

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE GOIÁS

CÂMPUS GOIÂNIA

DEPARTAMENTO DAS ÁREAS ACADÊMICAS III

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

**PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS
PRODUZIDOS COM AREIA NATURAL E AREIA ARTIFICIAL
COM USO DE ADITIVO POLIFUNCIONAL**

WANESSA ELISIARIO DOS SANTOS

GOIÂNIA

2021

WANEISSA ELISIÁRIO DOS SANTOS

**PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS PRODUZIDOS
COM AREIA NATURAL E AREIA ARTIFICIAL COM USO DE
ADITIVO POLIFUNCIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Civil, do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás,
Câmpus Goiânia, como parte dos requisitos
necessários para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil

Orientador: prof. MSc. Humberto Rodrigues Mariano

GOIÂNIA

2021

S237p Santos, Wanessa Elisario dos.

Propriedades mecânicas de concretos produzidos com areia natural e areia artificial com uso de aditivo polifuncional / Wanessa Elisario dos Santos. – Goiânia : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2021.
118f. ; il.

Orientador: Prof. Msc. Humberto Rodrigues Mariano.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Materiais de construção. 2. Concreto. 3. Areia. 4. Aditivos para concreto. I. Mariano, Humberto Rodrigues (orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 691.3

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Lana Cristina Dias Oliveira CRB1/ 2.631
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Wanessa Elisario dos Santos

Matrícula: 20161011050206

Título do Trabalho: PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM AREIA NATURAL E AREIA ARTIFICIAL COM USO DE ADITIVO POLIFUNCIONAL

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 29/09/2021.

Local

Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

Wanessa Elisiario dos Santos

**PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETO PRODUZIDO COM AREIA NATURAL E AREIA ARTIFICIAL COM USO DE ADITIVO
POLIFUNCIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia, como parte dos quesitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Membros da banca: Me. Humberto Rodrigues Mariano (orientador); Dr. João Carlos de Oliveira; Esp. Wesley Pimenta de Menezes.

Aprovado em 10 de Agosto de 2021.

Documento assinado eletronicamente por:

- Humberto Rodrigues Mariano, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/08/2021 18:58:09.
- Joao Carlos de Oliveira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/08/2021 16:58:20.
- Wesley Pimenta de Menezes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/08/2021 16:42:45.
- Matilde Batista Melo, COORDENADOR - FUC1 - GYN-CCSBEC, em 10/08/2021 16:37:48.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 10/08/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 189030

Código de Autenticação: 0748258d0f



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110

(62) 3227-2736 (ramal: 2736)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me permitir ter essa oportunidade, me dar forças nos momentos difíceis e por me capacitar para vencer todos os obstáculos.

À minha família que esteve ao meu lado me compreendendo e auxiliando, à minha mãe Adriana pelos cafés durante as madrugadas, pelas palavras de apoio e incentivo e pelos abraços de conforto e compreensão, ao meu pai Wilmar pelo incentivo, a crença firme e inabalável e pelos sábados de manhã sacrificados para me levar segurança, assim como ao meu irmão Wilmar Filho que além disso compartilhou comigo momentos alegres e de descontração que deram a leveza pra chegar até aqui. Por todo amor que recebi deles em momentos que não estava inteira para retribuir.

À minha amiga de graduação Isabella de Oliveira que foi crucial para o meu sucesso, que foi ponto de apoio e referência, me auxiliando e passando por todas as etapas junto comigo, com quem dividi minhas dúvidas e questionamentos e esteve presente nos momentos mais difíceis sempre me incentivando.

Ao professor Msc. Humberto Rodrigues Mariano pela compreensão, pelo apoio e orientação, pela disposição em esclarecer e discutir as questões para chegarmos ao melhor entendimento acerca dos temas relacionados à pesquisa e por ser um apoio em meios aos problemas que enfrentamos ao longo da pesquisa. Aos técnicos Sérgio Azevedo Coelho e Alfredo Jardim Portella, do Laboratório de materiais de construção do IFG – Campus Goiânia, pelo empenho e dedicação e ao colega Bruno que participou ativamente das atividades e dividiu comigo o cargo dessas realizações, sem os quais seria impossível a conclusão desta pesquisa. Aos professores examinadores João Carlos de Oliveira e Wesley Pimenta de Menezes pela avaliação construtiva da pesquisa.

Aos amigos e familiares que mesmo longe torciam e acreditavam no meu sucesso e que sentiram minha ausência ao longo desses cinco anos de dedicação quase que exclusiva à graduação; estou voltando para vocês.

RESUMO

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM AREIA NATURAL E AREIA ARTIFICIAL COM USO DE ADITIVO POLIFUNCIONAL

AUTORA: WANESSA ELISIARIO DOS SANTOS

ORIENTADOR: PROF. MSC. HUMBERTO RODRIGUES MARIANO

A pesquisa se propôs a verificar as propriedades mecânicas de concretos produzidos com areia natural ou artificial, fazendo o uso de aditivo polifuncional. Os materiais usados na construção civil têm diferentes propriedades e conhecer essas propriedades é essencial para obtermos o melhor uso e aplicação nas diversas etapas da construção. Ao estudarmos o concreto e seus componentes temos grandes variações nos resultados ao usar diferentes componentes, sendo agregados com diferentes composições, dimensões ou quantidades dessas composições, ou mesmo o uso de aditivos para salientar uma característica que auxiliaria na execução. Nessa pesquisa foram estudadas as propriedades mecânicas de seis tipos de concreto variando sua composição, usando cimento CII-F-32, brita granito e aditivo polifuncional, sendo utilizando em três dos traços areia natural e nos demais areia artificial, variando as proporções com as mesmas composições para verificar os resultados obtidos com os parâmetros de materiais estabelecidos. Para verificação dessas propriedades foram realizados os ensaios de resistência a compressão do concreto e ensaio de módulo de elasticidade. Com esse estudo foi observado que os resultados obtidos para areia natural foram superiores aos obtidos para areia artificial. Entretanto, foram obtidos resultados aproximados, conferindo propriedades mecânicas satisfatórias para os concretos produzidos com areia artificial em relação aos produzidos com areia natural

Palavras-chave: Materiais de construção. Propriedades mecânicas do concreto. Areia Natural. Areia Artificial. Aditivo polifuncional.

ABSTRACT

COMPARISON OF MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE PRODUCED WITH NATURAL SAND AND ARTIFICIAL SAND WITH THE USE OF POLIFUNCTIONAL ADDITIVE

AUTHOR: WANESSA ELISIARIO DOS SANTOS

ADVISOR: PROF. MSC. HUMBERTO RODRIGUES MARIANO

The research aimed to verify the mechanical properties of concrete produced with natural or artificial sand, using a polyfunctional additive. The materials used in civil construction have different properties and knowing these properties is essential for us to obtain the best use and application in the various stages of construction. When we study concrete and its components, we have great variations in the results when using different components, being aggregated with different compositions, dimensions or amounts of these compositions, or even the use of additives to highlight a characteristic that would help in the execution. In this research, the mechanical properties of six types of concrete were studied, varying their composition, using CII-F-32 cement, gravel granite and polyfunctional additive, using natural sand in three of the lines and in the others artificial sand, varying the proportions with them compositions to verify the results obtained with the established material parameters. To verify these properties, the compressive strength tests of concrete and the modulus of elasticity test were performed. With this study it was observed that the results obtained for natural sand were superior to those obtained for artificial sand. However, approximate results were obtained, providing satisfactory mechanical properties for concretes produced with artificial sand in relation to those produced with natural sand.

Keywords: Building materials. Mechanical properties of concrete. Natural sand. Artificial sand. Polyfunctional additive.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Curvas de distribuição granulométrica	19
Figura 2.2 - Agregados naturais - a) seixos; b) areia média.....	24
Figura 2.3 - Agregados artificiais – Produção de areia de brita.....	26
Figura 2.4 - Fluxograma de uma usina convencional de britagem de rocha compacta para produção de agregado.....	28
Figura 2.5 Forma dos agregados – a) Alongado; b) Lamelar; c) Cúbico.....	36
Figura 2.6 - Grau de esfericidade e arredondamento.....	37
Figura 3.1 - Processo de fabricação do cimento	43
Figura 3.2 - Nomenclatura do cimento Portland	45
Figura 3.3 - Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de cimento Portland.	46
Figura 6.1 - Planejamento dos Ensaios.....	71
Figura 7.1 - Resultado do ensaio de composição granulométrica da areia artificial.	78
Figura 7.2 - Resultado do ensaio de composição granulométrica da areia natural.	79
Figura 7.3 - Determinação da composição granulométrica do Agregado Graúdo	84
Figura 7.8 – Valores médios de resistência à compressão do cimento.....	87
Figura 7.9 – Resistência à compressão do traço básico.	95
Figura 7.10 – Módulo de elasticidade do traço básico.	95
Figura 7.11 – Resistência à compressão do traço pobre.	96
Figura 7.12 – Módulo de elasticidade do traço pobre.....	97
Figura 7.13 – Resistência à compressão do traço rico.....	98
Figura 7.14 – Módulo de elasticidade do traço rico	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal).	20
Tabela 2.2 - Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo	21
Tabela 2.3 - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo	22
Tabela 2.4 - Classificação das britas.....	23
Tabela 2.5 - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material	32
Tabela 2.6 - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo com relação à massa do material	34
Tabela 2.7 - Classificação forma dos agregados	36
Tabela 2.8 - Resistências encontradas para diferentes rochas.....	38
Tabela 3.1 - Propriedades dos principais compostos do clínquer.	42
Tabela 3.2 - Limites de composição do cimento Portland	45
Tabela 3.3 - Requisitos físicos e mecânicos	50
Tabela 3.4 – Determinações facultativas	51
Tabela 4.1 - Características dos aditivos	60
Tabela 7.1 - Determinação da massa específica do agregado miúdo – Areia artificial	80
Tabela 7.2 - Determinação da massa específica do agregado miúdo – Areia natural	81
Tabela 7.3 - Dimensões do recipiente - ensaio de massa unitário do agregado miúdo	82
Tabela 7.4 - Resultado ensaio massa unitária – Areia Artificial.....	82
Tabela 7.5 - Resultado ensaio massa unitária – Areia natural	83
Tabela 7.6 - Massa seca, satura e submersa – Massa específica do agregado graúdo	85
Tabela 7.7 - Resultados ensaio massa específica - Agregado graúdo	85

