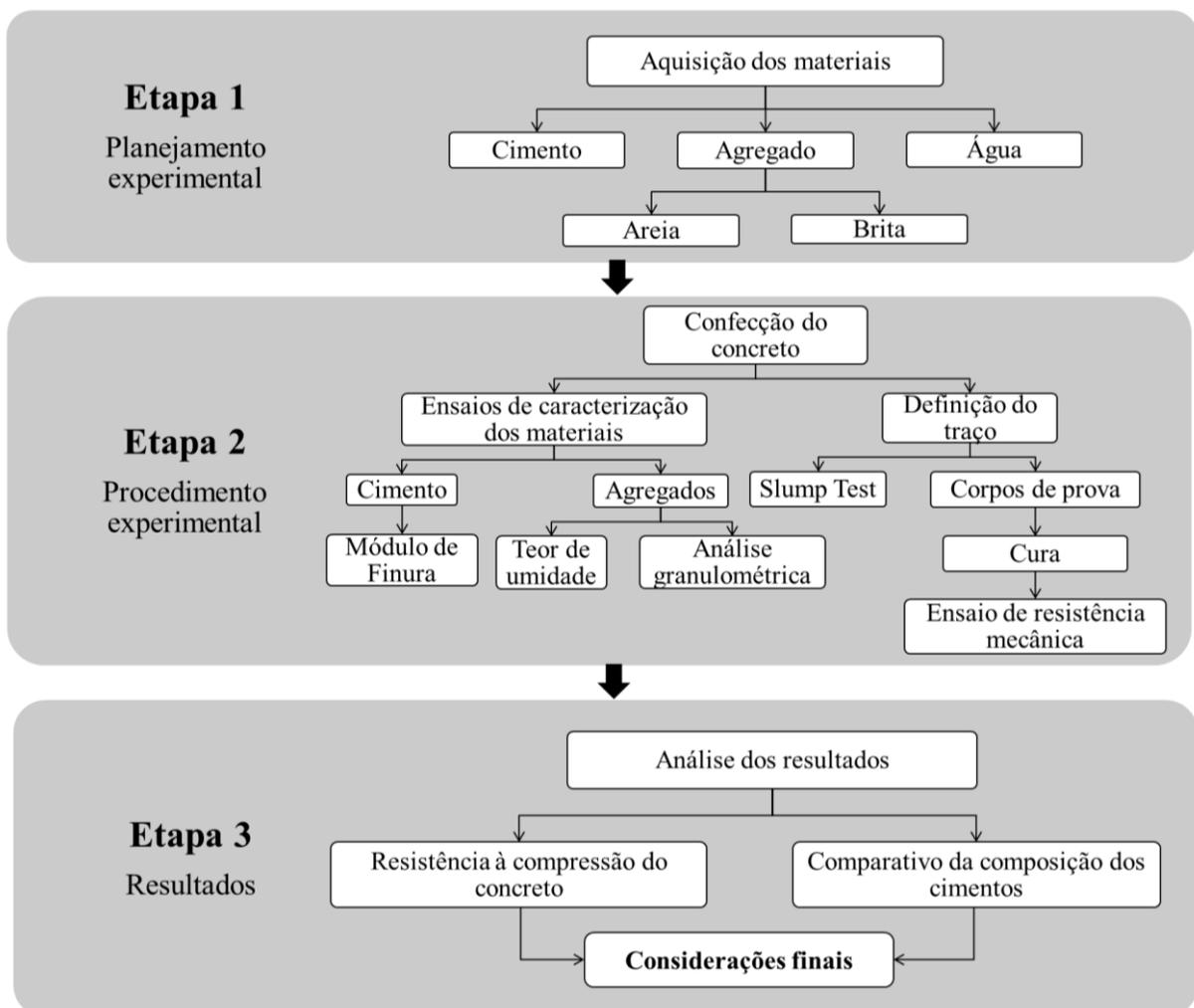
Essa resistência mecânica é determinada a partir do ensaio de compressão axial de corpos-de-prova, determinada pela norma NBR 5.738/2015 que estabelece requisitos para moldagem e cura dos testemunhos, que serão ensaiados de acordo com a NBR 5.739/2018. Para Bauer (2003), é imprescindível que os corpos-de-prova sejam o mais representativos possível e que a interpretação dos resultados do ensaio seja coerente, afim de garantir uma avaliação eficiente.

## 5 METODOLOGIA

Para a pesquisa foi utilizada uma abordagem quali-quantitativa, na qual houve uma análise comparativa tanto de dados e valores obtidos, quanto da qualidade e eficiência dos objetos de estudo.

Toda metodologia aplicada foi desenvolvida nos Laboratório de Materiais e de Estruturas do Campus VIII da Universidade Estadual da Paraíba. Inicialmente foram realizados ensaios de caracterização dos materiais, como teor de umidade e análise granulométrica dos agregados, e módulo de finura do cimento. A partir disso foi determinado o traço a ser utilizado, seguido da elaboração do concreto, ensaio de abatimento do tronco de cone e confecção dos corpos de prova. Por fim, foi determinada a resistência à compressão do concreto produzido. A Figura 5 representa o fluxograma das etapas metodológicas utilizada na pesquisa.

