

PAULENA ARAÚJO SANTANA

**AVALIAÇÃO DO GANHO DE RESISTÊNCIA EM FUNÇÃO DA IDADE DE
HIDRATAÇÃO DOS CIMENTOS PORTLAND TRADICIONALMENTE
COMERCIALIZADOS NA CIDADE DE CAJAZEIRAS-PB**

PAULENA ARAÚJO SANTANA

**AVALIAÇÃO DO GANHO DE RESISTÊNCIA EM FUNÇÃO DA
IDADE DE HIDRATAÇÃO DOS CIMENTOS PORTLAND
TRADICIONALMENTE COMERCIALIZADOS NA CIDADE DE
CAJAZEIRAS-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
à Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-
Campus Cajazeiras, como parte dos
requisitos para a obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Daniel Torres Filho
Coorientador: Gastão Coelho de Aquino
Filho

Cajazeiras
2019

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Daniel Andrade CRB-15/593

S232a

Santana, Paulena Araújo

Avaliação do ganho de resistência em função da idade de hidratação dos Cimentos Portland tradicionalmente comercializados na cidade de Cajazeiras-PB / Paulena Araújo Santana; orientador Daniel Torres Filho; coorientador Gastão Coelho de Aquino Filho .- Cajazeiras, 2019.-
54 f.: il.

Orientador: Daniel Torres Filho.

TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2019.

1. Cimento Portland 2. Argamassas 3. Resistência Mecânica -
Cimentos I. Título

666.942(0.067)

PAULENA ARAÚJO SANTANA

**AVALIAÇÃO DO GANHO DE RESISTÊNCIA EM FUNÇÃO DA
IDADE DE HIDRATAÇÃO DOS CIMENTOS PORTLAND
TRADICIONALMENTE COMERCIALIZADOS NA CIDADE DE
CAJAZEIRAS-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
como parte dos requisitos para a obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Eng. Civil Daniel Torres Filho – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador

Eng. Civil Gastão Coelho de Aquino Filho – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Coorientador

Eng. Civil Robson de Arruda Campos – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador

Dedico este trabalho aqueles que, além de me darem a vida, também me ensinaram a vive-la, meus pais Alcileno e Paula.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço àquele que permitiu que tudo isso fosse possível, por toda determinação e força ao longo desses cinco anos, sem ele nada é possível, Deus.

Aos meus pais Alcileno e Paula, que são meu orgulho e inspiração por toda essa caminhada, me sustentando para sair de cabeça erguida em todas as difíceis fases e por quem sempre me fundamento para qualquer atitude a tomar, almejando nunca os decepcionar. Amo vocês.

A todos da minha família que me apoiam desde o início, em especial minha tia Cristiana, por todo o apoio e companheirismo na cidade de Cajazeiras-PB.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba, em especial ao *Campus* Cajazeiras, que se tornou minha segunda casa desde o ensino médio até a graduação, possibilitando a realização de um sonho, tornando possível a realização dessa pesquisa. A todo o corpo docente do *Campus*, pela contribuição de minha formação, como também à direção pelo apoio por todos esses anos. A coordenação de limpeza do *Campus*, por sempre se dispor a ajudar ao longo da pesquisa.

Ao meu orientador, professor Daniel Torres Filho, por todos os ensinamentos, orientações e paciência ao longo da pesquisa, mostrando um verdadeiro caráter pessoal e excelente profissional.

Ao meu coorientador, professor Gastão Coelho de Aquino Filho, por toda ajuda a me concedida desde o ensino médio até o presente momento, por toda dedicação e conhecimento transferido, além de toda paciência e auxílio deste trabalho.

Ao laboratório de Geotecnia e Materiais pela realização dos ensaios, sob orientação da técnica do laboratório Mery Angela e os estagiários Moacir e Érika.

A Leonardo Dias, que mesmo não sendo mais monitor do Laboratório de Materiais, se dispôs sempre a ajudar. Muito obrigada, serei sempre grata a você.

Aos meus colegas, nas pessoas de Francisco Judivan, Dafi Abreu, Sâmia Lima, Airton Danilo e Samuel Oliveira.

A todos meus amigos que o IFPB propiciou durante esses anos que contribuíram de forma direta e indiretamente na participação dessa conquista.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram na execução desse trabalho, meus agradecimentos mais sinceros.

RESUMO

O cimento é um material mundialmente comercializado, sendo considerado o produto da construção de mais extenso uso. São muitas as suas aplicações dentro do ramo da construção civil, sendo o conhecimento e o cuidado no manejo desse material fatores estreitamente ligados com a eficiência do produto final. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo analisar o ganho de resistência a compressão de diferentes cimentos em função da sua idade de hidratação mais utilizados no município de Cajazeiras-PB. Trata-se de um estudo experimental e exploratório com uma abordagem quantitativa dos dados. Foram realizados ensaios de caracterização dos cimentos como o índice de finura, consistência normal da pasta, tempo de início e fim de pega, e por último a resistência a compressão axial para cada fabricante de cimento analisado. Os corpos de provas foram rompidos após um período de cura nas idades de 7, 14 e 28 dias a partir de sua moldagem. Verificou-se a variação das resistências ao longo das idades de rompimento, mas apenas o fabricante tipo I conseguiu obedecer ao critério de crescimento constante para as idades de 7 a 28 dias, diferentemente dos tipos II e III, que tiveram ganho apenas das idades de 7 e 14 dias. Esse decréscimo pode ser consequência de alguns fatores ligados a execução dos ensaios, como por exemplo nas etapas de adensamento e cura do corpo de prova, calibragem do equipamento para o rompimento dos mesmos, podendo ser também advindo das características e composição do próprio material.

Palavras-Chave: Cimento Portland; Ensaio; Argamassa; Resistência mecânica.

ABSTRACT

Cement is a material commercialized worldwide, being considered the product of the construction of the most extensive use. There are many applications within the construction industry, and the knowledge and care in the management of this material are factors closely linked with the efficiency of the final product. Therefore, the present study aimed to analyze the compression resistance gain of different cements according to their hydration age most used in the municipality of Cajazeiras-PB. This is an experimental and exploratory study with a quantitative approach to data. Tests were carried out to characterize the cements as the fineness index, normal consistency of the paste, start time and end of the grip, and finally the axial compression strength for each cement manufacturer analysed. The bodies of evidence were broken after a period of healing at the ages of 7, 14 and 28 days from their molding. The variation of resistances over break-up ages was found, but only the type I manufacturer was able to comply with the constant growth criterion for ages 7 to 28 days, differently from types II and III, who gained only from the ages of 7 and 14 days. This decrease may be the result of some factors linked to the performance of the tests, such as in the stages of thickening and healing of the test body, calibration of equipment for breaking them, can also be derived from the characteristics and composition of the material itself.

Keywords: Portland cement; Essay; Grout; Mechanical resistance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Nomenclatura do Cimento Portland.....	21
Figura 2 – Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa)	25
Figura 3 – Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de cimento Portland.....	26
Figura 4- Desenho metodológico das fases do estudo.....	32
Figura 5 – Peneira nº 200.....	34
Figura 6 – Ensaio da consistência da pasta cimentícia.....	35
Figura 7 – Aparelho de Vicat.....	36
Figura 8 – Mistura da pasta cimentícia.....	37
Figura 9 – Todos os corpos de provas no tanque de cura.....	38
Figura 10 – Corpo de prova na prensa para aferir a resistência axial.....	39
Figura 11 – Ganho de resistência do cimento tipo I.....	43
Figura 12 – Ganho de resistência do cimento tipo II.....	43
Figura 13 – Ganho de resistência do cimento tipo III.....	44
Figura 14 – Ganho de resistência em modo comparativo.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Maiores Produtores de Cimento do Mundo de 2011 a 2016 (em milhões de toneladas).....	28
Tabela 2 – Índice de finura para os 3 fabricantes.....	42
Tabela 3 – Tempo de início e fim de pega para os 3 fabricantes.....	42
Tabela 4 – Resultados e verificação do DRM aos 7 dias.....	50
Tabela 5 – Resultados e verificação do DRM aos 14 dias.....	51
Tabela 6 – Resultados e verificação do DRM aos 28 dias.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

a/c - Fator água/cimento

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CP - Corpo de Prova

DRM - Desvio Relativo Máximo

IFPB - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

® - marca registrada

% – por cento

cm – centímetro

mm - milímetro

IF – Índice de Finura

R – Resíduo de cimento retido na peneira nº 200

mm – milímetro

M – Massa do cimento em gramas

MPa – Mega Pascal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1 HISTÓRICO DO CIMENTO	17
3.1.1 HISTÓRICO DO CIMENTO NO BRASIL	19
3.2 COMPOSIÇÃO DO CIMENTO	20
3.3 TIPOS DE CIMENTO PORTLAND	21
3.3.1 CIMENTO PORTLAND COMUM COM ADIÇÃO (CP I-S).....	23
3.3.2 CIMENTO PORTLAND COMPOSTO COM ESCÓRIA (CP II-E).....	23
3.3.3 CIMENTO PORTLAND COMPOSTO COM POZOLANA (CP II-Z)	23
3.3.4 CIMENTO PORTLAND COMPOSTO COM FÍLER.....	23
3.3.5 CIMENTO PORTLAND DE ALTO-FORNO (CP III)	23
3.3.6 CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO (CP IV)	24
3.3.7 CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL (CP V-ARI).....	24
3.3.8 CIMENTO PORTLAND RESISTENTE A SULFATOS (RS)... ..	24
3.3.9 CIMENTO PORTLAND DE BAIXO CALOR DE HIDRATAÇÃO (BC)	25
3.3.10 CIMENTO PORTLAND BRANCO (CPB).....	25
3.4 MERCADO DO CIMENTO	27
3.4.1 MUNDO	27
3.4.2 BRASIL	28
3.5 PRODUTOS CIMENTÍCIOS E OS AVANÇOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	30
4 METODOLOGIA.....	32

4.1 LEVANTAMENTO TEÓRICO	33
4.2 PESQUISA MERCADOLÓGICA	33
4.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	34
4.3.1 Índices de Finura	34
4.3.2 Tempos de Início e Fim de Pega do Cimento	35
4.3.3 Resistência a Compressão Axial	37
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICAS DOS DADOS	40
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	41
5.1 PESQUISA DE MERCADO	41
5.2 ÍNDICES DE FINURA	41
5.3 TEMPO DE PEGA	42
5.4 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL	43
6 CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS	47
APÊNDICE A – VALORES DAS RESISTÊNCIAS Á COMPRESSÃO AXIAL	50

1 INTRODUÇÃO

O ser humano, assim como boa parte dos seres vivos, possui uma condição nata a viver em comunidades de forma cooperativa, organizada e estruturada, seja direta ou indiretamente. Essa junção de indivíduos é a chave para a criação das sociedades e civilizações que historicamente vieram se instaurando e evoluindo conforme as suas demandas e os fatores impostos pelo meio (PEREIRA, 2012).