Tabela 7.8 - Dimensões do recipiente - Agregado Graúdo	86
Tabela 7.9 - Resultado ensaio massa unitária – Agregado Graúdo	86
Tabela 7.10 – Resultados obtidos no Aparelho Vicat – Pasta de consistência normal	88
Tabela 7.11 - Resultados - Tempos de pega	89
Tabela 7.12 – Resultados – Ensaio massa específica do cimento.....	91
Tabela 7.13 – Traço básico produzido com areia natural.....	91
Tabela 7.14 – Traço básico produzido com areia artificial.	92
Tabela 7.15 – Traço pobre produzido com areia natural.....	92
Tabela 7.16 – Traço pobre produzido com areia artificial.....	93
Tabela 7.17 – Traço rico produzido com areia natural.	93
Tabela 7.18 – Traço rico produzido com areia artificial.	94
Tabela 8.1 – Abatimento e relação água/cimento (a/c) dos concretos.....	101
Tabela 8.2 – Consumo de água dos concretos.	101
Tabela 8.3 – Variação da resistência à compressão.....	103
Tabela 8.4 – Variação do módulo de elasticidade.....	105

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

a/c	Água/cimento
A	Percentual de água
°C	Graus celsius
cm	centímetro
CP	Cimento Portland
d	Massa específica do cimento
dm	Decímetro
Eci	Módulo de deformação tangente inicial
F	Índice de finura do Cimento Portland
fck	Resistência característica do concreto à compressão
g	Gramas
g/cm ³	Gramas por centímetro cúbico
Kg	Kilogramas
kg/cm ³	Kilogramas por centímetro cúbico
mm	Milímetros
min	Minutos
μm	Micrometro
M_u	Massa unitária do agregado
$M_{(r+a)}$	Massa do recipiente mais o agregado
M_r	Massa do recipiente vazio
MPa	Megapascal
nº	Número
pH	Potencial hidrogeniônico
V	Volume do recipiente
V_i	Leitura inicial do frasco
V_f	Leitura final do frasco
γ_{ag}	Massa específica do agregado
%	Percentual

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	PROBLEMA	14
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3	JUSTIFICATIVA	16
2.	AGREGADOS	17
2.1	INTRODUÇÃO	17
2.2	DEFINIÇÃO	18
2.3	CLASSIFICAÇÃO	18
2.3.1	Quanto à dimensão das partículas	18
2.3.2	Quanto à origem.....	24
2.3.3	Quanto à massa específica	29
2.4	AGREGADOS PARA CONCRETO	30
2.4.1	Umidade e absorção	31
2.4.2	Impurezas.....	32
2.4.3	Forma dos grãos	34
2.4.4	Resistência.....	37
3.	CIMENTO PORTLAND.....	40
3.1	DEFINIÇÃO	40
3.2	COMPOSIÇÃO BÁSICA.....	41
3.3	TIPOS DE FABRICAÇÃO	43
3.4	TIPOS DE CIMENTO	44

3.4.1	Cimento Portland comum	46
3.4.2	Cimento Portland composto	47
3.4.3	Cimento Portland de alto-forno.....	47
3.4.4	Cimento Portland pozolânico.....	47
3.4.5	Cimento Portland de alta resistência inicial	48
3.4.6	Cimentos Portland especiais	48
3.5	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	50
3.5.1	Finura	51
3.5.2	Tempo de pega	52
3.5.3	Expansibilidade	52
3.5.4	Resistência à compressão.....	53
3.5.5	Calor de hidratação	53
3.5.6	Retração	54
3.5.7	Exsudação.....	55
3.6	ARMAZENAMENTO.....	55
4.	ADITIVOS	57
4.1	DEFINIÇÃO	57
4.2	FINALIDADES.....	57
4.3	TIPOS DE ADITIVOS	58
4.4	ADITIVOS PLASTIFICANTES.....	61
4.5	ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES	62
4.6	ADITIVOS POLIFUNCIONAIS	63
5.	PRODUÇÃO DE CONCRETO.....	65
5.1	COMPONENTES DO CONCRETO.....	65
5.2	ÁGUA DE AMASSAMENTO	66
5.3	DOSAGEM DO CONCRETO	67

5.4	MISTURA DO CONCRETO	68
5.5	TRANSPORTE DO CONCRETO	69
5.6	CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO.....	69
5.6.1	Resistência à compressão.....	69
5.6.2	Módulo de elasticidade	70
6.	METODOLOGIA.....	71
6.1	PLANEJAMENTO DOS ENSAIOS	71
6.2	VARIÁVEIS DEPENDENTES.....	72
6.2.1	Resistência à compressão.....	72
6.2.2	Módulo de elasticidade	72
6.3	VARIÁVEIS INDEPENDENTES	72
6.3.1	Método de dosagem.....	72
6.3.2	Abatimento do tronco de cone.....	73
6.3.3	Tipo de cimento	73
6.3.4	Tipo do agregado miúdo.....	73
6.3.5	Tipo de agregado graúdo	74
6.3.6	Água de amassamento.....	74
6.3.7	Moldagem de corpos de prova	74
6.3.8	Tipo de cura.....	74
6.4	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	75
6.4.1	Agregado miúdo	75
6.4.2	Agregado graúdo.....	75
6.4.3	Cimento	75
6.4.4	Concreto no estado fresco.....	76
6.4.5	Concreto no estado endurecido.....	76

7.	RESULTADOS	77
7.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	77
7.1.1	Agregados Miúdos.....	77
7.1.2	Agregado Graúdo	83
7.1.3	Cimento	87
7.2	PRODUÇÃO DO CONCRETO	91
7.2.1	Traço básico	91
7.2.2	Traço pobre	92
7.2.3	Traço rico.....	93
7.3	ENSAIOS DE CONCRETO	94
7.3.1	Traço básico	94
7.3.2	Traço pobre	96
7.3.3	Traço rico.....	97
8.	DISCUSSÕES	100
8.1	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CIMENTO.....	100
8.2	TEMPOS DE INÍCIO E FIM DE PEGA.....	100
8.3	RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO.....	101
8.4	ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO.....	102
8.4.1	Resistência à compressão.....	102
8.4.2	Módulo de elasticidade	104
9.	CONCLUSÃO.....	106
10.	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	108
11.	REFERÊNCIAS	109

1. INTRODUÇÃO

O concreto é, atualmente, o material de construção mais utilizado no Brasil e no mundo, em função de diversos fatores, dentre eles, a versatilidade na produção e manejo, a durabilidade, a economia, além da alta resistência à água. O concreto é um material de construção heterogêneo resultante da mistura de um aglomerante hidráulico com materiais inertes, chamados agregados, e água. Essa seria a composição básica do concreto, porém a necessidade de melhorias em suas características, fez com que se acrescentassem outros constituintes à mistura, materiais estes, destinados a proporcionar propriedades especiais ao concreto, tanto em seu estado fresco quanto no endurecido, denominados de aditivos e/ou adições.

Quando o concreto é dosado de acordo com certos princípios básicos, apresenta, além da resistência, as vantagens de baixo custo, facilidade de execução, durabilidade e economia. Para tanto é necessário, inicialmente, conhecer as características que o concreto endurecido deve possuir, para depois, a partir dos materiais disponíveis, obter o concreto pretendido, mediante o proporcionamento correto da mistura e o uso adequado dos processos de fabricação. O concreto fresco representa uma fase transitória, porém de enorme influência nas características do concreto endurecido (ARAÚJO, 2000).

1.1 PROBLEMA

A incorporação de aditivos químicos, em geral, resulta na produção de materiais cimentícios com melhores características técnicas, uma vez que eles têm a capacidade de alterar as propriedades do concreto em seu estado fresco ou endurecido. Esses aditivos são divididos em várias categorias e carregam em si dois objetivos fundamentais, sendo a ampliação da qualidade do concreto ou a minimização de seus pontos fracos. Os aditivos podem modificar a característica do concreto em vários aspectos como: trabalhabilidade, resistência, compacidade, durabilidade, bombeamento e fluidez, além de reduzir

a permeabilidade, retração, calor de hidratação, tempo de pega e absorção de água.

O entendimento das interações entre aditivo e cimento ainda são objeto de estudos devido principalmente à complexidade dos mecanismos químicos envolvidos durante a hidratação do cimento na presença de aditivos orgânicos.

Para confecção do concreto é comumente usado areia natural advinda da extração em leitos de rios, em sua maior parte, e outras fontes secundárias, porém, tendo em vista o escasseamento de áreas passíveis de extração nas proximidades dos locais de consumo, que torna mais elevado o custo, além das políticas e restrições impostas pelos órgãos ambientais fiscalizadores que devem ser respeitadas, tornam o acesso ao material mais complexo. Assim o uso de areia artificial tornasse uma alternativa que pode ser viável para substituir o uso da areia natural, total ou parcialmente, tendo em vista ainda que as fontes para obtenção das rochas que dão origem a areia artificial não são tão escassas.

A necessidade cada vez maior de concretos com qualidade e características específicas para atender diversas situações de projetos e o controle dessas características durante a execução, tornam primordial o uso de aditivos na dosagem de concreto. Logo, verificar a forma como esses materiais interagem quando usados na produção do concreto, com diferentes composições e proporções torna-se de fundamental importância.

1.2 OBJETIVOS

Para este trabalho temos os seguintes objetivos geral e específicos:

1.2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é determinar as propriedades mecânicas do concreto utilizando areia natural e areia artificial, com uso de aditivo polifuncional a partir dos materiais previamente caracterizados.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Quanto aos objetivos específicos, pretende-se:

- Avaliar a resistência à compressão do concreto produzido com a areia artificial e natural com uso de aditivo polifuncional.
- Avaliar o módulo de elasticidade do concreto produzido com areia artificial e natural com uso de aditivo polifuncional.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com o desenvolvimento dos métodos construtivos e as construções prediais cada vez mais altas, torna-se essencial o uso de aditivos para que o concreto consiga atingir o que é exigido pela norma em questão de resistência e durabilidade, sem que se altere drasticamente sua composição, pois alterar a relação entre os componentes, como a relação água/cimento, pode causar, por exemplo, o aumento do calor de hidratação do concreto. A qualidade do concreto está intimamente ligada a qualidade dos materiais empregados. Contando com materiais de boa qualidade, é preciso obter uma boa mistura nas proporções adequadas, considerando então a relação entre o cimento e agregado, a granulometria e principalmente a relação entre a água empregada e o cimento. São adicionados ao concreto aditivos, que modificam algumas características do concreto, para facilitar a aplicação e melhorar a trabalhabilidade do mesmo.