**Figura 5 - Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa**



Fonte: Autor (2021).

## **5.1 Caracterização dos materiais**

Caracterizar os materiais é fundamental para dosagem do concreto e, conseqüentemente, atingir a resistência desejada. Sendo assim, é necessária a identificação da tipologia dos materiais, bem como os ensaios de caracterização.

### **5.1.1 Cimento**

Para o estudo foram utilizados três cimentos a granel de diferentes fabricantes, adquiridos na cidade de João Pessoa – PB. Com o objetivo de preservar a imagem dos fabricantes, os cimentos foram nomeados em A, B e C, sendo o A e o B do tipo CP VI-ARI, e o que C do tipo CP II-F-40.

Na caracterização dos cimentos foi determinado sua finura para as três amostras, de acordo com as orientações da NBR 11.579/2013. O procedimento foi realizado de forma manual e em triplicata, por meio do peneiramento das amostras na peneira número 200, com abertura de malha de 75 µm. Como orientado por norma, o material foi peneirado por 30 minutos, com intervalos regulares para limpar a tela da peneira com o auxílio do pincel médio, pesando, por fim, o material retido na mesma.

### **5.1.2 Agregados**

Os agregados miúdo e graúdo utilizados no ensaio foram adquiridos em uma loja de materiais de construção da cidade de Araruna – PB. Inicialmente, com o primeiro agregado miúdo obtido, foram realizados dois ensaios de confecção e resistência à compressão dos corpos de prova de concreto, os quais não obtiveram resultados satisfatórios, desse modo, outra areia foi adquirida para realização de um terceiro ensaio e, a fim de garantir a qualidade e evitar possíveis matérias orgânicas no material, o agregado foi lavado e seco para o processo. Para a caracterização desses materiais, foram realizados os ensaios de teor de umidade do agregado miúdo e de análise granulométrica.

O ensaio de determinação do teor de umidade foi realizado pelo método da estufa e em triplicata, seguindo os requisitos normativos da NBR 9.939/2011. As amostras de areia foram pesadas e secas em estufa a 105 °C por 24 horas, até atingir massa constante. Em seguida, foram colocadas no dessecador para resfriar sem absorver umidade, para, por fim, pesar o material.

A determinação da granulometria, foi realizada pelo método manual e com base nas orientações normativas da NBR NM 248/2003. Inicialmente as amostras de agregado miúdo e gráudo foram lavadas e secas em estufa a 105 °C por 24 horas, pesadas e posteriormente peneiradas. Neste processo, foram empregadas as peneiras de abertura de malha de 25; 19; 12,5; 9,5; 6,3; 4,8; 2,4 e 1,2 mm para o agregado gráudo e as peneiras de abertura de malha de 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3 e 0,15 mm para o agregado miúdo. Por fim, o material retido em cada peneira foi pesado, a fim de determinar o módulo de finura e a dimensão máxima característica dos agregados, classificando-os de acordo com os dados dos Quadros 4 e 5.

**Quadro 4 - Classificação das areias quanto ao módulo de finura**

<b>Tipos</b>	<b>Módulo de Finura - MF</b>
Areia grossa	MF > 3,3
Areia média	2,4 < MF < 3,3
Areia fina	MF < 2,4

Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2011).

**Quadro 5 - Classificação das britas quanto à dimensão dos grãos**

<b>Classificação</b>	<b>Peneiras normalizadas</b>
Brita 0	4,8 - 9,5 mm
Brita 1	9,5 - 19,0 mm
Brita 2	19,0 - 25,0 mm
Brita 3	25,0 - 38,0 mm
Brita 4	38,0 - 64,0 mm
Pedra de mão	> 76 mm

Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2011).

### 5.1.3 Água

Para o experimento foi utilizada água proveniente do abastecimento público da cidade de Araruna – PB, coletada no Campus VIII da Universidade Estadual da Paraíba. Por ser água potável, não foi necessário a realização de ensaios que atestem sua qualidade.

## 5.2 Dosagem do concreto

O procedimento de dosagem do concreto foi realizado de acordo com o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP/ACI), no qual é necessário obter informações como a resistência à compressão esperada do cimento aos 28 dias e os dados da caracterização dos agregados – módulo de finura, diâmetro máximo, massa específica e massa

unitária. Este procedimento foi realizado duas vezes, visto que, após não atingir resultados satisfatórios nos dois primeiros ensaios, outro agregado miúdo foi adquirido, o que implicou na mudança do módulo de finura do agregado e consequente na mudança do consumo dos materiais e do traço.