De forma paralela ao desenvolvimento das sociedades e como respostas às características de cada grupo, as técnicas construtivas, bem como as suas configurações estruturais, passaram a ganhar novos moldes e padrões, seja no emprego de materiais e composições que garantem mais durabilidade e um melhor comportamento a certas solicitações ou na adoção de práticas e metodologias que auxiliam no rearranjo social contemporâneo (SANTOS, 2011).

A necessidade do homem em construir mais com menos recursos resultaram em grandes evoluções na construção civil. A partir disso, novas técnicas e materiais foram criados em um ritmo mais acelerado fazendo com que o mercado desse setor ficasse cada vez mais competitivo. Esse processo evolutivo começou há muito tempo. Em tempos passados, a pedra, por exemplo, muito utilizada no Egito antigo, impossibilitava a execução de estruturas com grandes vãos, isso por não ter uma boa resistência a tração (KONCZ, 1977).

Foi a partir das primeiras tentativas do domínio dessas construções que se começou a necessidade de unir os elementos que a natureza lhe oferecia, principalmente a pedra, numa massa que fosse bastante coesa, sólida e consistente (GALHARDO, 2014).

Com algumas inovações ao decorrer dos anos, foi somente no ano de 1824 que o químico britânico Joseph Aspdin apresentou ao mundo um material construtivo que iria mudar para sempre os rumos da construção civil: o Cimento Portland (GALHARDO, 2014).

O cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento Portland não se decompõe mais (ABCP, 2002). É um dos materiais mais utilizados nas construções, pois, como por exemplo na produção do concreto, um dos produtos mais consumidos do mundo, sendo nítida a importância do cimento.

O cimento Portland misturado com água e outros materiais de construção, tais como a areia, a pedra britada, o pó-de-pedra, a cal e outros, resulta nos concretos e nas argamassas usadas na construção de casas, edifícios, pontes, barragens etc. (ABCP, 2002).

Por ser o cimento Portland um aglomerante mineral, o contato com a água faz dele um ligante devido às suas propriedades hidráulicas. Portanto, esse tipo de material em composição com a água resulta em processo físico-químico tornando-se um material sólido, com grande potencial de resistência mecânica (PEREIRA, 2012).

As características e propriedades desses concretos e argamassas vão depender da qualidade, do tipo e das proporções dos materiais que são compostos. Dentre eles, entretanto, o cimento é o mais ativo, do ponto de vista químico. Pode-se dizer que o cimento é o principal responsável pela transformação da mistura dos materiais componentes dos concretos e das argamassas no produto final desejado (uma laje, uma viga, um revestimento etc.) (ABCP, 2002).

O tipo do cimento desempenha um papel fundamental no comportamento do concreto, principalmente quando se considera o ganho de resistência desse material após a sua hidratação.

O ganho da resistência do concreto ao longo do tempo está sujeito a diversos fatores, o principal deles é o tipo de cimento empregado. Esse ganho de resistência está ligado à cura da mistura, como também com a idade de hidratação do aglomerante.

Na presença de água, os silicatos e os aluminatos componentes do cimento, formam produtos de hidratação que, com o transcorrer do tempo, dão origem a uma massa firme e resistente (NEVILLE, 1997).

O conhecimento da relação resistência/tempo é importante quando a estrutura vai ser posta em serviço e submetida ao carregamento pleno, em idades maiores. Nesse caso, o ganho da resistência após a idade de 28 dias pode ser levado em consideração no dimensionamento estrutural (NEVILLE, 2016).

Há tempos havia no Brasil, praticamente, um único tipo de cimento Portland. Com a evolução dos conhecimentos técnicos sobre o assunto, foram sendo fabricados novos tipos. A maioria dos tipos de cimento Portland hoje existentes no mercado servem para o uso geral. Alguns deles, entretanto, tem certas características e propriedades que os tornam mais adequados para determinados usos, permitindo que se obtenha um concreto ou uma argamassa com a resistência e durabilidade desejadas, de forma bem econômica (ABCP, 2002).

Portanto, conhecer o comportamento e características desse material é de fundamental importância, para a correta aplicação e potencialização de suas propriedades, utilizando o material de maneira mais coerente e econômica independente do porte da construção.

Diante disso, a presente pesquisa se propôs a estudar o comportamento da resistência mecânica à compressão dos cimentos Portland em função da variação do tempo de hidratação,

apresentando como justificativa a necessidade, por parte de quem executa e projeta obras, de conhecer esse comportamento tendo em vista as várias tomadas de decisões que é possível realizar a partir da resposta do comportamento apresentado por esse material.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o ganho de resistência à compressão em relação ao tempo de hidratação dos principais cimentos Portland comercializados na cidade de Cajazeiras-PB.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conhecer os tipos e marcas de cimento Portland mais utilizados na cidade de Cajazeiras-PB;
- Caracterizar os tipos de cimentos Portland avaliados no estudo;
- Comparar as resistências à compressão dos diferentes tipos de cimentos analisados.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 HISTÓRICO DO CIMENTO

O homem desde os tempos remotos, via a necessidade de construir seus abrigos utilizando os elementos que lhe eram oferecidos na natureza. No momento em que as tribos se fixavam em um local, deixando de ser nômades, surgia a necessidade de construir estruturas com maior capacidade de carga e que fossem resistentes ao tempo e às variações climáticas (SNIC, 2010).

Segundo Galhardo (2014), a partir das primeiras tentativas do domínio dessas construções, surgiu a necessidade de unir os elementos que a natureza oferecia, principalmente a pedra, numa massa que tivesse bastante coesão, solidez e consistência. O mesmo autor ainda cita que durante a antiguidade, os babilônios e os assírios utilizavam a argila em suas construções. Os egípcios descobriram o gesso e a cal. Os romanos e os gregos conceberam um aglomerante um pouco mais sofisticado, desenvolvendo uma mistura de areia, pedaços de telha, calcário calcinado e cinzas vulcânicas.

Os antigos egípcios usavam gesso impuro e calcinado, os gregos e romanos usavam calcário calcinado, e posteriormente aprenderam a misturar cal e água, areia e pedra fragmentada, tijolos ou telhas em caco. Foi o primeiro concreto da história. A argamassa de cal não endurece embaixo d'água e, para construções submersas, os romanos trituravam cal conjuntamente com cinzas vulcânicas ou telhas de barro cozidas finamente trituradas (NEVILLE, 1997).

Em 1824, Joseph Aspdin foi responsável pela elaboração do chamado “Cimento Portland”, que revolucionou a história da engenharia civil. Com suas experiências envolvendo processos de mistura, queima e moagem de argila e pó de pedra calcária retirado das ruas, Aspdin conseguiu um material pulverulento, no qual ele misturava uma certa quantidade de água, produzindo uma argamassa. Depois, deixava-a secar, conseguindo um material de dureza parecida com as pedras utilizadas nas edificações. Ele patenteou este pó em 1824, com o nome de cimento Portland, devido às semelhanças de seu produto final com rochas da ilha britânica de Portland, as quais apresentavam características próprias como cor, durabilidade e resistência. O cimento Portland, criado por Joseph Aspdin, está na lista das 50 maiores invenções britânicas (DORFMAN, 2003).

Aspdin descobriu que ao queimar pedras calcárias e argila transformando-as em um pó

fino e ao colocar em contato com água, obteve uma mistura que após seca apresenta um elevado grau de dureza. Esse pó fino possui um alto poder aglomerante, e tem a capacidade de endurecer e conservar a estrutura. Além disso, na forma de concreto, pode ganhar formas e volumes de acordo com a necessidade de cada construção. Essas características conferem ao cimento Portland um dos materiais mais utilizado pela humanidade (SOUSA, 1998).

Entretanto, foi Isaac Charles Johnson, em 1845, quem conseguiu aperfeiçoar o cimento Portland. Após várias observações, Johnson elevou a temperatura da queima para 1400°C e moeu o clínquer, produto originário dessa queima, para obter um pó mais fino e com uma qualidade superior (GALHARDO, 2014).

No setor da construção civil, o cimento Portland tem sua aplicação de extrema importância, quaisquer seja o tipo e tamanho da obra a ser executada.

Cimento, na acepção geral da palavra, pode ser considerado todo o material com propriedades adesivas e coesivas capaz de unir fragmentos e minerais entre si de modo a formar um todo compacto (NEVILLE, 1997).

Foi justamente pela necessidade de construções mais arrojadas que o cimento acabou se transformando em um dos mais importantes recursos da história da engenharia (SOUSA, 1998).

No contexto histórico, o cimento foi se desenvolvendo conforme as possibilidades de descobertas e experimentos iam surgindo. Os seres humanos, sempre em progressão, buscam aprimorar os objetos que eles mesmos constroem (NEVILLE, 1997).

Um grande aliado e também inimigo do cimento desde a sua confecção até a sua estocagem, quando utilizado indevidamente, seja na sua qualidade e quantidade é a água, tendo em vista que o cimento, quando em contato com a água (hidratação), sofre uma reação química emitindo calor (exotérmica) resultando no seu endurecimento.

Quando o cimento Portland é misturado com água suficiente para formar uma pasta, os seus componentes reagem, formando produtos cristalinos e outros de aparência gelatinosa, que aderem aos grãos de areia, tornando-se muito duros. Quando a pasta é conservada úmida, as reações podem persistir por anos; assim, o produto continua cada vez mais resistente, durante um longo período de tempo. A água por sua vez não influencia somente nas reações químicas do cimento, mas esta também tem função melhorar e conferir a trabalhabilidade do produto cimentício (TARTUCE; GIOVANNETTI, 1990).

3.1.1 HISTÓRICO DO CIMENTO NO BRASIL

No Brasil, estudos referentes à fabricação do cimento Portland ocorreram por volta do ano de 1888, quando o comendador Antônio Proost Rodovalho se dispôs a instalar uma fábrica de cimento em sua fazenda de nome Santo Antônio, no estado de São Paulo, em Sorocaba (CIMENTO.ORG, 2008).

Várias iniciativas esporádicas de fabricação de cimento foram desenvolvidas nessa época. Assim, chegou a funcionar durante apenas três meses, em 1892, uma pequena instalação produtora na Ilha de Tiriri, na Paraíba, cuja construção data de 1890, por iniciativa do engenheiro Louis Felipe Alves da Nóbrega, que estudou na França e chegou ao Brasil com novas ideias, tendo inclusive o projeto da fábrica pronto e publicado em livro de sua autoria. Atribui-se o fracasso do empreendimento não à qualidade do produto, mas à distância dos centros consumidores e à pequena escala de produção, que não conseguia competitividade com os cimentos importados da época (ABCP, 2019).

Todas essas etapas não passaram de meras tentativas que culminaram, em 1924, com a implantação pela Companhia Brasileira de Cimento Portland de uma fábrica em Perus, Estado de São Paulo, cuja construção pode ser considerada como o marco da implantação da indústria brasileira de cimento. As primeiras toneladas foram produzidas e colocadas no mercado em 1926. Até então, o consumo de cimento no país dependia exclusivamente do produto importado. A produção nacional foi gradativamente elevada com a implantação de novas fábricas e a participação de produtos importados oscilou durante as décadas seguintes, até praticamente desaparecer nos dias de hoje (ABCP, 2019).