2. AGREGADOS

No estudo do concreto o papel dos agregados é fundamental, pois sua utilização é muito ampla devido às suas características físicas e mecânicas e como elas influenciam no material resultante da mistura.

2.1 INTRODUÇÃO

Os agregados para concreto no setor de construção civil são insumos de grande consumo; inicialmente eram adicionados a pasta de cimento, mistura de cimento e água, para dar maior consistência e torna-lo mais econômico. Num concreto comum, cerca de 75% do volume da mistura é ocupado pelo agregado. Como o cimento é o componente mais caro, é viável reduzir seu consumo ao máximo compatível com a resistência e qualidade exigidas do concreto. Esta quantidade mínima exigida é conseguida quando a graduação do agregado é realizada adequadamente, de modo que as partículas pequenas possam preencher os vazios existentes entre as pedras maiores do agregado.

Cada partícula do agregado deve ficar completamente envolvida pela pasta de água e cimento, a não ser pelos vazios e pelo ar incorporado ao concreto. A resistência não é o único ponto a ser visto com relação a utilização de agregados na mistura, pois o concreto deve atender as necessidades da obra e suas especificações. A densidade e a forma dos seus grãos podem definir características desejadas para o concreto, além de influenciar positivamente quanto à retração.

Entre os materiais empregados como agregados, estão o cascalho, a areia, a pedra britada, a escória moída e minerais piroexpandidos, cini a perlita, a vermiculita e argilas. Embora a resistência de um concreto seja determinada principalmente pela resistência do cimento, um agregado fraco como a vermiculita não pode produzir um concreto altamente resistente. É evidente que nenhum concreto poderá apresentar uma resistência à compressão maior do que a de seu agregado.

2.2 DEFINIÇÃO

De acordo com Bauer (2008), a definição de agregado é a seguinte: material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos.

Segundo a NBR 9935 (ABNT, 2011), agregado é o material granular, geralmente inerte com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa e concreto, tais como, a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha, além das argilas e dos substitutivos como resíduos inertes reciclados, produtos industriais, entre outros.

Especificamente na construção civil a definição de agregado pode ser resumida como: material granuloso, que entra na composição das argamassas e concretos, contribuindo para o aumento da resistência mecânica e redução de custo na obra em que for utilizado.

O agregado foi classificado como um material granular inerte, espalhado pela pasta de cimento, utilizado por razões econômicas. No entanto esta definição vem sendo reestruturada e hoje pode declarar o agregado um material de construção ligado em um meio todo coesivo de uma pasta de cimento (NEVILLE, 2016).

2.3 CLASSIFICAÇÃO

Os agregados para materiais cimentícios são classificados em função das dimensões, sendo agregado miúdo (as areias) e agregado graúdo (cascalhos e britas), da sua origem, sendo naturais, quando se encontram em forma particulada na natureza, e industrializados, cuja composição particulada é obtida por processos industriais, e em função da massa específica.

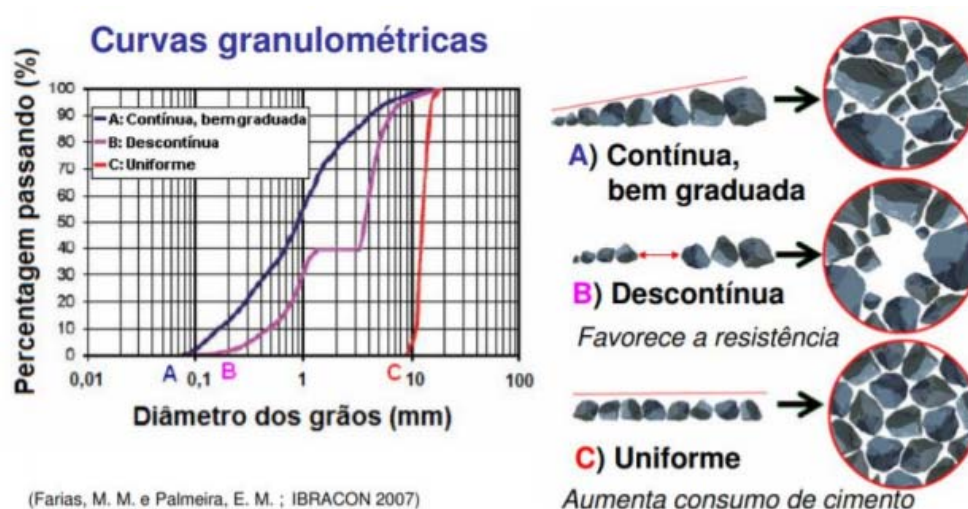
2.3.1 Quanto à dimensão das partículas

A NBR 7211 (ABNT, 2009) define os critérios de separação dos agregados em função de sua granulometria, que é distribuição percentual dos seus diferentes tamanhos de grãos, considerando o material e a quantidade, em

massa, retido nas peneiras da série normal (76; 38; 19; 9,5; 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15 mm), definido conforme a NBRNM 248 (ABNT, 2003). Com os resultados obtidos no ensaio de granulometria, que é um parâmetro físico de classificação e caracterização que possui grande influência nas propriedades do concreto, fazemos a análise das dimensões máximas características e módulo de finura.

A classificação granulométrica é realizada por meio da sua curva de distribuição. Essa distribuição granulométrica é representada por uma curva que indica para cada diâmetro de grão qual é a sua porcentagem de material que possui grãos menores ou maiores. A curva de distribuição granulométrica é apresentada em gráfico semi logarítmico, onde as abscissas mostram as aberturas das peneiras em escala logarítmica e as ordenadas representam as porcentagens acumuladas passantes (SOUZA, 2015).

Figura 2.1 - Curvas de distribuição granulométrica



Fonte: Farias & Palmas, 2007.

Visualizamos na Figura 2.1 acima o gráfico que define a curvatura granulométrica com base no ensaio onde realizamos o peneiramento do material. Observa-se na curva 'A' os grãos são distribuídos de forma contínua, ou seja, o material é retido em várias peneiras resultando em uma amostra que tem distribuição bem graduada. Na curva 'B' nota-se que a quantidade retida nas peneiras é desproporcional, o que demonstra descontinuidade na distribuição

dos grãos. Na curva 'C' o material é retido em poucas peneiras, demonstrando uma distribuição uniforme dos grãos, ou seja, a maioria deles possui dimensões aproximadas (SOUZA, 2015).

O ensaio de granulometria tem como objetivo determinar a composição granulométrica, módulo de finura e dimensão máxima característica dos agregados, que vai influenciar diretamente no preenchimento de vazios do concreto e, conseqüentemente, na sua resistência

Tabela 2.1 - Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal).

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

Fonte: ABNT NBR 7211, 2009.

Nas curvas granulométricas, as ordenadas representam as porcentagens retidas acumuladas do agregado ou as porcentagens que tem seus grãos menores do que um dado diâmetro (porcentagens que passam), e as abscissas mostram as aberturas das peneiras em escala logarítmica. Como as aberturas das peneiras da série padrão têm relação de 1/2, a escala logarítmica mostra essas aberturas em um espaçamento constante (NEVILLE, 2016).

2.3.1.1 Agregado miúdo

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009) Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248 (ABNT, 2003). A composição granulométrica do agregado miúdo é a proporção relativa das massas dos diferentes tamanhos dos grãos que constituem o agregado, expressa em porcentagem.

De acordo com o Manual de Agregados para Construção Civil, areia é o material natural, de propriedades adequadas, de granulometria inferior a 2,0 mm e superior a 0,075 mm. Sendo que esta pode ainda ser classificada em: areia grossa: granulometria de 2 a 1,2 mm; areia média: granulometria de 1,2 a 0,42 mm e areia fina: granulometria de 0,42 a 0,075 mm. A NBR NM 248 (ABNT, 2003) define módulo de finura como a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100 (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 μ m	15	35	55	70
300 μ m	50	65	85	95
150 μ m	85	90	95	100
NOTAS 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90. 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20. 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.				

Fonte: ABNT NBR 7211, 2009.

2.3.1.2 Agregado graúdo

A NBR 7211 (ABNT, 2009) define como agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248 (ABNT, 2003). As amostras de agregados graúdos contêm ainda porcentagens de material fino, como mostrado na figura abaixo. O material pulverulento, quando presente em grande quantidade, aumenta a necessidade de água para uma mesma consistência da argamassa e do concreto. Os finos de certas argilas propiciam maiores alterações de volume, intensificando sua retração e reduzindo sua resistência (BASILIO, 1995).

Tabela 2.3 - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica $d/D^{1)}$				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 – 5
63 mm	-	-	-	-	5 – 30
50 mm	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5 mm	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5 mm	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25 mm	-	0 – 5	5 – 25 ²⁾	87 – 100	-
19 mm	-	2 – 15 ²⁾	65 ²⁾ – 95	95 – 100	-
12,5 mm	0 – 5	40 ²⁾ – 65 ²⁾	92 – 100	-	-
9,5 mm	2 – 15 ²⁾	80 ²⁾ – 100	95 – 100	-	-
6,3 mm	40 ²⁾ – 65 ²⁾	92 – 100	-	-	-
4,75 mm	80 ²⁾ – 100	95 – 100	-	-	-
2,36 mm	95 – 100	-	-	-	-

¹⁾ Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.

²⁾ Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Fonte: ABNT NBR 7211, 2009.

O agregado graúdo pode tanto ser de origem natural, pedregulho ou seixo, quanto de origem artificial, pela trituração mecânica de rochas, pedra britada e cascalho. É importante considerar que para a obtenção dos agregados com

melhor qualidade e características mais específicas para aplicação em obras de engenharia deve-se utilizar rochas estáveis, que são inalteráveis sob a ação do ar, da água ou do gelo. Deve-se também evitar a utilização de rochas feldspáticas ou de xisto, que se decompõem sob a ação do ar ou da água.

A rocha extraída da mina passa pelo processo de britagem e o resultado desse processo denomina-se brita, que é classificada em função de sua granulometria (Tabela 2.4). Essa classificação é realizada por meio do peneiramento no local de produção. Elas são classificadas de acordo com suas dimensões nominais relativo à Dimensão Máxima Característica (DMC).