Inicialmente, para calcular a resistência de dosagem aos 28 dias ( $f_{c,28}$ ), foi definida a resistência característica do concreto à compressão ( $f_{c,k}$ ) de acordo com a classe de agressividade ambiental da norma NBR 6.118/2014, bem como o desvio padrão de dosagem ( $S_d$ ), que é determinado de acordo com o método de medição dos materiais adotado no preparo do concreto. Desse modo, a resistência de dosagem é definida pela fórmula a seguir:

$$f_{c,28} = f_{c,k} + 1,65S_d \quad \text{Equação (1)}$$

Onde,

$f_{c,28}$  – Resistência média do concreto aos 28 dias;

$f_{c,k}$  – Resistência característica do concreto à compressão;

$S_d$  – Desvio padrão de dosagem.

Levando em consideração que a cidade de João Pessoa – PB é litorânea, onde a classe de agressividade é forte (III), foi adotado um  $f_{c,k}$  de 30 MPa. Sendo assim, o desvio padrão aplicável as classes C10 até C25 é igual a 4, condição A.

Após definir a resistência de dosagem, foi determinada a relação água/cimento ( $a/c$ ), fator que, de acordo com a Lei de Duff Abrams, é o principal responsável pela resistência do concreto, visto que são inversamente proporcionais. Para o cálculo desse fator, foi utilizada a Curva de Abrams, que o determina por meio da relação entre a resistência normal do cimento e a resistência de dosagem aos 28 dias.

Em seguida, foi determinado o consumo dos materiais. O valor a ser consumido de água foi obtido pela relação entre o abatimento do concreto, adotando um abatimento de 60 a 80 mm, e o diâmetro máximo do agregado graúdo, como mostra o Quadro 6.

Quadro 6 - Consumo de água aproximado

Consumo de água aproximada (l/m <sup>3</sup> )					
Abatimento (mm)	D <sub>máx</sub> agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
<b>40 a 60</b>	220	195	190	185	180
<b>60 a 80</b>	225	200	195	190	185
<b>80 a 100</b>	230	205	200	195	190

Fonte: Adaptado da Associação Brasileira de Cimento Portland.

Com o valor do consumo de água e da relação água cimento, é calculado o consumo de cimento pela fórmula:

$$C_{cim} = \frac{C_{\text{água}}}{a/c} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde,

$C_{cim}$  – Consumo de cimento;

$C_{\text{água}}$  – Consumo de água;

$a/c$  – Relação água/cimento.

O cálculo do consumo de agregado graúdo é obtido pela multiplicação da massa unitária compactada do agregado e do seu volume compactado seco por m<sup>3</sup> de concreto, como mostra a fórmula a seguir:

$$C_{brita} = M_b * V_b \quad \text{Equação (3)}$$

Onde,

$C_{brita}$  – Consumo de agregado graúdo;

$M_b$  – Massa unitária compactada do agregado graúdo;

$V_b$  – Volume compactado seco de agregado graúdo por m<sup>3</sup> de concreto, definido de acordo com o Quadro 7.

**Quadro 7 - Volume compactado seco de agregado graúdo (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de concreto)**

Módulo de Finura	Dimensão máxima do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
<b>1,8</b>	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
<b>2,0</b>	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
<b>2,2</b>	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
<b>2,4</b>	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
<b>2,6</b>	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
<b>2,8</b>	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
<b>3,0</b>	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
<b>3,2</b>	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
<b>3,4</b>	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
<b>3,6</b>	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Adaptado da Associação Brasileira de Cimento Portland.

Para o agregado miúdo, o consumo foi calculado pela multiplicação da massa específica e do volume de areia, como mostra a fórmula a seguir:

$$C_{areia} = m_{areia} * V_{areia} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde,

$C_{areia}$  – Consumo de agregado miúdo;

$m_{ar}$  – Massa específica da areia;

$V_{ar}$  – Volume de areia, determinado pela Equação 5.

$$V_{ar} = 1 - \left( \frac{C_{cim}}{m_{cim}} + \frac{C_{brita}}{m_b} + \frac{C_{\acute{a}gua}}{m_a} \right) \quad \text{Equação (5)}$$

Onde,

$m_{cim}$  – Massa específica do cimento;

$m_b$  – Massa específica do agregado graúdo;

$m_a$  – Massa específica da água.

Por fim, com o consumo dos materiais definidos, é determinado o traço do concreto, expresso proporcionalmente à quantidade de cimento necessária, como mostra a Equação 6.

$$\frac{C_{cim}}{C_{cim}} : \frac{C_{areia}}{C_{cim}} : \frac{C_{brita}}{C_{cim}} : \frac{C_{\acute{a}gua}}{C_{cim}} \quad \text{Equação (6)}$$

### 5.3 Ensaio do abatimento do tronco de cone

Após a mistura dos materiais em betoneira, foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone, de acordo com as orientações da NBR 16.889/2020. Inicialmente, foi posicionado o molde sobre a placa de base, apoiando as aletas com os pés a fim de mantê-lo estável. Em seguida, o molde foi preenchido em três camadas de concreto, sendo cada camada compactada com 25 golpes com o auxílio da haste de adensamento. Por fim, foi nivelada a superfície do molde, retirando-o cuidadosamente na direção vertical e colocando-o ao lado da massa de concreto, a fim de mensurar o abatimento, como mostrado na Figura 6.