Esta divisão histórica fica clara quando analisou-se os números da época. Até 1926, o Brasil importava de países como Estados Unidos, Inglaterra, França, Alemanha, Dinamarca, Bélgica e Argentina cerca de 97% do cimento que consumia. O produto chegava ao mercado brasileiro onerado por despesas de frete, acondicionamento e direitos alfandegários. Naquela época, a importação chegava à marca de 400 mil toneladas anuais, enquanto que a produção local não passava de 13 mil toneladas por ano (SANTOS, 2011).

Segundo dados de 2014 do IBGE, o ramo da construção civil representou cerca de 9% do PIB brasileiro, indicando que apesar de eventos como a crise internacional e desaceleração do setor dos últimos anos, continua sendo um dos domínios mais importantes para a economia do país e, de acordo com o CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção, o ramo emprega atualmente cerca de três milhões de trabalhadores (SOUSA, 2015).

3.2 COMPOSIÇÃO DO CIMENTO

O cimento Portland é composto de clínquer e de adições. O clínquer é o principal componente e está presente em todos os tipos de cimento Portland. As adições podem variar de um tipo de cimento para outro e são principalmente elas que definem os diferentes tipos de cimento (ABCP, 2002).

O clínquer tem como matérias-primas o calcário e a argila, ambos obtidos de jazidas em geral situadas nas proximidades das fábricas de cimento. A rocha calcária é primeiramente britada, depois moída e em seguida misturada, em proporções adequadas, com argila moída. A mistura formada atravessa então um forno giratório único de grande diâmetro e comprimento, cuja temperatura interna chega a alcançar 1450°C. O intenso calor transforma a mistura em um novo material, denominado clínquer, que se apresenta sob a forma de pelotas. Na saída do forno o clínquer, ainda incandescente, bruscamente resfriado para posteriormente ser finamente moído, transformando-se em pó (ABCP, 2002).

As adições são outras matérias-primas que, misturadas ao clínquer na fase de moagem, permitem a fabricação dos diversos tipos de cimento Portland hoje disponíveis no mercado. Essas outras matérias-primas são o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozzolânico e os materiais carbonáticos (ABCP, 2002).

Segundo o manual básico de materiais para a construção (FILHO, 2016), os componentes básicos para a produção do cimento são a sílica (SiO_2), a cal (CaO), o óxido de ferro (Fe_2O_3) e a alumina (Al_2O_3).

A sílica reage com a cal formando os silicatos dicálcico e tricálcico (C_2S e C_3S). Os silicatos tricálcicos são os responsáveis pela resistência do cimento nos primeiros dias, já os silicatos dicálcicos são responsáveis pela resistência do cimento nos dias posteriores (FILHO, 2016).

A alumina reage com a cal formando o aluminato tricálcico (C_3A). A quantidade desse composto deve ser controlada de modo a evitar um endurecimento rápido da pasta, isso não quer dizer que esse composto é o responsável pela resistência do cimento nas primeiras idades (FUSCO, 2008).

No C_3S a hidratação começa dentro de poucas horas, desprende-se calor; o composto anidro vai passando para a solução, aparecendo cristais de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, enquanto uma massa gelatinosa de silicato hidratado se forma em torno dos grãos originais (PETRUCCI, 1998).

O C_2S é atacado lentamente pela água; depois de semanas os cristais se cobrem de

silicato hidratado. Formando também Ca(OH)_2 , porém em menor quantidade que na hidratação de C_3S (PETRUCCI, 1998).

Já nesse processo o C_2S é o responsável no processo de endurecimento em idades mais avançadas. O C_3A reage rapidamente com a água e cristaliza em poucos minutos. Não se produz hidróxido, mas aluminato hidratado. O calor de hidratação é tanto que quase seca a massa (PETRUCCI, 1998).

O óxido de ferro se combina com a cal produzindo o ferroaluminato tetracálcico (C_4AF). Esse composto está presente nas argilas empregadas na fabricação do cimento e é o responsável pela coloração escura do cimento, por isso que esse material não está na fabricação do cimento branco. O óxido de magnésio é o responsável pela coloração cinza esverdeada do cimento, composto que está presente nas rochas calcárias (FUSCO, 2008).

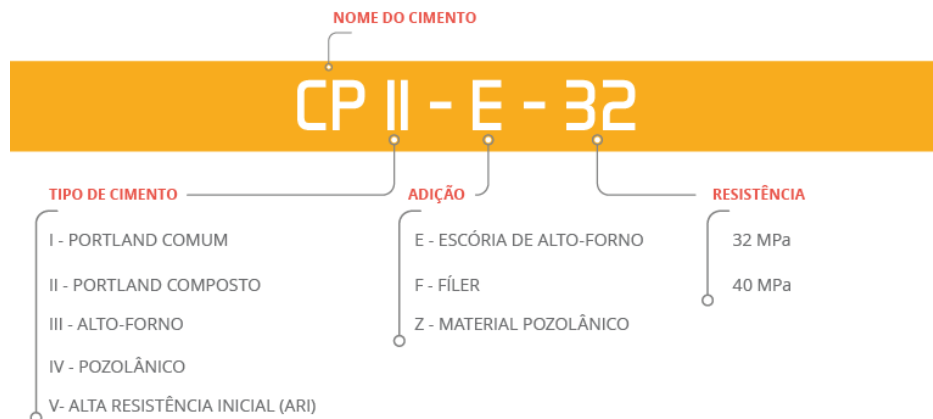
O composto químico C_4AF tem como característica não influenciar no fator resistência, o mesmo reage menos rapidamente que o C_3A . Não libera cal e forma também um aluminato hidratado. (PETRUCCI, 1998).

O material utilizado na fabricação é parcialmente fundido. De acordo com Fusco (2008), o óxido de ferro faz papel de fundente dos materiais que compõe a matéria prima do cimento. Assim, é permitido empregar temperaturas inferiores as praticadas na ausência desse composto.

3.3 TIPOS DE CIMENTO PORTLAND

O mercado brasileiro dispõe de 6 tipos de cimento Portland normatizados segundo a norma NBR 16697 (ABNT, 2018), diferenciados entre si de acordo com sua composição, propriedades especiais, adições e sufixos. Sendo esses: Cimento Portland comum, composto, de alto-forno, pozolânico, de alta resistência inicial, e o cimento Portland branco. Os mesmos são indicados por siglas próprias de acordo com suas características, como mostra a Figura 1 abaixo.

Figura 1 – Nomenclatura do cimento Portland



Fonte: PRA CONSTRUIR, 2019

Essa diferenciação se dá de acordo com as adições ou composições, da seguinte forma:

- O “CP” são as iniciais de Cimento Portland no nome completo do material;
- O “II” diz respeito ao tipo de cimento e pode ser:

I: Portland Comum;

II: Portland Composto

III: Alto-Forno

IV: Pozolânico

V: Alta Resistência Inicial (ARI)

- O “E” está relacionado com o tipo de adição que o cimento tem na sua composição. O cimento pode ter adições que variam conforme sua utilidade. As mesmas são feitas para aprimorar a propriedade específica do material, por diminuição do consumo energético ou para aproveitar resíduos poluidores e preservar jazidas. Na nomenclatura, a identificação das adições aparece logo após o tipo de cimento em questão, representada por uma letra que pode significar:

E: Escória de Alto-Forno

F: Fíler

Z: Material Pozolânico

- O “32” está relacionado com a resistência do cimento Portland. O número que aparece por último, fechando a nomenclatura, mostra qual resistência de compressão mínima (MPa) que o cimento deve ter aos 28 dias, podendo ser de 25 MPa, 32 MPa e 40 MPa.

3.3.1 CIMENTO PORTLAND COMUM COM ADIÇÃO (CP I-S)

O CP I-S, tem a mesma composição do CP I de clínquer e sulfatos de cálcio (de 90 a 94% na massa), porém com adição reduzida de material carbonático (de 6 a 10% em massa). Este tipo de cimento, segundo a NBR 16697 (ABNT, 2018) tem menor permeabilidade devido à adição de pozolana.

3.3.2 CIMENTO PORTLAND COMPOSTO COM ESCÓRIA (CP II-E)

Segundo a norma NBR 16697 (ABNT, 2018) os cimentos CP II são ditos compostos pois apresentam, além da sua composição básica (clínquer + gesso), a adição de outro material. O CP II-E, contém adição de escória granulada de alto-forno, o que lhe confere a propriedade de baixo calor de hidratação. O CP II-E é composto de 51% a 96% de clínquer + gesso e 6% a 34% de escória, podendo ou não ter adição de material carbonático no limite máximo de 15% em massa. O CP II-E, é recomendado para estruturas que exijam um desprendimento de calor moderadamente lento.

3.3.3 CIMENTO PORTLAND COMPOSTO COM POZOLANA (CP II-Z)

O CP II-Z contém adição de material pozolânico que varia de 6% a 14% em massa de acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018), o que confere ao cimento menor permeabilidade, sendo ideal para obras subterrâneas, principalmente com presença de água, inclusive marítimas. O cimento CP II-Z, também pode conter adição de material carbonático (fíler) no limite máximo de 15% em massa.

3.3.4 CIMENTO PORTLAND COMPOSTO COM FÍLER

O CP II-F tem sua utilização de modo geral, e segundo a NBR 16697 (ABNT, 2018) é composto de 75% a 89% de clínquer + gesso com adição de 11% a 25% de material carbonático (fíler) em massa. Pode ser usado no preparo de argamassas de assentamento, argamassa armada, projetado, solo-cimento, pré-moldados, concreto simples, dentre outros.

3.3.5 CIMENTO PORTLAND DE ALTO-FORNO (CP III)

O cimento Portland de alto-forno contém adição de escória no teor que varia de 35% a 75% em massa de acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018), que lhe confere propriedades

como: baixo calor de hidratação, maior impermeabilidade e durabilidade, sendo recomendado tanto para obras de grande porte e agressividade (barragens, fundações de máquinas, obras em ambientes agressivos, tubos e canaletas para condução de líquidos agressivos, esgotos e efluentes industriais, concretos com agregados reativos, obras submersas, pavimentação de estradas, pistas de aeroportos, etc.) como também para aplicação geral em argamassas de assentamento e revestimento, estruturas de concreto simples, armado ou protendido, etc.

3.3.6 CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO (CP IV)

O cimento Portland CP IV com adição pozolana que varia de 15% a 50% em massa de acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018). É especialmente indicado em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos. O concreto feito com este produto se torna mais impermeável, mais durável, apresentando resistência mecânica à compressão superior à do concreto feito com Cimento Portland Comum.

3.3.7 CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL (CP V-ARI)

CP V-ARI assim como o CP-I não contém adições, porém, de acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018) pode conter até 10% em massa de material carbonático). O que o diferencia deste último é processo de dosagem e produção do clínquer. O CP V-ARI é produzido com um clínquer de dosagem diferenciada de calcário e argila se comparado aos demais tipos de cimento e com moagem mais fina. Esta diferença de produção confere a este tipo de cimento uma alta resistência inicial do concreto em suas primeiras idades. É recomendado o seu uso, em obras onde seja necessário a desforma rápida de peças de concreto armado.