Tabela 2.4 - Classificação das britas

Brita 0	4,8mm a 9,5mm
Brita 1	9,5mm a 19mm
Brita 2	19mm a 25mm
Brita 3	25mm a 50mm
Brita 4	50mm a 76mm
Brita 5	76mm a 100mm

Fonte: Petrucci, 1983 (Adaptado).

A brita ou pedra britada é classificada como um material agregado de origem artificial, pois é extraída da natureza em forma de bloco e necessita passar por processos de fragmentação para atingir o tamanho adequado. Elas são produzidas em pedreiras que exploram solos que contenham rochas do tipo quartzo-feldspáticas, como granitos, gnaisses, basalto, calcário, entre outras. Segundo dados do Ministério de Minas e Energia do Brasil, a participação dos tipos de rocha utilizadas na produção de brita é aproximadamente: granito e gnaiss – 85%; calcário e dolomita – 10%; e basalto e diabásio – 5% (XIMENES, 2010).

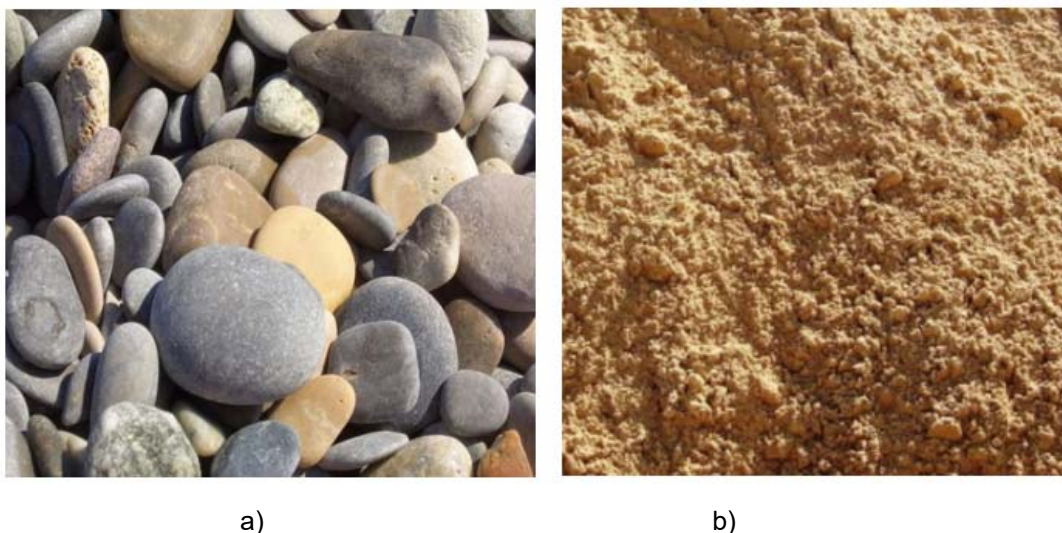
2.3.2 Quanto à origem

Quanto à origem os agregados podem ser classificados como:

2.3.2.1 Natural

Os agregados naturais são os que se encontram em forma particulada na natureza: areia, seixos, cascalho ou pedregulho natural (Figura 2.2). Eles são encontrados sob a forma em que serão utilizados, geralmente em leitos de rios e cavas.

Figura 2.2 - Agregados naturais - a) seixos; b) areia média.



Fonte: Portal do concreto, 2006.

2.3.2.1.1 Areia Natural

É um agregado miúdo de origem natural, que pode ser extraída de leito de rio, de cava ou de depósitos eólicos, sem sofrer qualquer tipo de processo de cominuição dos grãos. A areia natural pode ser definida como uma matéria-prima mineral granular, inconsolidada, composta por grãos predominantemente quartzosos, com ampla faixa de dimensões de partículas entre 50 μ m e 5mm. Mas dependendo da composição da rocha da qual é originada, outros minerais

também podem estar presentes na composição das areias, em quantidades variáveis, a depender da natureza geológica do depósito, como feldspato, mica, magnetita, óxidos e hidróxidos de ferro (BUENO, 2010).

Para a extração da areia natural os métodos de lavra empregados são basicamente três e dependem da natureza do depósito que está sendo lavrado: a dragagem é feita em leitos de rio ou em cavas inundadas, onde a areia em lavra se encontra abaixo do nível freático, desmonte hidráulico é usado em cavas secas e em mantos de alteração de maciços rochosos e o método de lavra por tiras é usado em depósitos homogêneos e de maior extensão horizontal (ALMEIDA, 2009).

As técnicas usadas na lavra de areia dependem do tipo de depósito, da sua topografia, das condições de planejamento e reabilitação da área a ser minerada e da escala de produção. No entanto, o fator de maior influência no planejamento da lavra é a natureza de operação da lavra, se a seco ou a úmido, pois algumas operações de lavra são aplicáveis apenas a úmido ou a seco e em algumas situações podem ser comum a ambas (SIMITH & COLLIS, 2001).

2.3.2.2 Artificial

Os agregados artificiais são aqueles que passam por processos de beneficiamento como é o caso das britas, cuja rocha é extraída de uma jazida e precisa passar por diversos processos de beneficiamento para chegar aos tamanhos adequados aos diversos usos (Figura 2.3). Existem ainda alguns subprodutos de atividades industriais que são utilizados como agregados, como é o caso da escória de alto-forno, e alguns materiais reciclados, porém, seu uso se restringe a aplicações onde o critério resistência é menos significativo.

Figura 2.3 - Agregados artificiais – Produção de areia de brita



Fonte: Ohashi, 2018.

2.3.2.2.1 Areia Artificial

A areia artificial é um produto derivado da rocha que passa por um processamento de britagem até atingir a granulometria desejada. Para sua obtenção é necessária a perfuração da rocha, de acordo com o plano de fogo, e posteriormente as pedras são transportadas até o conjunto de britagem até que atinjam granulometria inferior a 4,75mm. Em grande parte dos processos industriais, o produto passa também por equipamentos de lavagem que retiram os finos excedentes do produto final.

A areia artificial é um produto alternativo, que causa menor degradação ao meio ambiente. Se utilizada para levantamento de alvenarias denota maior aderência que a areia natural, pois possui grãos mais angulosos e ásperos (TIECHER, 2003).

As melhores areias artificiais são as que provêm de granitos e pedras com grande proporção de sílica. As areias provenientes de basalto apresentam, em geral, muitos grãos em forma de placa ou agulha, que irão produzir argamassas ásperas, geralmente as menos trabalháveis, proporcionando maior aderência que a areia natural (PETRUCCI, 1998).

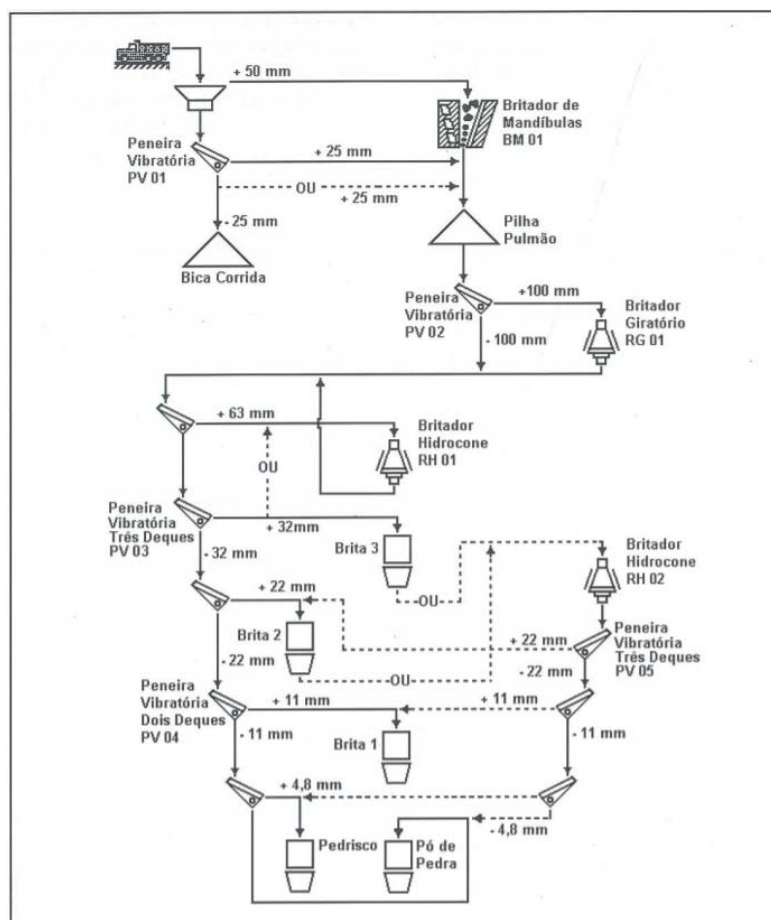
O processo para obtenção do material é feito através de um conjunto de operações que permitem a retirada de pedra natural da jazida e reduz a tamanhos e formas compatíveis para o uso e aplicação em obras de engenharia

(Figura 2.4). O desmonte e a britagem da rocha compreendem os seguintes processos (GRUPO HOBI, 2012):

- Decapagem do terreno - Nesse processo é efetuada a limpeza das bancadas, com máquinas e caminhões a fim de remover a argila e outros materiais impróprios para a britagem.
- Desmonte da rocha - É feito pela ação de explosivos, são executadas perfurações na rocha, previamente calculadas no plano de fogo. Onde em seguida é realizado o carregamento com explosivos e posteriormente detonação.
- Transporte da mina para a britagem - O carregamento do material detonado é feito com escavadeira hidráulica em caminhões basculantes que transportam o material da mina até britagem primária.
- Britagem primária - O material proveniente da mina é descarregado na baía de alimentação e lançado para dentro do britador de mandíbulas, onde é triturado.
- Britagem secundária - Esse processo tem como função receber o material proveniente da britagem primária, onde é lançado para dentro do britador Hydrocone e triturado de acordo com a abertura do britador, reduzindo ainda mais suas dimensões.
- Britagem terciária - O material gerado no processo anterior é conduzido ao britador de impacto vertical (VSI). Nesse processo o material é arremessado dentro de um compartimento circular fechado, onde ocorrem diversas colisões entre as partículas de pedra e também com as paredes revestidas do VSI, propiciando com isso uma correção no formato dos grãos do agregado, tornando-os arredondados.
- Peneiramento, classificação e lavagem - O material proveniente a partir da britagem secundária é submetido a processos de peneiramento, em peneiras vibratórias inclinadas. Nessas estruturas estão instalados bicos injetores que aspergem água sobre o material em processo de peneiramento, com o objetivo de retirar o excesso

de material pulverulento dos grãos do agregado e eliminar a emissão de pó no ambiente. Todos os materiais resultantes no processo de peneiramento e lavagem tem sua granulometria definida através de ensaios granulométricos.