**Figura 6 - Ensaio do abatimento do tronco de cone**



Fonte: Autor (2021).

### 5.4 Confeção e ensaio de ruptura dos corpos de prova

O procedimento da confecção dos corpos de prova foi realizado em triplicata e seguiu os requisitos da NBR 5.738/2015, utilizando moldes cilíndricos de dimensões 10 cm x 20 cm. Três ensaios foram realizados, visto que, os dois primeiros não obtiveram resultados satisfatórios.

Inicialmente, os moldes foram preparados, sendo revestidos por uma fina camada de desmoldante, para facilitar a retirada do testemunho. Em seguida, iniciou a moldagem dos corpos de prova, depositando o concreto no molde em duas camadas de volume aproximadamente iguais e adensando o material, como auxílio da haste de adensamento, com 12 golpes. Por fim, após o adensamento da última camada, foi realizado o rasamento da

superfície com a borda do molde, com o auxílio de uma colher de pedreiro. A Figura 7 representa os corpos de prova moldados.

**Figura 7 - Corpos de prova**



Fonte: Autor (2021).

Após a moldagem, os corpos de prova permaneceram no molde por 24 horas, quando foram desmoldados e colocados submersos em água, cura úmida, por 27 dias, seguindo as orientações na norma NBR 5.738/2015, representados na Figura 8.

**Figura 8 - Cura dos corpos de prova**



Fonte: Autor (2021).

Por fim, com base nos requisitos normativos da NBR 5.739/2018, foi realizado o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias de cura. Anteriormente a execução, as faces dos

pratos de carga e do corpo de prova foram limpas e secas, para, em seguida, centralizar cuidadosamente os corpos de prova no prato inferior, com o auxílio dos círculos concêntricos de referência, e realizar o ensaio de resistência à compressão.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Caracterização dos materiais

#### 6.1.1 Módulo de finura do cimento

Os ensaios de módulo de finura realizados com os cimentos nomeados A, B e C, obtiveram os resultados apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente.

**Tabela 1 - Dados do ensaio de módulo de finura do cimento A**

<b>Módulo de finura do cimento do cimento A</b>				
<b>Amostra</b>	<b>Inicial (g)</b>	<b>Passante (g)</b>	<b>Retido (g)</b>	<b>Módulo de finura (%)</b>
<b>1</b>	50,00	49,77	0,23	0,46
<b>2</b>	50,00	49,82	0,18	0,36
<b>3</b>	50,00	49,84	0,16	0,32
<b>Média do módulo de finura (%)</b>				0,38
<b>Desvio padrão</b>				0,059

Fonte: Autor (2021).

**Tabela 2 - Dados do ensaio de módulo de finura do cimento B**

<b>Módulo de finura do cimento do cimento B</b>				
<b>Amostra</b>	<b>Inicial (g)</b>	<b>Passante (g)</b>	<b>Retido (g)</b>	<b>Módulo de finura (%)</b>
<b>1</b>	50,00	49,88	0,12	0,24
<b>2</b>	50,00	49,87	0,13	0,26
<b>3</b>	50,00	49,77	0,23	0,46
<b>Média do módulo de finura (%)</b>				0,32
<b>Desvio padrão</b>				0,099

Fonte: Autor (2021).

Tabela 3 - Dados do ensaio de módulo de finura do cimento C

<b>Módulo de finura do cimento do cimento C</b>				
<b>Amostra</b>	<b>Inicial (g)</b>	<b>Passante (g)</b>	<b>Retido (g)</b>	<b>Módulo de finura (%)</b>
<b>1</b>	50,00	49,24	0,76	1,52
<b>2</b>	50,00	49,20	0,80	1,60
<b>3</b>	50,00	49,11	0,89	1,78
<b>Média do módulo de finura (%)</b>				1,63
<b>Desvio padrão</b>				0,108

Fonte: Autor (2021).

Com base nos resultados obtidos, é possível constatar que todos os cimentos estão dentro dos padrões de qualidade definidos na norma NBR 16.697/2018, que determina um padrão de finura inferior ou igual a 6% para os cimentos A e B e 10% para o cimento C.

### 6.1.2 Teor de umidade do agregado

A Tabela 4 representa os resultados do ensaio de determinação do teor de umidade da primeira areia obtida.

Tabela 4 - Dados do ensaio de determinação do teor de umidade

<b>Amostra</b>	<b>Massa úmida da areia (g)</b>	<b>Massa seca da areia (g)</b>	<b>Teor de umidade (%)</b>
<b>1</b>	10	9,97	0,301
<b>2</b>	10	9,96	0,402
<b>3</b>	10	9,98	0,200
<b>Média do teor de umidade (%)</b>			0,301
<b>Desvio padrão</b>			0,082

Fonte: Autor (2021).