3.3.8 CIMENTO PORTLAND RESISTENTE A SULFATOS (RS)

O cimento Portland resistente a sulfatos deve atender aos requisitos químicos, físicos e mecânicos estabelecidos conforme seu tipo e classe originais e apresentar expansão menor ou igual a 0,03%, segundo a NBR 16697 (ABNT, 2018) aos 56 dias de idade quando ensaiado para efeito da verificação da conformidade da resistência a sulfatos. Considera-se meios agressivos

sulfatados: redes de esgotos de águas servidas ou industriais, água do mar e em alguns tipos de solos.

3.3.9 CIMENTO PORTLAND DE BAIXO CALOR DE HIDRATAÇÃO (BC)

De acordo a NBR 16697 (ABNT, 2018) seja qual for o tipo de cimento Portland, pode ser classificado como BC, em que é designado por siglas e classes de seu tipo, acrescidas de BC. Por exemplo: CP III-32 (BC), este tipo de cimento tem a propriedade de retardar o desprendimento de calor em peças de grande massa de concreto, evitando o aparecimento de fissuras de origem térmica, devido ao calor desenvolvido durante a hidratação do cimento.

3.3.10 CIMENTO PORTLAND BRANCO (CPB)

O cimento Portland Branco diferencia-se dos demais devido a sua coloração. Sua cor branca é obtida a partir das matérias primas com baixo teor de óxido de ferro e manganês, em condições especiais durante fabricação. Bem como o resfriamento e moagem do produto (PEREIRA, 2012).

Está classificado em dois subtipos: estrutural e não estrutural. Segundo a NBR 16697 (ABNT, 2018) o estrutural é aplicado em concretos brancos para fins arquitetônicos, com classes de resistência 25, 32 e 40, similares às dos demais tipos de cimento, com adições de 75 a 100% de clínquer + gesso e adição de no máximo 25% de material carbonático.

Já o não estrutural não tem indicações de classe e é aplicado, por exemplo, em rejuntamento de azulejos e em aplicações não estruturais, com adições de 50 a 74% de clínquer + gesso e adição de 26 a 50% de material carbonático.

Todos os parâmetros e limites estabelecidos para a classificação dos diferentes tipos de cimento são apresentados na NBR 16697 (ABNT, 2018), anteriormente citada, sendo esses sumarizados e mostrados na Figura 2.

Figura 2 – Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa)

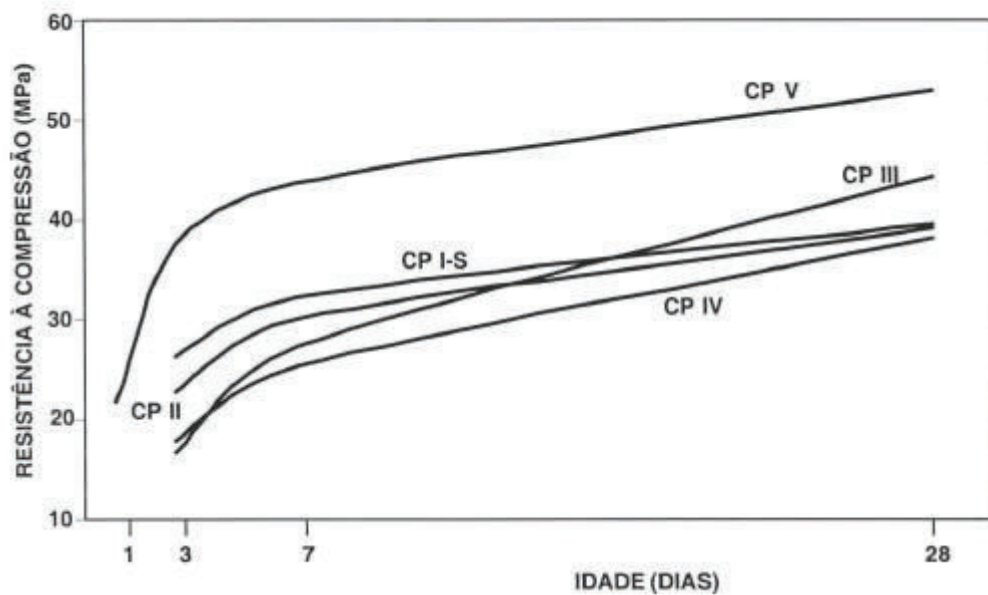
Designação normalizada	Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozeolânico	Material carbonático
Cimento Portland comum	CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC	95 – 100	0 – 5		
	CP I-S			90 – 94	0	0	6 – 10
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno	CP II-E			51 – 94	6 – 34	0	0 – 15
Cimento Portland composto com material pozeolânico	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 pozeolânico	CP IV			45 – 85	0	15 – 50	0 – 10
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V*	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

^a No caso de cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CP V-ARI RS), podem ser adicionadas escórias granuladas de alto-forno ou materiais pozeolânicos.

Fonte: NBR 16697 (ABNT, 2018)

Essas diferenciações quanto ao tipo e consequentemente as composições que formam o material, dentre outras características, afetam diretamente a resistência final do compósito cimentício, principalmente quando se trata do ganho de desempenho mecânico com relação ao tempo de hidratação, como apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de cimento Portland



Fonte: ABCP, 2002

Quanto ao tipo de cimento Portland, suas resistências podem variar em função das adições que possuem, como material pozolânico e escória, composição mais elevada do CP III e o CP IV, respectivamente, onde ambos apresentam endurecimento lento, com baixa resistência inicial e alta resistência final. O CP V, mais conhecido como cimento Portland de alta resistência inicial possui índice de finura mais elevado, que implica em uma elevada resistência nos primeiros dias com maior velocidade.

3.4 MERCADO DO CIMENTO

3.4.1 MUNDO

A indústria de cimento está distribuída por quase todos os países do mundo, com atuação marcante tanto de empresas locais como de grandes grupos internacionais integrados, com desempenho global. A indústria sistematicamente implanta novas unidades modernas e integradas, com investimentos situando-se de US\$ 150 milhões/toneladas de cimento e dois a três anos para início de operação (ROCHA, 2010).

Segundo o sítio Cimento.org (2017), o crescimento da produção mundial de cimento continua se ancorando nos resultados positivos dos mercados da China e da Índia e, mais recentemente, também da retomada do crescimento nos Estados Unidos. Os três países, juntos, respondem por 66% de todo cimento produzido no mundo.

O excedente de capacidade de produção de cimento na China supera os 30% e o governo Chinês, através da Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma (CNDP) tenta regular e diminuir pelo menos em 10% a capacidade de produção do país. Na Índia, Indonésia e Vietnã, todos integrantes do grupo dos 10 maiores produtores de cimento do mundo, ações localizadas para regular o setor têm sido implementada, controlando novas licenças, buscando reduzir o excesso de capacidade instalada (CIMENTO.ORG,2014)

O comércio internacional de cimento, apesar de bastante restrito, vem apresentando crescimento, como observado na Tabela 1. Alguns produtores exportam regularmente e outros aproveitam variações ocasionais e diferenciais de preços (GALHARDO, 2014).

Tabela 1 – Maiores Produtores de Cimento do Mundo de 2011 a 2016 (em milhões de toneladas)

Países/Anos	2016	2015	2014	2013	2011	2012
CHINA	2.410	2.350	2.480	2.420	2.100	2.210
INDIA	290	270	260	280	240	270
EUA	85,9	83,4	83,2	77,4	68,6	74,9
TURQUIA	77	77	75	71,3	63,4	63,9
BRASIL	60	72	72	70	64,1	68,8
RUSSIA	56	69	68,4	66,4	55,6	61,5
IRÃ	53	65	65	72	61	70
INDONESIA	63	65	65	56	30	32
CORÉIA DO SUL	55	63	63,2	47,3	48,3	48
VIETNÃ	70	61	60,5	58	59	60
ARÁBIA SAUDITA	61	55	55	57	48,4	50
JAPÃO	56	55	53,8	57,4	51,3	51,3
EGITO	55	55	50	50	44	46,1
MÉXICO	-	35	35	34,6	35,4	35,4
TAILÂNDIA	-	35	35	42	36,7	37
PAQUISTÃO	-	32	32	31	32	32
ALEMANHA	-	32	32	31,3	33,5	32,4
ITÁLIA	-	23	22	22	33,1	33
OUTROS PAÍSES	808,1	602,6	572,9	536,3	695,6	723,7
TOTAL MUNDO	4.200	4.100	4.180	4.080	3.800	4.000

Fonte: CIMENTO.ORG, 2014

Essa tendência decorre principalmente da crescente atuação dos grandes grupos internacionais, que vêm desenvolvendo sistemas de transporte a longa distância com menor custo, como a Lafarge, que possui frotas de navios, o Holcim, que mantém uma empresa de transporte marítimo, e o Cemex, que é o maior grupo exportador mundial (SANTOS, 2011).

3.4.2 BRASIL

As vendas de cimento no Brasil registraram um total de 12,7 milhões de toneladas no primeiro trimestre de 2019, de acordo com o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC), um aumento de 1,3% em relação ao mesmo trimestre do ano anterior. No mês de março, os resultados atingiram 4,1 milhões de toneladas, uma queda de 6,6% comparada com o mesmo mês de 2018, influenciado, principalmente, pela menor quantidade de dias úteis, 21,5 contra 23,5 e pelas chuvas mais intensas em algumas regiões do país.

Já nos últimos 12 meses (abril de 2018 a março de 2019), as vendas acumuladas atingiram 53 milhões de toneladas de cimento, uma redução de 0,1% em comparação com o mesmo período anterior (abril de 2017 a março de 2018).

Segundo Paulo Camillo, presidente do Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC, 2019), o resultado do trimestre veio ligeiramente acima das projeções. “O desempenho de março foi melhor do que o esperado, com isso o resultado do trimestre encontra-se entre os nossos cenários de referência e otimista. Os indicadores de financiamento imobiliário continuam avançando, o que nos deixa otimista para projetar um crescimento de aproximadamente 3% no ano”, completa o executivo.

Em 2015 a Global Cement, de acordo com seu relatório anual de 2016, listou a multinacional Brasileira Votorantim na décima posição do mundo em capacidade de produção de cimento, saltando três posições no ranking mundial em quatro anos, já que em 2011 ela ocupava a 13ª posição e em 2015, com 45,02 milhões de toneladas de capacidade instalada em 41 plantas ao redor do planeta, alcançou a décima posição e passou a participar do seleto grupo dos 10 dos Maiores Grupos Produtores de cimento do mundo (VOTORANTIM CIMENTOS, 2018).

Para o Cimento.Org (2019), o otimismo do SNIC para 2019 poderá não se consolidar, caso o novo governo não afine, rapidamente, suas ações para emplacar as muitas reformas estruturais necessárias e urgentes ao país.