Figura 2.4 - Fluxograma de uma usina convencional de britagem de rocha compacta para produção de agregado



Fonte: SAMPAIO, 2001.

A produção de areia industrial tem como matéria prima o material passante na peneira 4,8 mm denominado comercialmente como pó de brita. Este material que é resíduo do processo de produção de brita é coletado e conduzido, através de uma calha, para um sistema de eliminação do excesso de material pulverulento (VIACELLI, 2012).

2.3.3 Quanto à massa específica

A massa específica é uma característica bastante relevante nos materiais de construção civil. Representa a massa de um determinado volume de material quando isento de vazios. Esta propriedade é utilizada para dosagem de concreto e determinação da massa específica de concretos e argamassas.

A massa específica é a massa por unidade do volume, dos grãos dos agregados, incluindo os vazios impermeáveis e permeáveis e o material sólido, podendo ser definido pelo frasco de picnômetro ou chapman. Seu valor é aplicado no cálculo do consumo de materiais em concretos e argamassas (BASTOS, 2002).

Para o material sob a forma de agregado miúdo deve-se levar em consideração o conceito de duas espécies de massa específica: a massa específica real e a massa específica aparente. A massa específica real dos grãos é a massa da unidade de volume, excluindo deste os vazios permeáveis e os vazios entre os grãos; sua determinação é feita através do picnômetro, da balança hidrostática e frasco de Chapman. Já a massa específica aparente é o peso da unidade de volume, incluindo neste os vazios, permeáveis ou impermeáveis, contidos nos grãos. O peso unitário é o peso da unidade de volume aparente, isto é, incluindo no volume os vazios entre os grãos (PETRUCCI, 1983, p. 48).

A massa específica e unitária do agregado tem grandes efeitos da dosagem de concreto, é importante conhecer tanto o volume ocupado pelas partículas do agregado quanto os poros existentes. A NBR NM 53 (ABNT, 2009) estabelece as prescrições para determinação da massa específica e massa unitária do agregado graúdo. A massa específica pode ser calculada nas condições seca e saturada com superfície seca.

Quanto menor a massa unitária do agregado, maior o percentual de partículas irregulares “partículas indesejadas para a produção de concreto” (SILVA & GEYER, 2018). Conforme a densidade do material que constitui as partículas, os agregados são classificados em leves, médios e pesados (BAUER, 2000).

2.3.3.1 Leves

Agregados constituídos de material com massa específica inferior a 1.000 Kg/m³, como a argila expandida, pérolas de isopor, vermiculita e fragmentos de Etileno Acetato de Vinila (EVA).

2.3.3.2 Médios

Agregados constituídos de material com massa específica variando de 1.000 Kg/m³ a 2.000 Kg/m³, como areia, seixos rolados e pedra britada.

2.3.3.3 Pesados

Agregados constituídos de material com massa específica superior a 2.000 Kg/m³, como hematita, magnetita, granalha de aço e barita.

2.4 AGREGADOS PARA CONCRETO

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), os agregados para concreto devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, duráveis, estáveis, limpos e que não interfiram no endurecimento e hidratação do cimento e também na proteção contra corrosão da armadura. Os agregados tem grande impacto na composição do concreto, não apenas na redução do custo final, mas também para transmitir as tensões aplicadas ao concreto através de seus grãos, reduzir o efeito das variações volumétricas ocasionadas pela retração, pois quanto maior o teor de agregados em relação à pasta de cimento, menor a retração. Características não propícias presentes nos agregados são capazes de produzir um concreto não resistente, assim como comprometer a sua durabilidade.

O concreto é definido como pasta de cimento e pedra, tornando-se a pasta o elemento aglutinador das pedras. Encontra-se vazios através das pedras,

aguardando para serem completados somente com a pasta de cimento. Em virtude, aplica-se agregado miúdo à areia, para reduzir o gasto de água e cimento, o que em grandes quantidades é danoso ao concreto, visto que compromete a trabalhabilidade do concreto e provoca retração. A fim de que o resultado obtido seja satisfatório, é fundamental que as dimensões dos agregados sejam distribuídas gradualmente (VIACELLI, 2012).

2.4.1 Umidade e absorção

Conhecer e identificar o teor de umidade do agregado miúdo e como ele se comporta quando esse teor aumenta é de grande importância na produção de argamassas e concretos, tendo em vista que os agregados miúdos são recebidos em diversos estados de umidade, tornando necessárias as determinações periódicas, para correção da proporção da mistura, reduzindo assim variações de água na mistura. O teor de umidade é definido como a razão entre a massa de água contida numa amostra e a massa desta amostra seca, o resultado, geralmente expresso em porcentagem.

A massa de água livre carregada pelo agregado deve ser descontada da massa de água adicionada à mistura, e a massa do agregado úmido deve ser aumentado proporcionalmente. Nas areias, a presença de umidade pode provocar o aumento do seu volume aparente, fenômeno conhecido como inchamento (PETRUCCI, 1983).

Os agregados miúdos podem ser caracterizados, quanto ao teor de umidade, nos seguintes estados: seco em estufa, na qual a água evaporável foi removida por um aquecimento a 100°C; seco ao ar, quando não apresenta umidade superficial, tendo, porém, umidade interna, sem estar, todavia, saturada; saturado superfície seca (SSS), quando não há um filme de água na superfície, estando, porém, preenchidos os poros permeáveis das partículas de agregados; saturado, quando há umidade livre na superfície e o agregado está saturado. A relação entre o aumento de massa e a massa seca, expressa em porcentagem, é denominada absorção (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

2.4.2 Impurezas

Há três categorias principais de substâncias nocivas possíveis de serem encontradas nos agregados: impurezas, que interferem no processo de hidratação do cimento; películas, que impedem o desenvolvimento de uma boa aderência entre o agregado e a pasta de cimento hidratada; e algumas partículas específicas que são fracas ou instáveis. O agregado como um todo, ou parte dele, também pode ser nocivo, devido ao desenvolvimento de reações químicas entre ele e a pasta de cimento (NEVILLE, 2016, p. 142).

A NBR 7211 (ABNT, 2009) define os limites aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material, conforme mostrado na Tabela 2.5 a seguir.

Tabela 2.5 - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado miúdo %
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218		3,0
Materiais carbonosos ¹⁾	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento)	ABNT NBR NM 46	Concreto submetido a desgaste superficial	3,0
		Concretos protegidos do desgaste superficial	5,0
Impurezas orgânicas ²⁾	ABNT NBR NM 49		A solução obtida no ensaio deve ser mais clara do que a solução-padrão
	ABNT NBR 7221	Diferença máxima aceitável entre os resultados de resistência à compressão comparativos	10 %

¹⁾ Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante a apreciação petrográfica, pode-se prescindir do ensaio de quantificação dos materiais carbonosos (ASTM C 123).

²⁾ Quando a coloração da solução obtida no ensaio for mais escura do que a solução-padrão, a utilização do agregado miúdo deve ser estabelecida pelo ensaio previsto na ABNT NBR 7221.

Fonte: ABNT NBR 7211, 2009.

Dentre as impurezas que os agregados podem apresentar, destacam-se as argilas e os denominados materiais pulverulentos, como o silte e pó de britagem. Os materiais pulverulentos podem afetar o processo de hidratação do cimento, eles impendem a aderência entre a pasta de cimento hidratada e o agregado.

O material pulverulento, constituído por partículas de argilas que possuem dimensões menores que $2\mu\text{m}$ e silte com dimensões de 2 a $60\mu\text{m}$, quando presente em grande quantidade, aumenta a necessidade de água para uma mesma consistência da argamassa e do concreto. Os finos de certas argilas propiciam maiores alterações de volume, intensificando sua retração e reduzindo sua resistência (BASILIO, 1995).

Por ser um material fino, a argila contribui para preencher os vazios da areia interferindo na aderência entre agregado e pasta. A argila possui a capacidade de formar uma película envolvendo cada grão, podendo ser altamente prejudicial caso não se separe durante mistura, ainda que seja em pequena proporção. As impurezas presentes no material podem ser eliminadas por meio de lavagem aumentando a resistência da argamassa, porém essa lavagem pode também acabar arrastando os grãos mais finos da areia, consequentemente resultando na diminuição da resistência. Assim, é imprescindível controlar o teor de finos nos agregados (PETRUCCI, 1983).

Além de argila, silte e matéria orgânica, podem as areias conter outras substâncias como torrões de argila, gravetos, grânulos tenros friáveis, mica, materiais carbonosos e sais, principalmente sulfatos e cloretos, que podem prejudicar a resistência e a durabilidade das argamassas e concretos (PETRUCCI, 1983).

Películas de argila, quando estão presentes na superfície dos agregados, prejudicam na aderência entre a pasta de cimento e o agregado, o concreto não ficará com boa resistência. As partículas finas não podem estar presentes em elevadas quantidades, aumentam a área superficial, em consequência aumenta a demanda de água e cimento (NAVES & BARROS, 2019).

De acordo com Petrucci (1983), o material pulverulento tem dois inconvenientes principais: formando uma película superficial nos grãos do

agregado, prejudicam a aderência; por outro lado, possuindo elevada área superficial, aumentam a demanda de água para a molhagem de todas as partículas da mistura, aumentando então, a relação água/cimento, acarretando perda de resistência dos concretos. Na Tabela 2.6 estão estabelecidos os limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo com relação à massa do material

Tabela 2.6 - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo com relação à massa do material

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado graúdo %
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218	Concreto aparente	1,0
		Concreto sujeito a desgaste superficial	2,0
		Outros concretos	3,0
Materiais carbonosos ¹⁾	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado graúdo %
Material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento) ^{2), 3)}	ABNT NBR NM 46		1,0

¹⁾ Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante a apreciação petrográfica, pode-se prescindir do ensaio de quantificação dos materiais carbonosos (ASTM C 123).

²⁾ Para agregados produzidos a partir de rochas com absorção de água inferior a 1%, determinados conforme a ABNT NBR NM 53, o limite de material fino pode ser alterado de 1% para 2%.