Desse modo, o teor de umidade da areia em estudo é de  $0,301 \pm 0,082$  %, sendo descontado da quantidade de água necessária para confecção do concreto, a fim de não interferir na relação água/cimento.

A segunda areia obtida foi lavada e seca em estufa para confecção do concreto, retirando assim toda sua umidade, conseqüentemente, não foi necessário ter seu teor de umidade definido.

### 6.1.3 Análise granulométrica do agregado

As duas areias ensaiadas têm suas análises granulométricas apresentadas nas Tabelas 5 e 6.

**Tabela 5 - Dados da análise granulométrica da primeira areia ensaiada (areia 1)**

<b>Peneira (mm)</b>	<b>Retido (g)</b>	<b>Retido (%)</b>	<b>Acumulado (g)</b>	<b>Acumulado (%)</b>
<b>4,8</b>	47,04	4,70	47,04	4,70
<b>2,4</b>	51,30	5,13	98,34	9,83
<b>1,2</b>	97,85	9,78	196,19	19,62
<b>0,6</b>	197,89	19,79	394,08	39,40
<b>0,3</b>	382,58	38,25	776,66	77,66
<b>0,15</b>	188,54	18,85	965,20	96,51
<b>Fundo</b>	34,89	3,49	1000,09	100
<b>Módulo de finura (%)</b>				2,48

Fonte: Autor (2021).

**Tabela 6 - Dados da análise granulométrica da segunda areia ensaiada (areia 2)**

<b>Peneira (mm)</b>	<b>Retido (g)</b>	<b>Retido (%)</b>	<b>Acumulado (g)</b>	<b>Acumulado (%)</b>
<b>4,8</b>	0	0	0	0
<b>2,4</b>	65,81	6,58	65,81	6,58
<b>1,2</b>	229,30	22,93	295,11	29,51
<b>0,6</b>	301,30	30,13	596,41	59,64
<b>0,3</b>	272,48	27,25	868,89	86,88
<b>0,15</b>	99,20	9,92	968,09	96,80
<b>Fundo</b>	31,91	3,19	1000	100
<b>Módulo de finura (%)</b>				2,79

Fonte: Autor (2021).

As areias 1 e 2 apresentam dimensão máxima do agregado igual a 4,8 mm e módulo de finura igual a 2,48% e 2,79%, respectivamente. Ambas as areias atendem os requisitos normativos da NBR 7.211/2019 para utilização na confecção de concreto, tendo seus módulos de finura dentro da zona ótima, e são classificadas como areias médias. Desse modo, por atenderem os limites normativos da distribuição granulométrica e a classificação para utilização em concreto, ambas são qualificadas para este fim.

A distribuição granulométrica do agregado graúdo está representada na Tabela 7.

Tabela 7 - Dados da análise granulométrica do agregado graúdo

<b>Peneira (mm)</b>	<b>Retido (g)</b>	<b>Retido (%)</b>	<b>Acumulado (g)</b>	<b>Acumulado (%)</b>
<b>25</b>	26,83	0,54	26,83	0,54
<b>19</b>	555,68	11,11	582,51	11,65
<b>12,5</b>	3912,78	78,24	4495,29	89,89
<b>9,5</b>	426,66	8,53	4921,95	98,42
<b>6,3</b>	72,62	1,45	4994,57	99,87
<b>4,8</b>	1,21	0,02	4995,78	99,89
<b>2,4</b>	0,36	0,01	4996,14	99,90
<b>1,2</b>	0,21	0,00	4996,35	99,90
<b>Fundo</b>	4,76	0,10	5001,11	100
<b>Módulo de finura (%)</b>				6,00

Fonte: Autor (2021).

O agregado graúdo apresenta dimensão máxima dos grãos igual a 25 mm, sendo classificado com brita 2. De acordo com os padrões normativos da NBR 7.211/2019, o único percentual acumulado que ultrapassa os limites definidos em norma é o material retido na peneira 12,5 mm, visto que deveria atender ao intervalo de 40% a 65%, podendo variar no máximo 5%, e apresenta um percentual de 89,89%. Desse modo, embora seja classificada como a brita mais indicada para confecção de concreto, não atende os limites exigidos na norma, podendo assim interferir na resistência do concreto.

## 6.2 Dosagem do concreto

As Tabelas 8 e 9 apresentam os dados da primeira e segunda dosagem do concreto, respectivamente.

Tabela 8 - Primeira dosagem do concreto

<b>Resistência de dosagem aos 28 dias (MPa)</b>	36,60
<b>Relação água/cimento</b>	0,53
<b>Consumo de cimento (kg/m<sup>3</sup>)</b>	195,00
<b>Consumo de água (l/m<sup>3</sup>)</b>	367,92
<b>Consumo de agregado graúdo (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1126,85
<b>Consumo de agregado miúdo (kg/m<sup>3</sup>)</b>	720,89
<b>Traço final</b>	1 : 1,96 : 3,06 : 0,53

Fonte: Autor (2021).