No contexto nacional, a Paraíba tem grande influência histórica na fabricação de cimento. Segundo o Cimento.Org a tradição da Paraíba na fabricação de cimento vem do final do século XIX, onde abrigou a primeira fábrica do país no ano de 1892. Com o crescimento da população houve um aumento também nas obras públicas e residenciais. Assim, o Brasil precisava acompanhar essa evolução e começar a produzir seu próprio cimento. Então, em 1888, o engenheiro Louis Felipe Alves da Nóbrega, na Paraíba, e o comendador Antônio Proost Rodovalho, em São Paulo, deram o início aos primeiros dois projetos de implantação de fábricas de cimento no país.

Porém, por razões que vão desde a deficiência técnica até as condições econômicas adversas, a indústria só funcionou por três meses. No ano de 1933, foi construída em João Pessoa uma nova fábrica de cimento, a oitava do país. Desde 1999, a indústria passou a fazer parte do Grupo Cimpor e opera até os dias de hoje.

No ano de 2014, a Paraíba produzia uma média de 2,5 milhões de toneladas de cimento por ano. E o que se espera é que a produção aumente, alimentando, entre outros, a cadeia de

concreto e pré-moldados, construção civil industrial e residencial, além de todo setor imobiliário. Em 2011, a Paraíba realizou o 1º Fórum de Fomento da Cadeia Produtiva do Polo Cimenteiro que discutiu assuntos relacionados à cadeia produtiva para formação do polo setorial no Estado. O evento reuniu técnicos do Governo, representantes de instituições ambientais, indústrias cimenteiras e fornecedores de máquinas e equipamentos, transporte e logística (CIMENTO.ORG, 2014).

O estado da Paraíba se destaca na produção do cimento por conta do solo rico em calcário, como também por sua localização estratégica no Nordeste. Segundo a SNIC (2019), atualmente o estado conta com cinco fábricas de cimentos, são elas:

- Intercemente: João pessoa;
- Lafarge Holcim: Caaporã;
- Brennand: Pitimbu;
- Elizabeth: Alhandra;
- Cimpor: João Pessoa.

3.5 PRODUTOS CIMENTICIOS E OS AVANÇOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O avanço da tecnologia tem impactado de forma consistente e continuada a construção civil. As inúmeras inovações registradas ao longo da última década vêm fomentando a modernização do setor e tem exigido um esforço relevante das empresas de toda a cadeia da indústria. No momento em que produtividade e competitividade são atributos essenciais para a conquista e manutenção de mercado, estar sintonizado com a inovação é essencial para o bom desempenho empresarial e qualificação do setor (CBIC, 2016).

Os avanços tecnológicos, visam cada vez mais tornar o cimento sustentável e resistente, sabendo assim usar o mesmo, explorando todos seus componentes, que podem estar diretamente ligados não só a questões financeiras, mas também a ganhos ambientais, principalmente devido ao seu grande consumo, ligada a sua vasta empregabilidade em produtos como a argamassa, o concreto pré-moldado, o estrutural, blocos intertravados, treliças pré-moldadas, artefatos de cimento, dentre outros (CBIC, 2016).

Segundo o professor doutor Vanderley Moacyr John em uma reportagem ao site Cimento Itambé com base em vídeo-aula do professor na Escola Politécnica da USP em maio de 2018, a utilização correta dos tipos de materiais cimentícios é de importante contribuição para os esforços da indústria em reduzir a emissão de CO₂. O professor relata que o Brasil está

na vanguarda da produção de cimento, em relação ao resto do mundo, por dois motivos: no país, todos os cimentos têm adição, que variam entre 5% e 65% da massa, e a indústria cimenteira nacional investiu em novos equipamentos, a partir de 2006, os quais a tornaram mais eficiente. “Além de usar fornos mais modernos, que consomem menos combustível para produzir clínquer, a indústria nacional também se reinventou em sua preocupação ambiental, adotando, por exemplo, filtros que sequestram o CO₂ que sai das chaminés. Então, no Brasil, considerando os avanços na fabricação de cimento e as adições para produzir o material, são gerados 580 quilos de CO₂ para cada tonelada de cimento. Sem esses avanços, seriam 860 quilos. Do ponto de vista ambiental, é um sucesso”, relata.

Uma das mais recentes pesquisas sobre o cimento, se destaca o cimento verde. Desde 2009, entre os estudos prioritários do Instituto de Tecnologia de Karlsruhe (KIT), na Alemanha, está o desenvolvimento de “cimentos verdes”. O objetivo é chegar a um material que gere menor emissão de CO₂ e consuma menos quantidade de energia para ser produzido. Os avanços não param. No recente simpósio “O Futuro do Cimento”, que aconteceu em Paris (França), o KIT apresentou seus estudos mais recentes sobre a produção de cimentos que substituem o clínquer pelos hidrossilicatos de cálcio (Celitement®) (CIMENTO ITAMBE, 2017).

De acordo com Peter Stemmermann, engenheiro químico-chefe do instituto, o cimento verde será realidade a partir de 2050, ele relata que atualmente, são produzidas cerca de dois bilhões de toneladas de Cimento Portland por ano, em todo o mundo. Se todas as fábricas do planeta vierem a adotar essa tecnologia, meio bilhão de toneladas de dióxido de carbono deixaria de ser emitido na atmosfera a cada ano (CIMENTO ITAMBE, 2017).

No Brasil, pesquisadores da Escola Politécnica da USP, liderados pelos professores Vanderlei John e Rafael Pileggi, conseguiram produzir um tipo de “cimento verde”, usando uma tecnologia menos complexa que a em desenvolvimento na Alemanha. O que os especialistas brasileiros fizeram foi substituir parte do clínquer por pó de calcário cru superfino. O rearranjo na fórmula do cimento produzido na USP permitiu reduzir a emissão de CO₂ em 50% (CIMENTO ITAMBE, 2017).

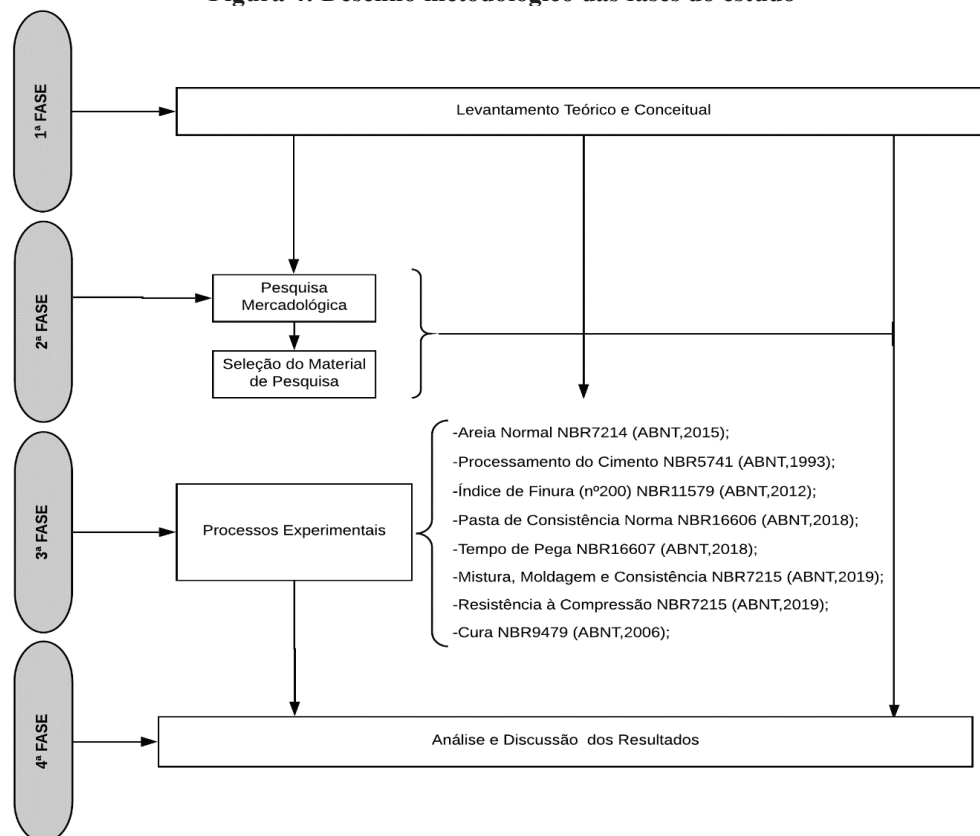
Segundo Arnaldo Battagin, gerente de laboratórios da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), outros cimentos que tendem a se tornar nichos de mercado, como o cimento com nanotubos de carbono, com potencial para atuar como redutor de porosidade e reforço estrutural do cimento chegando a resistência de até três vezes superior à dos materiais convencionais, o cimento modificado energeticamente (CIMENTO ITAMBE, 2017).

4 METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como sendo experimental e exploratório apresentando uma natureza aplicada e abordagem quantitativa. Este foi conduzido no município de Cajazeiras, Paraíba, tendo o mercado local como campo das buscas mercadológicas, a serem descritas posteriormente, e as instalações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – *Campus* Cajazeiras, como sítio na face dos procedimentos experimentais, mais precisamente os laboratórios de Geotecnia e de Materiais de Construção e Técnicas Construtivas, em que foram processados e produzidos para análise os materiais e corpos de prova, respectivamente.

Como forma de alcançar os objetivos traçados e otimizar os procedimentos da pesquisa, esta foi dividida em quatro fases: levantamento teórico; pesquisa mercadológica; processos experimentais; análise e discussão dos dados coletados, como apresentado na Figura 4.

Figura 4: Desenho metodológico das fases do estudo



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019

4.1 LEVANTAMENTO TEÓRICO

Nessa primeira fase foi realizado um levantamento dos principais estudos que traziam em seu escopo a temática, desde uma abordagem dos processos que envolvem a produção, o mercado de consumo e a classificação do cimento, como também as características físicas e químicas que envolvem as suas reações para atingir o endurecimento e os fatores que influenciam para tanto.

O levantamento foi conduzido por meio do Portal de Periódicos da CAPES, como também pela ferramenta de buscas do Google Acadêmico e pela Biblioteca Digital Brasileira de Teses e dissertações (BDTD). Foram utilizados descritores como: “Cimento”, “Resistência”, “Mercado”, “Tipos de Cimento” e operador booleano AND, quando esse se fazia necessário. O que permitiu criar um banco de arquivos que serviram de embasamento para as atividades de coleta de dados e como arcabouço teórico para fomento das discussões dos fenômenos observados no decorrer da pesquisa.

4.2 PESQUISA MERCADOLÓGICA

Devido a carência de estudos sobre o perfil do consumo de cimento, principalmente no que tange a esfera do tipo mais demandado e a frequência de consumo, essa fase da pesquisa se caracterizou como de natureza exploratória, se tornando o método adequado uma vez que não existe ou há pouca informação na literatura científica ou em documentos formais sobre o assunto (TONETTO; BRUST-RENCK; STEIN, 2014).

Para o estudo foram realizadas coletas de forma específica e direta no mercado local do Município de Cajazeiras, por meio de visitas aos estabelecimentos buscando informações sobre os tipos de cimento comercializados, frequência de venda e custo. O levantamento possibilitou selecionar o tipo de cimento mais recorrente na cidade, passando esses a serem o objeto de estudo para as demais etapas.