³⁾ Para agregado total, definido conforme 3.6, o limite de material fino pode ser composto até 6,5%, desde que seja possível comprovar, por apreciação petrográfica, realizada de acordo com a ABNT NBR 7389, que os grãos constituintes não interferem nas propriedades do concreto. São exemplos de materiais inadequados os materiais micáceos, ferruginosos e argilo-minerais expansivos.

Fonte: ABNT NBR 7211, 2009.

2.4.3 Forma dos grãos

A forma dos grãos dos agregados pode ser arredondada, como os seixos, ou de forma angular e de arestas vivas com faces mais ou menos planas, como

a pedra britada (PETRUCCI, 1998) conforme representado na Figura 2.6. Quanto as características geométricas do agregado (Figura 2.5), que podem estar relacionadas com as dimensões, formatos e texturas superficiais, temos: cúbico, lamelar, alongado, arredondado, liso e áspero (Tabela 2.7). A forma e a textura das partículas dos agregados influenciam mais as propriedades do concreto fresco do que endurecido. Comparadas às partículas arredondadas, as partículas alongadas ou lamelares requerem mais pasta de cimento para produzir misturas trabalháveis e geram mais vazios entre os grãos (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

As rochas, de acordo com seu processo de formação, constituem três grandes grupos: ígneas, sedimentares e metamórficas, cada qual com características peculiares (SILVA & MELO, 2020).

Os calcários de origem sedimentares são, em geral, de baixa resistência e pouco indicados como material de construção. Os dolomitos, por sua vez, costumam apresentar características físicas e mecânicas compatíveis com certas funções do material de construção. Os mármore, as ardósias, os gnaisses e os quartzos são os que mais se prestam ao uso como material de construção, com destaque para os gnaisses, que são, dentre estes, os mais usados para produção de pedra britada (FRAZÃO, 2007).

A composição e processo de formação das rochas tem grande influência em sua forma. As partículas formadas por atrito tendem a ser arredondadas, pela perda de vértices e arestas, como por exemplo, areias de depósitos eólicos, assim como areias e pedregulhos de zonas marítimas ou leitos de rio. Agregados de rochas intrusivas britadas, como calcários estratificados, arenitos e folhelho, possuem vértices e arestas bem definidos e são chamados de angulosos.

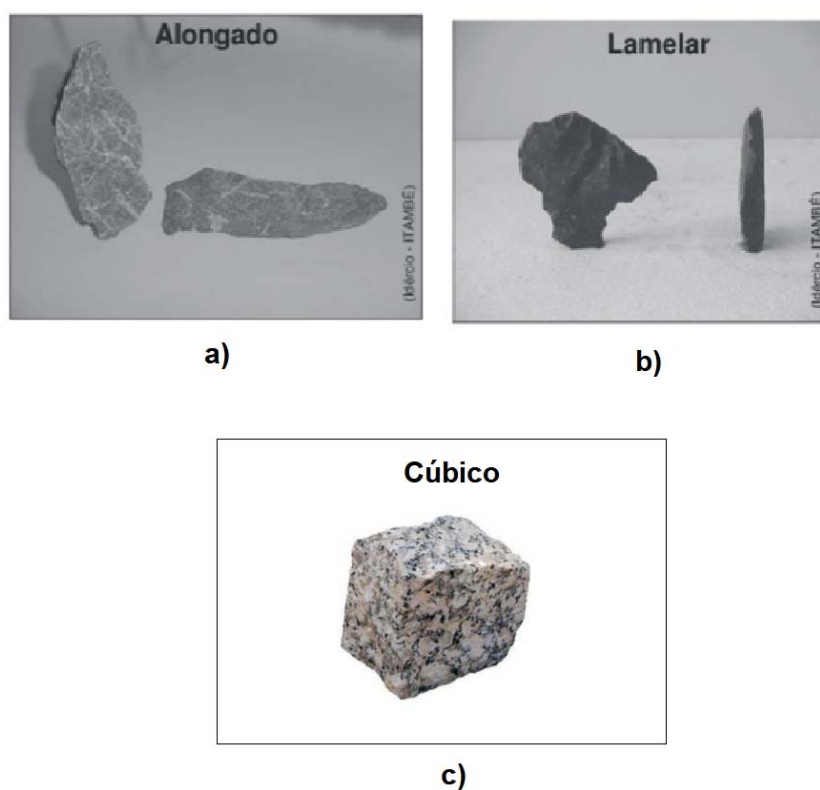
Aquelas partículas cuja espessura é relativamente pequena em relação a outras dimensões, são chamadas de lamelares ou achatadas, enquanto aquelas cujo comprimento é consideravelmente maior do que as outras duas dimensões são chamadas de alongadas (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Tabela 2.7 - Classificação forma dos agregados

Classificação	Descrição	
Lamelar	Material em que a <u>espessura é pequena em relação às outras dimensões.</u>	< resist.
Cúbicos	Material em que a espessura, comprimento e largura tem valor aproximado.	> resist.
Alongado-lamelar ou discóide	<u>Comprimento muito maior do que a largura e a largura muito maior do que a espessura.</u>	
Alongado	<u>Comprimento é bem maior do que as outras dimensões.</u>	

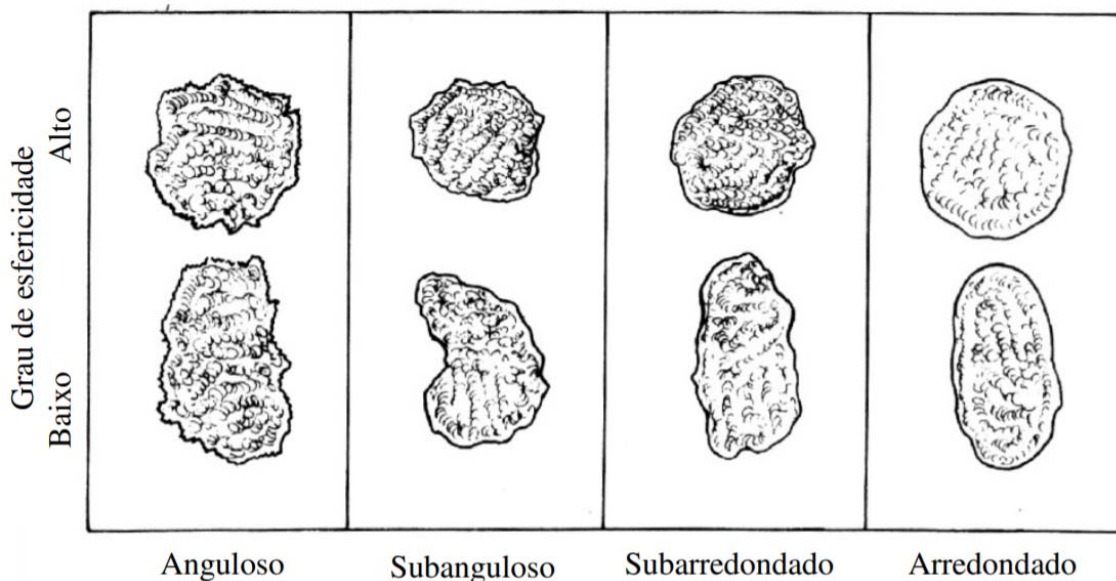
Fonte: UNIP, Agregados (Adaptado).

Figura 2.5 Forma dos agregados – a) Alongado; b) Lamelar; c) Cúbico.



Fonte: a); b) LOPES, 2017; c) UNIP, Agregados.

Figura 2.6 - Grau de esfericidade e arredondamento



Fonte: ABNT NBR 7389, 2009.

As características do agregado, como granulometria e textura, também influem embora de maneira menos significativa, nas propriedades do concreto. Para agregados com grande diâmetro característico ou de forma lamelar ocorre a formação de um filme de água junto às paredes do agregado (exsudação interna), enfraquecendo sua ligação com a pasta, por outro lado, agregados de diâmetros menores aumentam a superfície de contato entre o agregado e a pasta de cimento elevando a resistência do concreto (BUTTLER, 2003).

2.4.4 Resistência

Segundo Rohden (2011) as rochas empregadas como agregados apresentam, em geral resistências maiores à compressão a tração do que o concreto, onde a zona de transição entre a pasta e o agregado é a parte mais fraca do sistema. Com exceção do concreto de alto desempenho, raros são os casos em que o agregado possui resistência mecânica menor que a da pasta ou argamassa que o envolve. Os ensaios de determinação da resistência à compressão ou à tração de amostras de rocha não são especificados para sua

qualificação para o uso no concreto. Ainda que possam influenciar algumas de suas propriedades (PACELLI DE ANDRADE, 1997).

Devido aos esforços sofridos durante sua aplicação, as rochas que darão origem às britas devem possuir propriedades como resistência à compressão simples, resistência à tração, resistência ao desgaste, não reatividade, resistência ao intemperismo e trabalhabilidade. Tais propriedades são essenciais para a durabilidade das obras de engenharia civil, visto que o uso inadequado dos agregados, ou seja, sem o total conhecimento dessas propriedades, pode causar rápida deterioração do concreto e também descolamento das partículas (VALVERDE, 2001).

Segundo Neville (1997), um valor médio de resistência à compressão do agregado é de 200 Mpa, mas muitos agregados excelentes tem resistência de até 80 Mpa.

Tabela 2.8 - Resistências encontradas para diferentes rochas

Resistência à compressão (MPa)			
Tipo de rocha	Valor médio	Valor máximo	Valor mínimo
Granito	181	257	114
Felsito	324	526	120
Basalto	283	377	201
Calcário	159	241	93
Arenito	131	240	44
Mármore	117	244	51
Quartzito	252	423	124
Gnaiss	147	235	94
Xisto	170	297	91

Fonte: NEVILLE, 1997.

Na Tabela 2.8 nota-se que a resistência dos agregados comumente utilizados é consideravelmente maior do que os valores normais de resistência do concreto. Isso pode acontecer porque as tensões na interface das partículas podem ser muito maiores do que a tensão nominal aplicada. Não existe uma relação geral de dependência entre a resistência e o módulo de elasticidade de diferentes agregados.

Para a determinação da resistência a compressão de rochas, costuma-se especificar um ensaio com extração de corpos-de-prova cilíndricos. No entanto, o resultado desse ensaio é influenciado pela presença de planos de clivagem na rocha que podem não ser significativos se a rocha for fragmentada nos tamanhos que serão usados no concreto. Em essência, o ensaio de compressão mede a qualidade da rocha-mãe, mas não propriamente a qualidade dos agregados para concreto. Por essa razão, esse ensaio raramente é utilizado (NEVILLE, 1997).