Tabela 9 - Dados da segunda dosagem do concreto

<b>Resistência de dosagem aos 28 dias (MPa)</b>	36,60
<b>Relação água/cimento</b>	0,53
<b>Consumo de cimento (kg/m<sup>3</sup>)</b>	195,00
<b>Consumo de água (l/m<sup>3</sup>)</b>	367,92
<b>Consumo de agregado graúdo (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1080,35
<b>Consumo de agregado miúdo (kg/m<sup>3</sup>)</b>	761,53
<b>Traço final</b>	1 : 2,07 : 2,94 : 0,53

Fonte: Autor (2021).

A mudança do agregado miúdo implicou em uma aparentemente pequena diferença da quantidade necessária de agregado miúdo e graúdo, que, em grandes volumes de concreto, pode ser significativa, ressaltando assim, a importância da caracterização dos materiais na dosagem.

### 6.3 Ensaio do abatimento do tronco de cone

Os três ensaios realizados com os três cimentos estudados, obtiveram os resultados do abatimento do tronco de cone de acordo com o apresentado nas Tabelas 10, 11 e 12.

Tabela 10 - Dados do primeiro ensaio de abatimento do tronco de cone

<b>Ensaio 1</b>	
<b>Cimento</b>	<b>Abatimento do tronco de cone (mm)</b>
<b>A</b>	10
<b>B</b>	15
<b>C</b>	10

Fonte: Autor (2021).

**Tabela 11 - Dados do segundo ensaio de abatimento do tronco de cone**

<b>Ensaio 2</b>	
<b>Cimento</b>	<b>Abatimento do tronco de cone (mm)</b>
<b>A</b>	35
<b>B</b>	20
<b>C</b>	30

Fonte: Autor (2021).

**Tabela 12 - Dados do terceiro ensaio de abatimento do tronco de cone**

<b>Ensaio 3</b>	
<b>Cimento</b>	<b>Abatimento do tronco de cone (mm)</b>
<b>A</b>	30
<b>B</b>	30
<b>C</b>	55

Fonte: Autor (2021).

Na dosagem do concreto foi estabelecido um consumo de água para obter um abatimento de 60 mm a 80 mm, o que, analisando os dados, é possível perceber que não foi atingido em nenhum dos ensaios, sendo o terceiro o que obteve o valor mais próximo. O resultado não satisfatório do ensaio pode ser justificado por diversos fatores, incluindo a granulometria dos agregados.

#### **6.4 Ensaio de resistência à compressão**

As Tabelas 13, 14 e 15 apresentam os dados obtidos dos três ensaios de compressão axial realizados para os cimentos A, B e C. Foram confeccionados três corpos de prova para cada cimento em todos os ensaios.

Tabela 13 - Dados do primeiro ensaio de resistência à compressão

<b>Cimento</b>	<b>Corpo de prova</b>	<b>Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)</b>	<b>Resistência à compressão média aos 28 dias (MPa)</b>
<b>A</b>	CP 1	35,501	31,63 ± 3,13
	CP 2	27,826	
	CP 3	31,573	
<b>B</b>	CP 1	24,892	23,15 ± 2,04
	CP 2	24,270	
	CP 3	20,293	
<b>C</b>	CP 1	16,335	19,03 ± 2,61
	CP 2	22,566	
	CP 3	18,203	

Fonte: Autor (2021).

Tabela 14 - Dados do segundo ensaio de resistência à compressão

<b>Cimento</b>	<b>Corpo de prova</b>	<b>Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)</b>	<b>Resistência à compressão média aos 28 dias (MPa)</b>
<b>A</b>	CP 1	36,046	38,16 ± 4,24
	CP 2	34,355	
	CP 3	44,067	
<b>B</b>	CP 1	25,303	28,36 ± 2,56
	CP 2	28,221	
	CP 3	31,569	
<b>C</b>	CP 1	16,028	20,81 ± 3,40
	CP 2	23,612	
	CP 3	22,803	

Fonte: Autor (2021).