4.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Após selecionado o tipo de cimento a ser avaliado, iniciou-se os processos experimentais, realizando sua caracterização física e mecânica quanta a finura, tempo de pega e resistência a compressão axial para cada cimento conforme descrito a seguir.

4.3.1 Índices de Finura

A avaliação do índice de finura foi desenvolvida conforme apresentado na norma NBR 11579 (ABNT, 2012), fazendo-se uso da peneira nº 200 de abertura de 0,075 mm, como apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Peneira nº 200



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019

Sob um total de duas amostras para cada tipo de cimento, formadas de 50 g do material, essas foram levadas à peneira anteriormente citada na qual foram agitadas nos três instantes requeridos em norma: o inicial, com movimentos suaves e horizontalmente durante um período de 3 a 5 min; o intermediário, em que após a retirada do material do fundo passa por movimentos durante um intervalo de 15 a 25 min, sempre limpando a tela em espaços de tempo regulares; e por fim o peneiramento final, girando o conjunto em média a 60° durante 60 s mudando de posição a cada 10 s, repetindo o processo até que a massa passante seja inferior a 0,05 g. Ao final a determinação da massa total retida quando feita sua razão pela massa total ensaiada, segundo a equação abaixo, permite encontrar o seu índice de finura.

$$I_F = \frac{r \cdot F_c}{m} \cdot 100$$

Em que:

I_F corresponde ao índice de finura do cimento em porcentagem (%);
 r é o resíduo do cimento na peneira 75 μ m em gramas (g);
 F_c corresponde ao fator de correção da peneira do ensaio;
 m é a massa inicial do cimento em gramas (g).

Como critério de aceitação do resultado, assim como abordado em norma, a diferença entre duas amostras do mesmo cimento deveria ser inferior a 0,8%, caso contrário haveria a necessidade de repetição.

4.3.2 Tempos de Início e Fim de Pega do Cimento

Antes mesmo da realização do ensaio dos tempos de início e fim de pega regidos pela NBR 16607/2018, fez-se necessário a determinação da consistência normal da pasta e consequentemente da relação água cimento adotada para a mistura, sendo esse procedimento executado conforme a NBR 16606 (ABNT, 2018), apresentado na imagem a da Figura 6.

Figura 6 – Ensaio da consistência da pasta cimentícia



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019

Nesse ensaio, por meio de tentativas, mistura-se uma massa fixa de 500 g de cimento para cada tipo estudado, dispersa em água e misturadas por meio de argamassadeira mecânica,

anotando sempre os valores da relação água/cimento utilizada em cada momento e o valor da penetração da sonda de Tetmajer, repetindo o ensaio até se obter uma profundidade de (6 ± 1) mm, ou resultados suficientes para obtenção do valor por meio de interpolação.

Uma vez determinada a relação água/cimento para cada amostra substituiu-se a sonda acoplada ao aparelho de Vicat pelas agulhas de início e fim de pega, respectivamente, com mostrado nas imagens a e b da Figura 8. Seguindo a mistura e orientações apresentadas na NBR 16607 (ABNT, 2018) por meio de argamassadeira, essa foi levada ao troco de cone, fez-se a penetração da agulha de início de pega e consequentemente a leitura da profundidade atingida, repetindo o procedimento para cada tipo de cimento até que se atingir uma altura de (6 ± 2) mm com relação a base do tronco de cone com a amostra.

Chegado nesse momento, deu-se prosseguimento ao ensaio realizando a leitura regular e padronizada da penetração das agulhas, agora correspondente ao fim de pega, registrando os valores até o momento em que a queda da agulha não cause deslocamento sobre a pasta, obtendo ao final de todo o processo os horários correspondentes ao início e fim da pega.

Figura 7 – Aparelho de Vicat. a) aparelho de Vicat com agulha de início de pega, b) aparelho de Vicat com agulha de fim de pega



(a)



(b)

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019

4.3.3 Resistência a Compressão Axial

A execução do ensaio de resistência à compressão realizou-se conforme a norma NBR 7215 (ABNT, 2019), bem como a mistura e moldagem. Inicialmente houve a necessidade da obtenção de areia normal para produção da argamassa padrão, esse agregado foi obtido seguindo orientações da NBR 7214 (ABNT, 2015), selecionando as faixas granulométricas indicadas que associadas a massa de cimento preestabelecida em norma, correspondendo a um traço com 624g de cimento e 1872 g de areia normal (nas faixas granulométrica de: 0,15-0,30 mm (468 g); 0,30-0,60 mm (468 g); 0,6-1,2 mm (468 g); e 1,2-2,4 mm (468 g)) e uma massa de água de 300 g, possibilitou por meio de argamassadeira mecânica preparar a mistura, como apresentado na imagem da Figura 8.

Figura 8 – Mistura da pasta cimentícia. a) autora preparando a mistura, b) mistura pronta para moldar



(a)

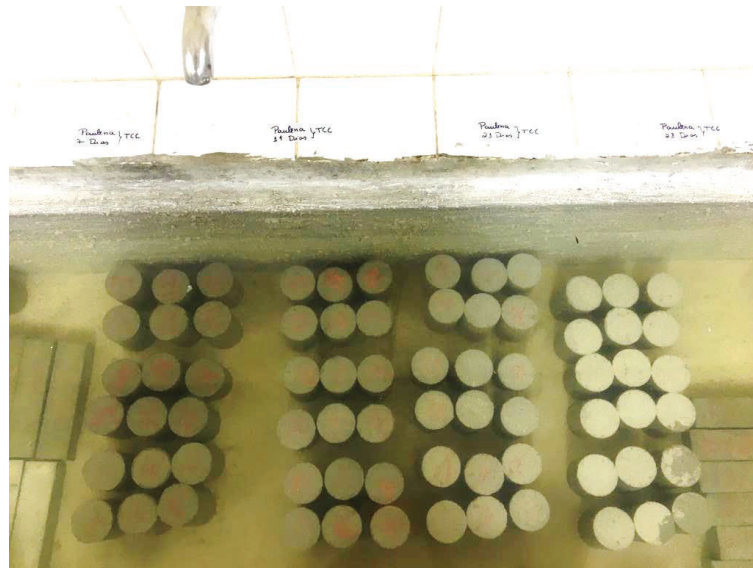


(b)

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019

A execução da mistura seguiu orientações da própria normativa, iniciando com a adição da água e cimento e posterior inclusão da areia, sendo moldado em 4 camadas adensadas com 30 golpes cada, um total de seis corpos de prova, cilíndricos com diâmetro de 50 mm e altura de 100 mm, produzidos para cada tipo de cimento e cada idade a ser estudada, que corresponde aos 7, 14 e 28 dias, somado um valor de 54 corpos de provas, como apresentado na imagem a da Figura 9.

Figura 9 – Todos os corpos de provas no tanque de cura



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019

Esses corpos após 24 h do início da moldagem foram submetidos ao processo de cura em tanque d'água saturada em hidróxido de cálcio como apresentado na NBR 9479 (ABNT, 2006). Só então no decorrer de cada idade estabelecida as amostras foram levadas a prensa hidráulica e assim aferido a sua resistência ao carregamento axial imposto, como apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Corpo de prova na prensa para aferir a resistência axial.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019

Sendo o valor final da resistência determinado pela seguinte equação.

$$R = \frac{F}{A}$$

R é a resistência a compressão axial em Mega Pascal (MPa);

F a carga axial promovida pela prensa em Kgf/cm²;

A corresponde a área transversal a aplicação do carregamento em cm²;

No que se refere a aceitação dos resultados, utilizou-se como base as orientações presentes na NBR 7215 (ABNT, 2019), observando os desvios de um conjunto de corpo de provas. Inicialmente foram retirados os dois resultados das amostras que mais se distanciasse da média gerada pelos seis corpos. De posse desses quatro valores finais calculou-se o desvio relativo máximo (DRM), dividindo o valor absoluto gerado pela diferença entre a resistência média e a resistência da amostra que mais se afastou da média, pela resistência média, devendo o resultado ser expresso em porcentagem. Caso o DRM fosse menor que 6%, a média dos valores utilizados é considerada representativa e corresponde o valor final de resistência, caso contrário calculasse um no DRM com três resultados, excluindo o que mais se afasta do grupo.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICAS DOS DADOS

A ferramenta estatística utilizada neste trabalho corresponde a técnica descritiva utilizando as medidas de posição central e de dispersão como base para sumarização dos dados, sendo os intervalos de aceitação ou rejeição desses adotados conforme os valores apresentados nas normas específicas para cada ensaio. Além de utilizar como referência a NBR 16697 (ABNT, 2018) como fonte para classificação e inferências dos resultados coletados.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta etapa baseou-se na análise dos resultados obtidos a partir dos ensaios, confrontando os dados normatizados para verificação do comportamento das características e propriedades dos cimentos estudados.

5.1 PESQUISA DE MERCADO

Através da pesquisa de mercado realizada de início para o trabalho, visitou-se cinco empreendimentos de vendas de materiais de construção civil no período entre os meses de Junho e Julho de 2019, possibilitando identificar os cimentos que são comercializados e mais consumidos no município de Cajazeiras-PB, sendo eles: o cimento CP II-Z-32 , CP IV-32 , CP II-E-32, CP II-F-32 e o CP V.

Por meio desse levantamento de dados, escolheu-se o tipo de cimento de acordo com o maior fluxo de vendas, sendo esse o CP II-Z-32. Selecionou-se também, os fabricantes existentes no mercado local que produzem o mesmo tipo de cimento selecionado, totalizando em três marcas: Mizu, Elizabeth e Nassau.

A partir dessa escolha, montou-se as amostras a serem estudadas compostas de uma mesma classe de cimento (CP II-Z-32) diferenciadas pela empresa fabricante, sendo essas nomeadas ao longo do texto como amostra tipo I, II e III, não sendo respeitada essa ordem citada anteriormente.

5.2 ÍNDICES DE FINURA

A caracterização do cimento se deu primeiramente pelo ensaio de índice de finura do cimento Portland através da NBR 11579 (ABNT, 2012), por meio da peneira de nº 200, o mesmo ensaio foi repetido igualmente para os 3 fabricantes. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Índice de finura para os 3 fabricantes

TIPOS	I (%)	II (%)	III (%)
LEITURA 1	0,96	1,64	0,88
LEITURA 2	0,86	1,96	1,14
DESVIO	0,1	0,32	0,26
IF	0,91	1,8	1,01

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019

Embora seja observado uma diferença entre os valores do índice de finura para cada fabricante, como no caso do tipo II que possui maior índice, os resultados para os três fabricantes analisados estão de acordo com os requisitos mínimos da NBR 16697 (ABNT, 2018), em que os resultados não devam ultrapassar 12%, os tornando aptos nesse quesito.

5.3 TEMPO DE PEGA

Por seguinte, os ensaios se deram pela caracterização do tempo de início e fim de pega do cimento, normatizada pela NBR 16607 (ABNT, 2018). A Tabela 3 apresenta resultados desse ensaio para cada fabricante estudados na pesquisa.