A resistência à compressão varia conforme o esforço de compressão se exerça paralela ou perpendicularmente ao veio da pedra (diacrise). O ensaio se faz em corpos-de-prova cúbicos de 4cm de lado. A resistência à tração também depende da direção do esforço, relativamente ao veio da pedra. É determinada pelo ensaio diametral, em que um corpo de prova cilíndrico é submetido a um esforço perpendicular ao eixo do cilindro.

A resistência à abrasão mede a capacidade do agregado de resistir quando sofrem atrição. Esta é medida, conforme determinações da NBR NM 51 (ABNT, 2001), na máquina “Los Angeles”, que consta de um cilindro oco, de eixo horizontal, dentro do qual a amostra é girada juntamente com bolas de ferro fundido e depois medido o percentual de desgaste (BAUER, 2000).

3. CIMENTO PORTLAND

De acordo com Neville e Brooks (2013), os Gregos e os Romanos foram, possivelmente, os primeiros povos a utilizarem um cimento hidráulico para produção de concreto, sendo o cimento hidráulico descrito pelos autores como um material que através da reação com a água endurece. A reação do cimento sob a ação da água, e o fato do concreto apresentar resistência ao contato com a mesma, inclusive por longo período de tempo, foram às características mais importantes para o seu uso como material de construção.

O cimento portland foi criado por um construtor inglês, Joseph Aspdin, que o patenteou em 1824. Nessa época, era comum na Inglaterra construir com pedra de Portland, uma ilha situada no sul desse país. Como o resultado da invenção de Aspdin se assemelhasse na cor e na dureza a essa pedra de Portland, ele registrou esse nome em sua patente. É por isso que o cimento é chamado cimento portland (ABCP, 2002, p.5).

3.1 DEFINIÇÃO

Cimento Portland é um aglomerante hidráulico obtido da moagem de clínquer, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, normalmente com uma pequena adição de sulfato de cálcio. O clínquer é um material granular de 3 a 25 mm de diâmetro de um material sinterizado, produzido quando uma mistura de calcário, argila e de componentes químicos como o silício, o alumínio e o ferro é aquecida a altas temperaturas (MEHTA & MONTEIRO, 1994). O cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Após endurecido, mesmo que seja novamente submetido a ação da água o cimento Portland não se decompõe mais.

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, p.6).

O cimento Portland é usado na composição do concreto, segundo Malhotra e Mehta (1996), o concreto de cimento Portland é, hoje, o material mais utilizado na construção civil no mundo todo. Utilizado em grandes barragens, plataformas marinhas, aquedutos e altos edifícios de concreto armado ou protendido, este material encontra aplicação em uma grande variedade de estruturas, mostrando-se, na grande maioria dos casos, uma alternativa viável economicamente, com resistência e durabilidade satisfatórias, e que, em comparação com outros materiais, não exige grande quantidade de energia em sua produção. (ABCP, 2002). Aglomerante é um material ligante, geralmente pulverulento, que promove a união entre os grãos dos agregados.

O cimento em sua propriedade de endurecer em reações com a água e tornar-se resistente a ela o caracteriza como um aglomerante hidráulico, que constitui basicamente o cimento Portland, resultado da moagem do clínquer com uma ou mais formas de sulfato de cálcio (SOUZA & RIPPER, 1998; MEHTA & MONTEIRO, 2008).

3.2 COMPOSIÇÃO BÁSICA

A fabricação do cimento tem como principais matérias primas: calcário (CaO), sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃) e óxido de ferro (Fe₂O₃). A mistura destes componentes é moída e posteriormente introduzida em fornos rotativos horizontais para a queima (clínquerização), onde a temperatura chega a 1450°C, obtendo-se o clínquer.

As principais matérias-primas que compõem o cimento Portland são o calcário, a argila, o minério de ferro e a gipsita, sendo que durante o processo de fabricação, os materiais são analisados por diversas vezes, de forma a alcançar a composição química desejada (SOUZA & RIPPER, 1998; SHEN et al., 2015; TAVAKOLI & TARIGHAT, 2016).

São adicionados também eventuais materiais corretivos químicos de natureza silicosa, aluminosa ou ferrífera, empregados de modo a garantir o quimismo. Esse quimismo refere-se a certa proporção de determinados compostos químicos da mistura, dentro de limites específicos, para proporcionar

a formação de compostos hidráulicos e conferir a propriedade ligante do cimento Portland.

Os materiais corretivos mais empregados na indústria do cimento são areia, bauxita e minério de ferro. A areia é utilizada quando ocorre deficiência em SiO_2 ; a mistura de óxidos de alumínio hidratados é utilizada quando ocorre deficiência em alumínio nas matérias primas; e o minério de ferro (geralmente hematita) é utilizada quando corre deficiência em ferro (VALVERDE, 2001)

O clínquer tem como principais compostos: silicato tricálcico (C_3S), silicato dicálcico (C_2S), ferro aluminato tetracálcico (C_4AF) e aluminato tricálcico (C_3A). Podem ser usados para a produção de cimento minerais de origem natural, e também produtos industriais, mas para qualquer que seja o material utilizado ele deve obedecer a condição de conter os quatro componentes essenciais para a produção de cimento. As propriedades físicas dos principais compostos do clínquer são apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Propriedades dos principais compostos do clínquer.

Compostos	Fórmula abreviada	Fórmula química	Variação no clínquer (%)	Propriedades físicas
ALITA Silicato Tricálcico	C_3S	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	50 - 65	Alto calor de hidratação. Alta resistência inicial. Endurecimento rápido.
BELITA Silicato Bicálcico	C_2S	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	15 - 25	Baixo calor de hidratação. Baixa resistência inicial. Endurecimento lento.
ALUMINATO Aluminato Tricálcico	C_3A	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	6 - 10	Alto calor de hidratação e baixa resistência final. Pega rápida e alta retração. Não resiste aos meios sulfatados.
FERRITA Ferro Aluminato Tetracálcico	C_4AF	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	3 - 8	Não contribui para resistência. Cor escura e endurecimento lento. Resiste aos meios sulfatados.
Cal Livre	C	CaO	0,5 - 1,5	Aceitável apenas em pequenas quantidades. Em elevadas quantidades causam expansibilidade, desprendimento de calor e fissuração.
Sódio	Na	Na_2O	0,3 - 1,5	Expansibilidade por reações Álcali-agregado.
Potássio	K	K_2O	0,3 - 1,5	Expansibilidade por reações Álcali-agregado.
Magnésio	Mg	MgO	0,8 - 6	Pode ocasionar aumento de volume.

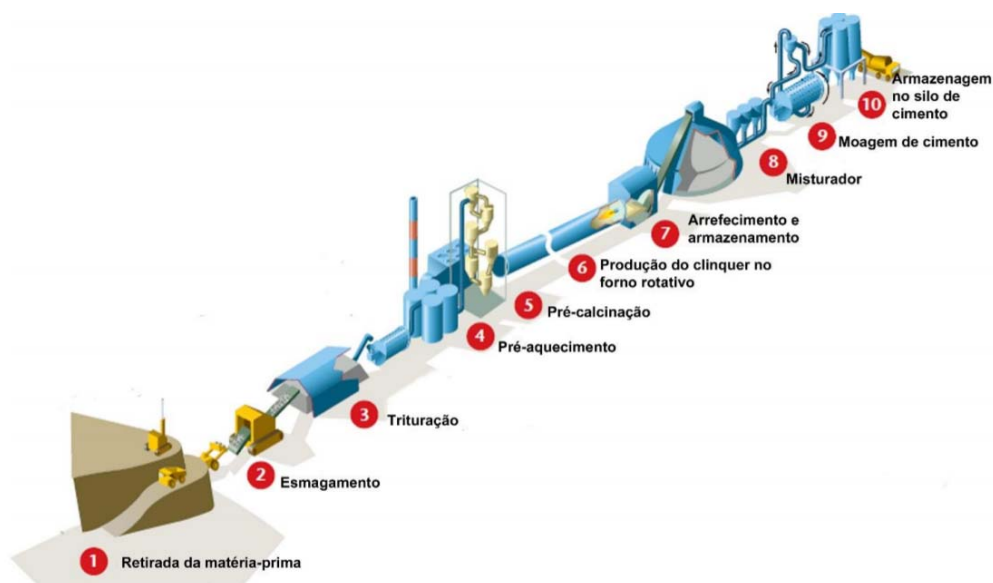
Fonte: AMBROZEWICZ, 2012 (Adaptado).

Uma quantidade de gesso (3 a 5%) é adicionada ao clínquer para regular a pega do cimento e então a mistura é novamente moída sendo adicionados outros materiais. Essas adições, usadas em variadas proporções, dão ao cimento propriedades específicas como redução de impermeabilidade, resistência a sulfatos e ambientes agressivos, melhor desempenho e acabamento. Por fim, o cimento é armazenado em silos, podendo ser enviado a granel ou em sacos para os locais de consumo (COSTA, 2012, p.101).

3.3 TIPOS DE FABRICAÇÃO

O processo de produção do cimento Portland envolve diversas etapas que serão divididas em duas principais conforme Figura 3.1 sendo a primeira o processo de produção do clínquer (etapas 1-7) e a segunda a moagem final do clínquer para produção do cimento e estocagem (etapas 8-10). O processo pode ocorrer por via úmida ou via seca. A principal diferença entre ambas é a presença de água no processo de moagem e homogeneização por via úmida, tornando o processo energeticamente menos eficiente. No Brasil o processo por via seca é o mais utilizado pelas cimenteiras (MEHTA & MONTEIRO, 2008; SHEN et al., 2015).

Figura 3.1 - Processo de fabricação do cimento



Fonte: WBCSD, 2009, pág.4.

São utilizados dois métodos para produção do cimento. O processo de extração e britagem dos materiais é semelhante nos dois. As particularidades estão no processo de mistura, moagem e queima. No processo úmido, a mistura é moída com adição de aproximadamente 40% de água, entrando no forno em forma de pastosa. No processo seco, a mistura é moída totalmente seca e vai para o forno em forma de pó. O produto final obtido é o mesmo em ambos processos, porém no seco economiza-se energia por não haver água adicionada para evaporar na queima.