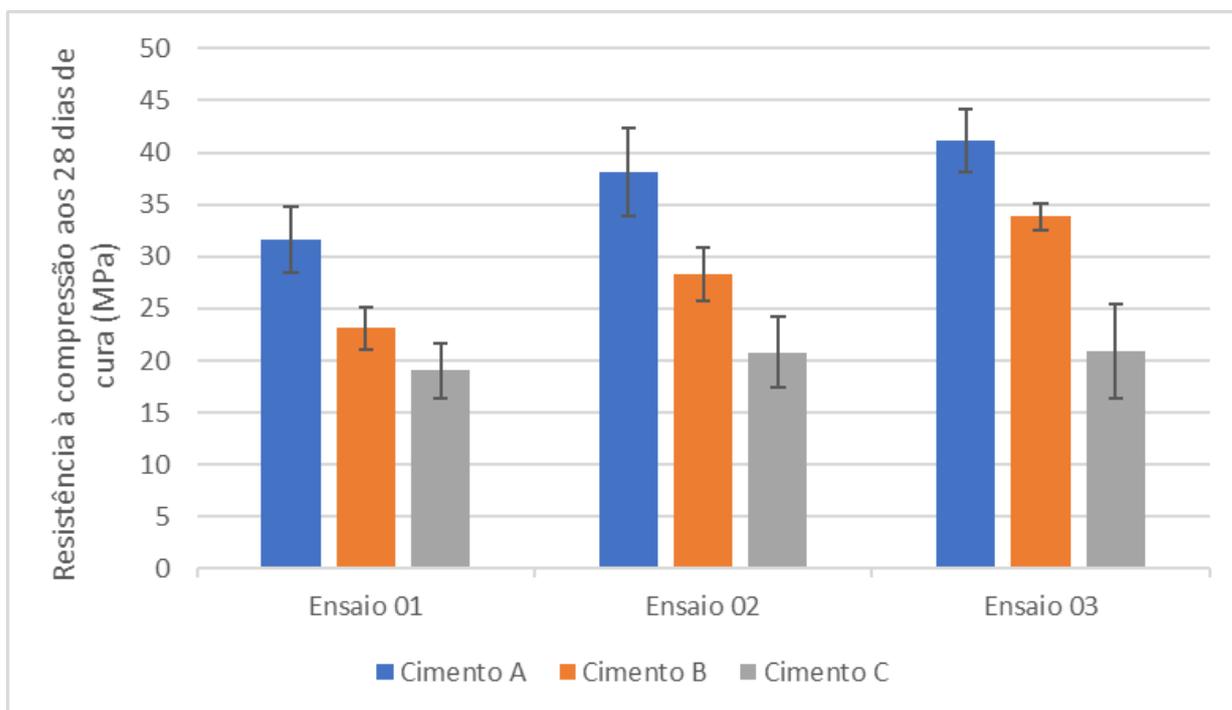
Tabela 15 - Dados do terceiro ensaio de resistência à compressão

<b>Cimento</b>	<b>Corpo de prova</b>	<b>Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)</b>	<b>Resistência à compressão média aos 28 dias (MPa)</b>
<b>A</b>	CP 1	42,659	41,16 ± 3,00
	CP 2	43,851	
	CP 3	36,973	
<b>B</b>	CP 1	32,205	33,86 ± 1,300
	CP 2	34,004	
	CP 3	35,382	
<b>C</b>	CP 1	14,858	20,92 ± 4,53
	CP 2	22,153	
	CP 3	25,751	

Fonte: Autor (2021).

Os valores obtidos do ensaio de resistência estão representados na Figura 9.

**Figura 9 - Dados dos ensaios de resistência a compressão**



Fonte: Autor (2021).

Analisando os resultados obtidos, é possível observar que no primeiro ensaio nenhum dos concretos atingiu a resistência esperada na dosagem, 36,6 MPa, embora o cimento A tenha alcançado a resistência de projeto, 30 MPa. Alguns fatores podem estar atrelados a esse resultado, como qualidade dos agregados e/ou cimento, ou até mesmo problemas na execução.

Devido aos resultados insatisfatórios da primeira análise, um segundo ensaio foi realizado, com um maior controle na execução a fim descartar possíveis problemas atrelados a isso, no qual, como é possível analisar na Tabela 14, apenas o cimento A alcançou o parâmetro de resistência aos 28 dias. Desse modo, fatores como qualidade do cimento e/ou do agregado, como por exemplo, presença de matéria orgânica nos agregados, podem ser considerados como possíveis causas das resistências abaixo do esperado.

No terceiro ensaio realizado, no qual foi considerada a hipótese de que a má qualidade do agregado miúdo poderia ser o motivo da baixa resistência dos concretos e outra areia foi adquirida, lavando-a a fim de eliminar possíveis matérias orgânicas, resultados mais satisfatórios foram obtidos. De acordo com os dados da Tabela 15, houve um aumento de resistência dos concretos, embora não tão significativa para o produzido com cimento C, de

modo que o concreto produzido com o cimento A atingiu e superou a resistência para os 28 dias, enquanto o cimento B conseguiu alcançar a resistência de projeto.

Comparando os três ensaios é possível analisar um padrão nos resultados dos diferentes tipos de cimento, o do tipo A sempre alcança os maiores valores de resistência à compressão, enquanto o tipo C os piores, estando assim, o tipo B sempre nos valores intermediários. Embora tenham sido produzidos para atingir os mesmos valores de resistência à compressão, a discrepância dos valores é muito significativa, principalmente comparando o tipo C com o A e B, ainda que o cimento C seja de tipologia diferente dos outros dois.

De acordo com Bauer (2003), as proporções dos compostos constituintes do cimento têm correlação direta com as suas propriedades finais, incluindo a resistência à compressão em todas as idades. O silicato tricálcico ( $C_3S$ ), por exemplo, é o principal responsável pela resistência à compressão nas primeiras idades de cura. Desse modo, é possível associar a discrepância dos resultados a composição química de cada cimento, mesmo que os cimentos A e B tenham a mesma tipologia, visto que, por norma, as composições de determinada tipologia seguem um intervalo e não um valor específico.