Tabela 3 – Tempo de início e fim de pega para os 3 fabricantes

TIPO	A/C	INICIO DE PEGA	FIM DE PEGA
I	0,30	2h45min	3h20min
II	0,30	3h00min	3h51min
III	0,31	3h15min	4h02min

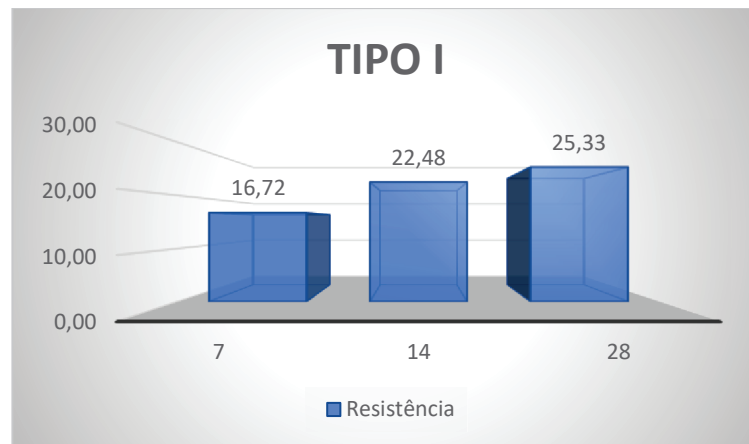
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019

Em relação ao tempo de pega para os cimentos estudados, todas as marcas encontram-se de acordo com os limites estabelecidas por norma, em que o tempo de início de pega deve ser maior ou igual a 1 hora, e o tempo de fim de pega não pode ultrapassar o valor de 10 horas. Esse tempo é crucial principalmente no que se refere a sua aplicação, que está relacionado a trabalhabilidade, nas operações de transporte, lançamento e adensamento nas peças de concreto, por exemplo.

5.4 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

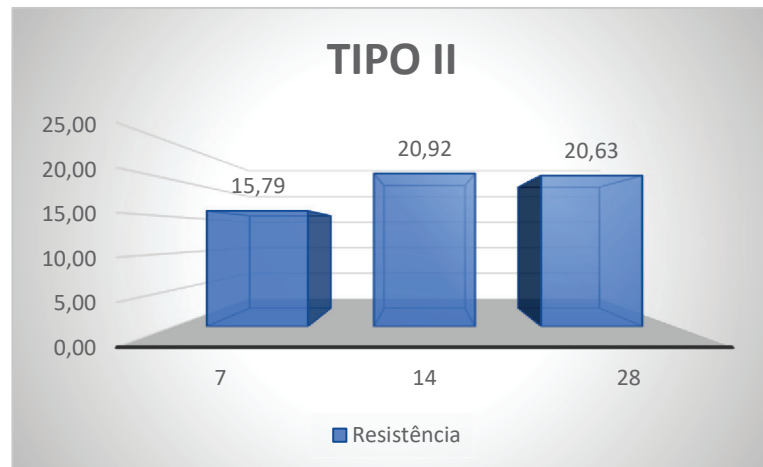
Os cimentos foram ensaiados quanto a sua resistência à compressão axial conforme estabelece a norma NBR 7215 (ABNT, 2019). As Figuras 11, 12 e 13 apresentam os gráficos com os ganhos de resistência, para as idades de 7, 14 e 28 dias, dos cimentos dos tipos I, II e III, respectivamente.

Figura 11 – Ganho de resistência do cimento tipo I

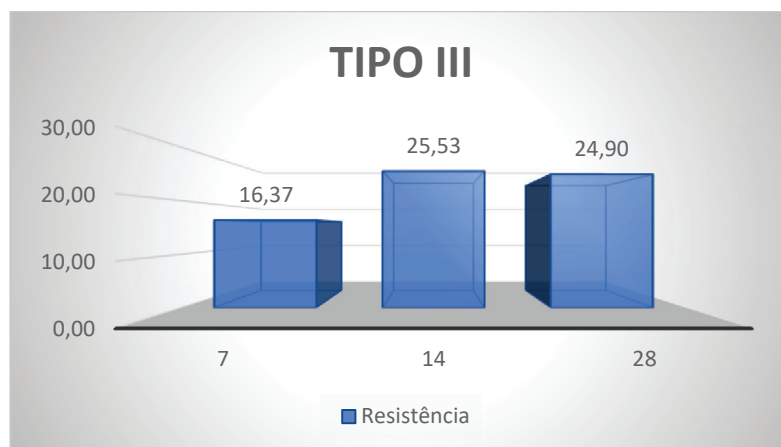


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019

Figura 12 – Ganho de resistência do cimento tipo II



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019

Figura 133 – Ganho de resistência do cimento tipo III

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019

É possível observar quanto ao ganho de resistência ao longo das idades que apenas o cimento tipo I permaneceu em constante crescimento, diferentemente dos tipos II e III, que tiveram ganho apenas das idades de 7 e 14 dias apresentando, apesar de sutil, um decréscimo entre 14 e 28 dias.

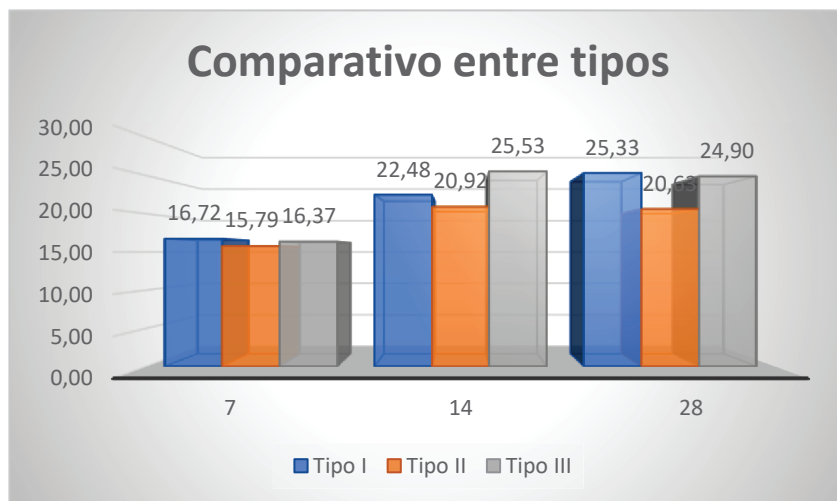
Esse decréscimo pode ser consequência de alguns fatores de produção, como por exemplo nas etapas de adensamento e cura do corpo de prova ou na calibragem do equipamento para o rompimento dos mesmos, podendo ser também advindo das características e composição do próprio material.

Embora tenha se registrado um aumento na resistência ao longo das idades para todos os fabricantes de cimento, salvo as amostras II e III nas idades de 14 a 28 dias, nenhuma das resistências médias alcançaram os resultados dos limites mínimos estabelecidos na NBR 16697 (ABNT, 2018), em que para 7 dias deve ser ter um valor mínimo de 20 MPa e de 32 MPa para a idade de 28 dias. Sendo os 14 dias um valor intermediário adotado para a verificação do comportamento mecânico, mesmo não constando em norma sua obrigatoriedade de produção e análise, não havendo assim parâmetros comparativos para esse instante.

Vale ressaltar que das 6 amostras avaliadas, 2 a mais da quantidade requerida em norma, houve dados de resistências que superaram os requisitos mínimos exigidos, conforme pode ser observado no apêndice A. No entanto esses acabaram sendo descartados por não se enquadrarem nos critérios da seleção da amostra quanto a análise do DRM, não sendo representativos para o cálculo da resistência média final.

No que se diz respeito ao comparativo entre os valores médios de resistência alcançados entre as marcas os dados são apresentados na Figura 14.

Figura 14 – Ganho de resistência em modo comparativo



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019

Nas idades de 7 e 28 dias é possível perceber a predominância da marca do tipo I sobre os demais. Essa diferença não torna-se expressiva visto que as outras marcas adquiriram uma resistência próxima da mesma, exceto quando comparamos aos 28 dias o tipo I e II que apresentaram entre suas resistências uma diferença de aproximadamente 18,55%.

Já no que se trata da resistência para os 14 dias, a amostra tipo III se destacou, sendo essa também a maior resistência média registrada no estudo, que quando comparada para a mesma idade com as amostras tipo I e II temos entre as resistências uma diferença percentual de 11,95% e 18,06%, respectivamente.

A amostra tipo II obteve os resultados menos satisfatórios da pesquisa, não se destacando no que se refere a resistência média entre as demais marcas nas idades analisadas, além de não alcançar os requisitos mínimos trazidos por norma, assim como as demais marcas para o estudo em questão.

6 CONCLUSÕES

Com base nas análises dos resultados obtidos dos ensaios, a partir das amostras selecionadas das principais marcas comercializadas no mercado local do município de Cajazeiras, para os cimentos do tipo CP II-Z-32, foram observadas algumas questões importantes, apresentadas a seguir.

Quanto aos objetivos do trabalho, verificou-se que foram alcançados, uma vez que todas as amostras passaram pelo processo de caracterização estabelecido por norma para os 3 tipos de fabricantes escolhidos antes de comparar as resistências á compressão dos diferentes tipos de cimentos analisados. Além da concretização da pesquisa de mercado que pode mostrar de forma sutil o perfil dos consumidores de cimento sob a ótica dos comerciantes, propiciando a escolha do material a ser utilizado na pesquisa.

Para os resultados apresentados nos ensaios em laboratório sobre as marcas do tipo I, II e III, todos da classe CP II-Z-32, pôde-se constatar que nenhuma das resistências médias obedeceu aos parâmetros estabelecidos pela norma NBR 16697 (ABNT, 2018). No intervalo das idades de 7 para 14 dias, obteve um constante crescimento da resistência para todos os 3 tipos de fabricantes, porém apenas o tipo I permaneceu com crescimento de 14 a 28 dias. Sendo os 14 dias um valor intermediário adotado para a verificação do comportamento mecânico, mesmo não constando em norma. Destacando que para este trabalho, utilizou-se 6 amostras para cada tipo de fabricante a cada idade de rompimento, enquanto que por norma são estabelecidas apenas 4, trazendo para a pesquisa mais relevância aos resultados.

Esse decréscimo da resistência pode estar relacionado a fatores como as características e composição de cada fabricante, calibragem do equipamento para o rompimento dos corpos de prova, como também advindo das etapas de adensamento e cura. Ficando como sugestão o aprofundamento nas possíveis causas que levaram tamanhas discrepâncias dos valores normatizados, avaliando não tão somente as questões físicas e mecânicas, mas também dimensões químicas do material.

Dessa forma, conclui-se que deve haver uma preocupação maior com as informações que nos são repassadas de cada material, tendo em vista a sua importância e tamanha aplicação dentro do setor da construção. Não exercer seu controle pode implicar em problemas que vão desde produto que não alcance suas propriedades mecânicas desejadas, até patologias, seja a longo ou curto prazo. Como também investir em novas tecnologias e mão de obra qualificada, pois o arranjo só se harmoniza com todos esses fatores alinhados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. 7 ed. São Paulo, 2002. 28p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Uma breve história do cimento Portland. São Paulo, 2019. Disponível em <https://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland/>. Acesso em 20 jun. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579**: Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira nº 200. Rio de Janeiro, ABNT, 2012.