## 7 CONCLUSÃO

A qualidade do cimento é fundamental para garantir diversas propriedades ao concreto, principalmente resistência à compressão. Atrelado a essas características estão os tipos de cimento e os limites da composição química de cada um, que permitem que diferentes empresas produzam o material com as mesmas tipologias, mas qualidades distintas.

Os concretos produzidos com o cimento A obtiveram os resultados de resistência à compressão mais satisfatórios, atendendo, em todos os três ensaios, no mínimo a resistência de projeto (30MPa), atingindo na terceira análise de compressão axial uma resistência de 41,16 MPa. Enquanto o cimento B, com a mesma tipologia apenas no último ensaio alcançou a resistência esperada de projeto, atingindo o valor de resistência à compressão de 33,86 MPa. Já o cimento C, de tipologia distinta dos outros dois, não atingiu em nenhum dos ensaios a resistência à compressão necessária, alcançando na terceira análise o valor de 20,92 MPa, sendo considerado de qualidade inferior, principalmente se comparados ao A e B.

Por meio do estudo realizado, é perceptível que no mercado da construção civil da cidade de João Pessoa – PB há cimentos a granel de diferentes qualidades, o que implica diretamente na eficiência dos concretos produzidos a partir deles, tornando crucial a análise dos cimentos adquiridos, atestando previamente sua eficácia, a fim de preservar a qualidade exigida nas edificações e evitar possíveis prejuízos com demolições de estruturas que não atinjam a resistência necessária.

Apesar dessa constatação, a pesquisa não foi capaz de responder as causas de qualidade entre os cimentos, que provavelmente está atrelada ao processo produtivo destes, sendo assim, pesquisas futuras são necessárias no sentido de caracterizar a composição química dos cimentos e esclarecer a influência desses elementos na resistência mecânica do concreto.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R. C. L.; RODRIGUES, E. H. V.; FREITAS, E. G. A. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: Editora Universidade Rural, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **34ª REUNIÃO DE TÉCNICOS DA INDÚSTRIA DO CIMENTO: PARÂMETROS DA DOSAGEM RACIONAL DO CONCRETO**. São Paulo: ABCP, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**. Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15558**. Concreto – Determinação da exsudação. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1**. Água para amassamento do concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**. Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9939**. Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8809**. Cimento Portland – Determinação do calor de hidratação a partir do calor de dissolução – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579**. Cimento Portland – Determinação de índice de finura por meio da peneira 75  $\mu\text{m}$  (n° 200). Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**. Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**. Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16607**. Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro: ABNT, 2018b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**. Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2019a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768-1**. Aditivos químicos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro: ABNT, 2019c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889**. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BARROS, L. S.; FLEXA R. G. C.; LIPPI M. C. Análise da gestão da cadeia de suprimentos da indústria de cimento: um estudo de caso em uma empresa produtora no Brasil. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 38., 2018, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: ENEGEP, 2018.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. rev. reim. Rio de Janeiro: LCT, 2003.

BARBOSA, L. S.; ALMEIDA FILHO, F. M. Concreto autoadensável com baixo consumo de cimento: impacto da redução do consumo de cimento na resistência à compressão. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, p. 1-15, 2018.

CASTRO, E. **Estudo da resistência à compressão do concreto por meio de testemunhos de pequeno diâmetro e esclerometria**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

GALHARDO, P. G. **Estudo da produção de cimento com ênfase no classe G**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

LIMA, A. B. **O processo produtivo do cimento Portland**. 2011. Monografia (Especialização em Engenharia de Recursos Minerais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LIMA, J. A. N. A. **Rotina do processo produtivo e equipamentos para fabricação de cimento Portland na indústria Mizu-Baraúna/RN**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2019.

- MASCOLO, R.; MASUERO, A. B.; DAL MOLIN, D. C. Concreto usinado: análise da variação da resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do caminhão betoneira. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 194-210, 2013.
- MAURY, M. B.; BLUMENSCHNEIN, R. N. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 75-96, 2012.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
- RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011.
- RODRIGUES, D. C. Q.; SOARES JR, A. P.; COSTAJR, E. F.; COSTA, A. O. S. Modelagem matemática de um forno rotativo empregado na produção de clínquer. **Cerâmica**, São Paulo, v. 59, p. 302-309, 2013.
- SHIN-IKE, V. K. **Estudo da instalação de instrumentos *wireless* no monitoramento de uma torre de ciclones de indústria cimenteira**. 2013. Monografia (Especialização em Automação Industrial) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- SILVA, D. F.; FINEZA, A. G.; SOARES, G. S. Caracterização do cimento Portland composto com escória (CP II E 32). **Revista Científica Univiçosa**, Viçosa, v. 10, n. 1, p. 579-584, 2018.
- SOUSA, G. G. **Influência dos procedimentos de ensaio à compressão de corpos-de-prova cilíndricos no controle de qualidade do concreto**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.