_____. **NBR 16606**: Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, ABNT, 2018.

_____. **NBR 16607**: Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, ABNT, 2018.

_____. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, ABNT, 2018.

_____. **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento – Especificação. Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ABNT, 2019.

_____. **NBR 9479**: Argamassa e concreto – Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, ABNT, 2006.

CÂMARA BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO CIVIL. Catálogo de inovação na construção civil. Brasília. CBIC, 2016.

CIMENTO ITAMBÉ. Pesquisa sobre cimento verde avançam e miram 2050. 2017. Disponível em <https://www.cimentoitambe.com.br/pesquisas-sobre-cimento-verde-avancam-e-miram-2050/>. Acesso em 19 jun. 2019.

CIMENTO ITAMBÉ. Saber usar o cimento gera importantes ganhos ambientais. 2018. Disponível em <https://www.cimentoitambe.com.br/saber-usar-o-cimento-gera-importantes-ganhos-ambientais-2/>. Acesso em 19 jun. 2019.

CIMENTO.ORG. O mundo do Cimento. Cimento: Mercado Brasil no primeiro trimestre 2019. 2019. Disponível em <https://cimento.org/cimento-mercado-brasil-no-primeiro-trimestre-2019/>. Acesso em 19 jun. 2019.

CIMENTO.ORG. O mundo do Cimento. História do cimento.

2008. Disponível em <https://cimento.org/historia-do-cimento/>. Acesso em 19 jun. 2019.

CIMENTO.ORG. O mundo do Cimento. O mundo do cimento em 2016 e as perspectivas para 2017. 2017. Disponível em <https://cimento.org/o-mundo-do-cimento-2016-e-2017/>. Acesso em 19 jun. 2019.

CIMENTO.ORG. O mundo do Cimento. Paraíba será 2º maior produtor de cimento do País. 2014. Disponível em <https://cimento.org/com-cinco-novas-fabricas-paraiba-sera-2o-maior-produtor-de-cimento-do-pais/>. Acesso em 19 jun. 2019.

CORREIO BRAZILIENSE. Vendas de cimento crescem 1,3% no primeiro trimestre de 2019, diz SNIC. Disponível em https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2019/04/10/internas_economia,748795/vendas-de-cimento-crescem-1-3-no-primeiro-trimestre-de-2019-diz-snic.shtml. Acesso em 20 jun. 2019.

DORFMAN, Gabriel. **História do cimento e do concreto**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2003.

ELIZABETH CIMENTOS. Institucional.2019. Disponível em <http://www.elizabethcementos.com.br/institucional/o-grupo>. Acesso em 20 jun. 2019.

FILHO, D.T. **Manual básico de materiais para construção**. 2. Ed. – Cajazeiras/PB: Gráfica Real, 2016. ISBN 978-85-65631-14-3.

FUSCO, P.B. **Tecnologia do concreto estrutural: Tópicos aplicados a componentes, durabilidade, resistência mecânica, corrosão e compressão**. São Paulo, Pini, 2008.

GALHARDO, P.G. **Estudo da produção de cimento com ênfase na classe G**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Rio de JANEIRO, 2014. Disponível em <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10012107.pdf>. Acesso em 18 jun. 2019.

KONCZ, T. **Construcción industrializada**. Madrid, Hermann Blume. 1977.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1997.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 523 p.

PEREIRA, Miguel F. **Estudo dos cimentos comercializados em Campo Mourão**. 2012,40f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Tecnologia em Construção Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2012.

PETRUCCI, Eladio G.R. **Concreto de Cimento Portland**. Globo, São Paulo. 1998.

ROCHA, Frederico. Dinâmica da concentração de mercado na indústria brasileira, 1996-2003. **Economia e sociedade**. Dez 2010, vol.19, no.3, p.477-498. ISSN 0104-0618.

SANTOS, Leandro Bruno. A indústria de cimento no Brasil: origens, consolidação e internacionalização. **Sociedade & Natureza**. 2011, vol.23, no.1, p.77-94. ISSN 1982-4513.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). 2010. Relatório anual, 2010.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). 2019. Resultados preliminares de março, 2019.

SOUSA, R. F., **Inovações tecnológicas na construção civil**. 2015. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Bacharelado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015. Disponível em http://www.gpsustentavel.ufba.br/downloads/Inovacao_na_Construcao_Raisa_Fonseca.pdf. Acesso em 25 jul. 2019.

SOUSA, Rainer. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro, Editora Universidade Rural (1998).

TARTUCE, Ronaldo. GIOVANNETTI, Edio. **Princípios básico sobre concreto de cimento Portland**. Pini: Ibracon São Paulo, 1990.

TONETTO, Leandro Miletto; BRUST-RENCK, Priscila Goergen; STEIN, Lilian Milnitsky. Perspectivas metodológicas na pesquisa sobre o comportamento do consumidor. **Psicologia: ciência e profissão**. prof., Brasília, v. 34, n. 1, p. 180-195, Mar. 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-98932014000100013&lng=en&nrm=iso. Acesso em 05 jun. 2019.

VOTORANTIM CIMENTOS. Sustentabilidade – Global cement and concret association (GCCA). 2018. Disponível em <http://www.votorantimcimentos.com/pt-BR/sustainability/Paginas/global-cement-and-concrete-association.aspx>. Acesso em 25 jul. 2019.

APÊNDICE A – VALORES DAS RESISTÊNCIAS Á COMPRESSÃO AXIAL

Todos os resultados obtidos das resistências a compressão para as idades de 7, 14 e 28 são expressos pelas tabelas 4, 5 e 6 respectivamente.

Tabela 4 - Resultados e verificação do DRM aos 7 dias

AMOSTRA (A)	Kgf/cm ²	Mpa	VERIFICAÇÃO*	DRM 4 AMOSTRAS %	VERIFICAÇÃO**	DRM 3 AMOSTRAS %
TIPO I						
1	3200	16,30	OK	8,11	-	
2	4000	16,35	OK	7,82	OK	2,23
3	3320	16,91	OK	4,67	OK	1,11
4	4080	20,78	-	-	-	-
5	4240	21,59	-	-	-	-
6	3320	16,91	OK	4,67	OK	1,11
MÉDIA PARA 4 AMOSTRAS						17,74
MÉDIA PARA 3 AMOSTRAS (MÉDIA FINAL)						16,72
TIPO II						
1	3520	17,93	OK	9,83	-	-
2	3220	16,40	OK	0,47	OK	3,87
3	3120	15,89	OK	2,65	OK	0,65
4	4080	20,78	-	-	-	-
5	2960	15,08	OK	7,64	OK	4,52
6	3600	18,33	-	-	-	-
MÉDIA PARA 4 AMOSTRAS						16,32
MÉDIA PARA 3 AMOSTRAS (MÉDIA FINAL)						15,79
TIPO III						
1	3360	17,11	OK	0,30	OK	4,56
2	3240	16,50	OK	3,28	OK	0,83
3	4000	20,37	-	19,40	-	-
4	3040	15,48	OK	9,25	OK	5,39
5	3760	19,15	OK	12,24	-	-
6	3840	19,56	-	14,63	-	-
MÉDIA PARA 4 AMOSTRAS						17,06
MÉDIA PARA 3 AMOSTRAS (MÉDIA FINAL)						16,37
* Exclusão dos valores mais discrepantes e composição das quatro amostras;						
** Composição das três amostra quando essa se faz necessária.						

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019

Tabela 5 - Resultados e verificação do DRM aos 14 dias

AMOSTRA (A)	Kgf/cm²	Mpa	VERIFICAÇÃO*	DRM 4 AMOSTRAS %	VERIFICAÇÃO**	DRM 3 AMOSTRAS %
TIPO I						
1	4800	24,45	-	-	-	-
2	4400	22,41	OK	5,77	OK	0,30
3	4440	22,61	OK	6,73	OK	0,60
4	4400	22,41	OK	5,77	OK	0,30
5	3400	17,32	OK	18,27	-	-
6	4640	23,63	-	-	-	-
MÉDIA PARA 4 AMOSTRAS						21,19
MÉDIA PARA 3 AMOSTRAS (MÉDIA FINAL)						22,48
TIPO II						
1	3680	18,74	OK	8,00	-	-
2	3240	16,50	-	-	-	-
3	4080	20,78	OK	2,00	OK	0,65
4	4080	20,78	OK	2,00	OK	0,65
5	3320	16,91	-	-	-	-
6	4160	21,19	OK	4,00	OK	1,30
MÉDIA PARA 4 AMOSTRAS						20,37
MÉDIA PARA 3 AMOSTRAS (MÉDIA FINAL)						20,92
TIPO III						
1	5200	26,48	OK	7,23	OK	3,75
2	4080	20,78	-	-	-	-
3	4360	22,21	OK	10,09	-	-
4	3440	17,52	-	-	-	-
5	4600	24,43	OK	1,08	OK	4,30
6	5040	25,67	OK	3,93	OK	0,55
MÉDIA PARA 4 AMOSTRAS						24,70
MÉDIA PARA 3 AMOSTRAS (MÉDIA FINAL)						25,53
* Exclusão dos valores mais discrepantes e composição das quatro amostras;						
** Composição das três amostras quando essa se faz necessária.						

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019

Tabela 6 - Resultados e verificação do DRM aos 28 dias

AMOSTRA (A)	Kgf/cm ²	Mpa	VERIFICAÇÃO*	DRM 4 AMOSTRAS %	VERIFICAÇÃO **	DRM 3 AMOSTRAS %
TIPO I						
1	5000	25,46	OK	2,88	OK	0,54
2	6688	34,06	-	-	-	-
3	4520	23,02	OK	7,00	-	-
4	5040	25,67	OK	3,70	OK	1,34
5	4880	24,85	OK	5,15	OK	1,88
6	4400	22,41	-	-	-	-
MÉDIA PARA 4 AMOSTRAS						24,75
MÉDIA PARA 3 AMOSTRAS (MÉDIA FINAL)						25,33
TIPO II						
1	4000	20,37	OK	1,23	-	-
2	3440	17,52	-	-	-	-
3	3960	20,17	OK	2,22	-	-
4	2160	11,00	-	-	-	-
5	4040	20,58	OK	0,25	-	-
6	4200	21,39	OK	3,70	-	-
MÉDIA PARA 4 AMOSTRAS						20,63
MÉDIA PARA 3 AMOSTRAS (MÉDIA FINAL)						-
TIPO III						
1	3640	18,54	-	-	-	-
2	4800	24,45	OK	5,138339921	OK	1,840490798
3	5080	25,87	OK	0,395256917	OK	3,885480573
4	4880	24,85	OK	3,557312253	OK	0,204498978
5	5480	27,91	OK	8,300395257	-	-
6	5840	29,74	-	-	-	-
MÉDIA PARA 4 AMOSTRAS						25,77
MÉDIA PARA 3 AMOSTRAS (MÉDIA FINAL)						24,90
* Exclusão dos valores mais discrepantes e composição das quatro amostras;						
** Composição das três amostras quando essa se faz necessária.						

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019