3.4 TIPOS DE CIMENTO

O cimento Portland pode apresentar-se em diferentes tipos, conforme materiais utilizados para sua produção. A Tabela 3.2 apresenta a composição dos nove tipos de cimentos normatizados no Brasil, a partir de consulta a base normativa da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A nomenclatura dos cimentos é precedida da sigla CP que corresponde à abreviatura de Cimento Portland, seguida por algarismos romanos de I a V, que indicam o tipo de cimento. Posteriormente, são representadas por letras as adições feitas em sua produção e finalmente a resistência à compressão dos corpos de prova aos 28 dias em MPa representa a classe do mesmo. Na Tabela 3.2 são apresentados a designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland. Os significados das siglas que identificam os tipos de cimento e as composições podem ser observado na Figura 3.2.

Tabela 3.2 - Limites de composição do cimento Portland

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 ^b		CP III			25 – 65	35 – 75	0	0 – 10
Cimento Portland pozolânico ^c		CP IV			45 – 85	0	15 – 50	0 – 10
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V ^a	ARI	90 – 100	0	0	0 – 10	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40	—	75 – 100	—	—	0 – 25
	Não estrutural		—		—	50 – 74	—	—

^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 pozolânicos.

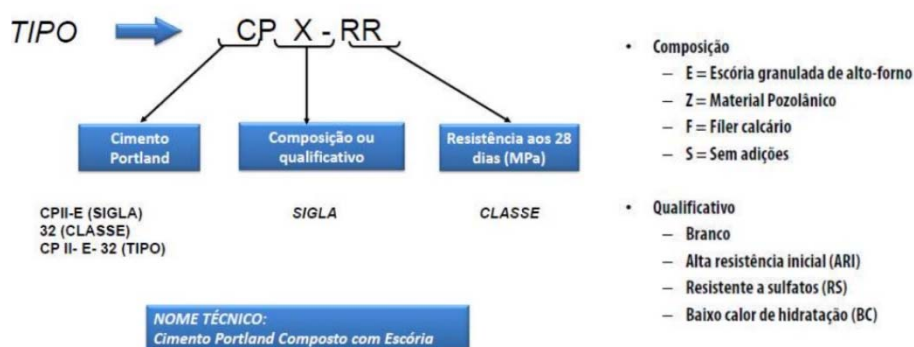
^b O teor máximo da somatória de adições (escória granulada de alto –forno e material carbonático) deve ser de 75%.

^c O teor máximo da somatória de adições (material pozolânico e material carbonático) deve ser de 55%.

Fonte: ABNT NBR 16697, 2018 (Adaptada).

Figura 3.2 - Nomenclatura do cimento Portland

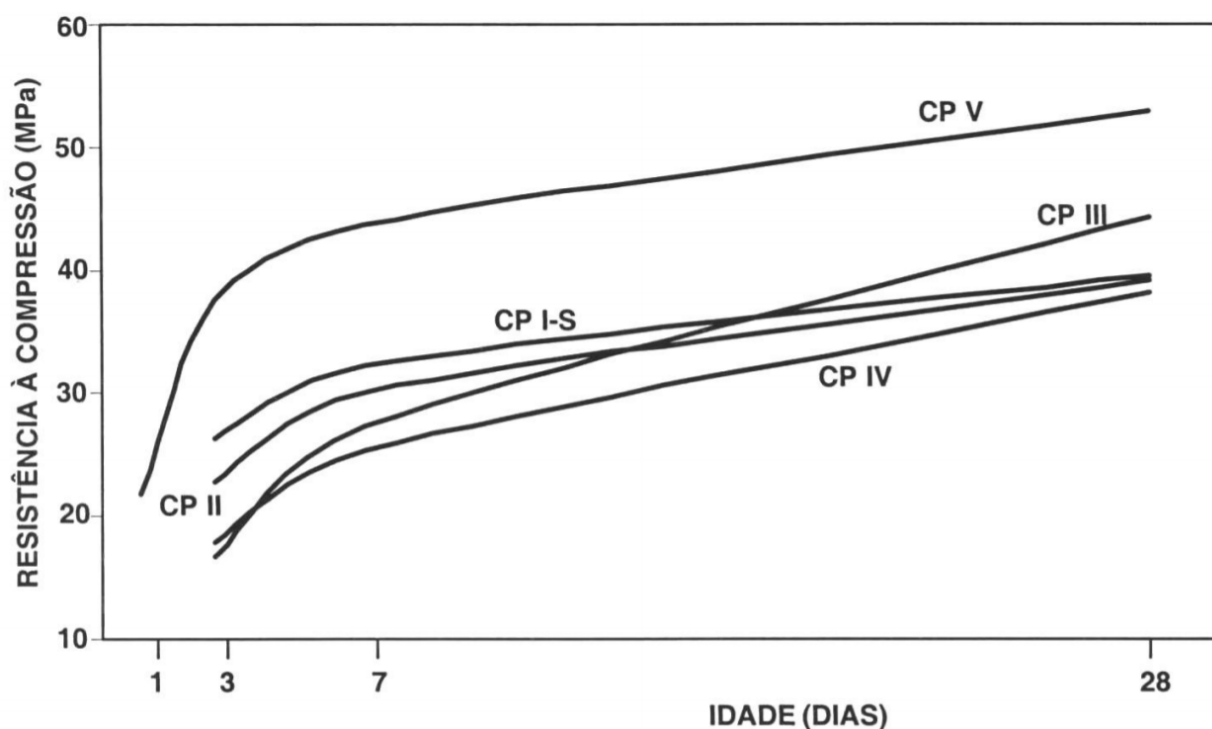
Nomenclatura



Fonte: HONÓRIO, 2015.

Na Figura 3.3 estão representadas as evoluções médias de resistência à compressão em função do tempo dos principais tipos de cimento Portland.

Figura 3.3 - Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de cimento Portland.



Fonte: ABCP, 2002.

3.4.1 Cimento Portland comum

O cimento portland comum conhecido como CP I é produzido com adição de gesso, que tem a função de regular o tempo de pega, e até 5% de material pozolânico. Existe também o cimento portland comum com adição de 6 a 10% de material carbonático (CP I-S). Atualmente, o CP I não é comercializado no Brasil.

3.4.2 Cimento Portland composto

Os cimentos Portland compostos são obtidos a partir de adições de material pozolânico (CP II-Z), escória granulada de alto-forno (CP II-E) ou material carbonáticofíler (CP II-F). Suas principais vantagens em relação ao CP I são: menor calor de hidratação e maior resistência ao ataque de sulfatos. As classes 25, 32 ou 40 representam as resistências mínimas em MPa que deverão ser obtidas no ensaio de compressão realizado após 28 dias da moldagem dos corpos de prova.

3.4.3 Cimento Portland de alto-forno

O cimento Portland alto-forno (CP III) é obtido pela adição de escória granulada de alto-forno, que é um rejeito siderúrgico. As escórias são tidas como material hidráulico. Entretanto, suas reações de hidratação são muito lentas e, para que seu emprego seja possível, são necessários ativadores físicos e químicos. A ativação física obtém-se com a finura, decorrente da moagem da escória separada ou conjuntamente com o clínquer (AMBROZEWICZ, 2012). A ativação química ocorre pela ação da cal liberada durante a hidratação do clínquer. Esta adição proporciona a alteração da microestrutura do concreto, reduzindo sua permeabilidade, influenciando na melhora das propriedades de resistência a ação de sulfatos e da reação álcali-agregados.

3.4.4 Cimento Portland pozolânico

O cimento portland pozolânico (CP IV) é obtido pela adição de 15 a 50% de material pozolânico ao clínquer e até 10% de material carbonático. Os materiais pozolânicos diferentemente das escórias granuladas de alto-forno, não reagem com água da forma como são obtidos. Porém quando são finamente divididos, reagem com o hidróxido de cálcio em presença de água e na temperatura ambiente, dando origem ao composto com propriedades aglomerantes. Por esse motivo, os materiais pozolânicos são utilizados

conjuntamente com o clínquer, pois o hidróxido de cálcio é um produto normalmente resultante da hidratação deste.

3.4.5 Cimento Portland de alta resistência inicial

O cimento portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) difere-se dos anteriormente mencionados principalmente por atingir altas resistências já nos primeiros dias após a aplicação. Esta característica é obtida pela alteração nas quantidades de calcário e argila adicionados ao clínquer conjuntamente à moagem mais fina do cimento. Pode ser aplicado em situações que demandam tempo reduzido para desforma ou utilização, por exemplo na indústria de pré-moldados, concreto protendido e pisos industriais.

3.4.6 Cimentos Portland especiais

Têm-se ainda os Cimentos Portland especiais, consumidos em menor escala tendo em vista a menor disponibilidade e as características especiais de aplicação.

3.4.6.1 Cimento Portland resistente a sulfatos

Os cimentos portland resistentes aos sulfatos são aqueles que têm a propriedade de oferecer resistência aos meios agressivos sulfatados. Sua nomenclatura original é precedida da sigla RS. Seu uso é indicado para construções em ambientes tais como os encontrados nas redes de esgotos e de efluentes industriais, na água do mar e em alguns tipos de solos (ABCP, 2002).

3.4.6.2 Cimento Portland de baixo calor de hidratação

Este tipo de cimento é normalmente utilizado em obras que demandam grandes volumes na concretagem, o que pode gerar fissuras de origem térmica em função do aumento da temperatura desenvolvido pela hidratação do cimento, pois este tem a propriedade de retardar o desprendimento de calor.

3.4.6.3 Cimento Portland branco

O cimento portland branco é um tipo de cimento que se diferencia dos demais pela coloração. A cor branca é obtida a partir de matérias-primas que contêm baixíssimos teores manganês e ferro, utilização do caulim no lugar da argila e por condições especiais durante a fabricação, especialmente com relação ao resfriamento e a moagem do produto. A fabricação do cimento Portland branco é regulamentada pela norma NBR 16697, sendo classificado em dois subtipos: cimento portland branco estrutural e cimento portland branco não estrutural (ABCP, 2002).

O cimento portland branco estrutural é utilizado em concretos brancos com fins arquitetônicos. O cimento portland branco não estrutural é indicado para rejunte de cerâmicas, na fabricação de ladrilhos hidráulicos e na composição de acabamentos (AMBROZEWICZ, 2012).

3.4.6.4 Cimento para poços petrolíferos

O cimento para poços petrolíferos é um tipo de cimento Portland de aplicação bastante específica, utilizado na cimentação de poços petrolíferos. Na sua composição são utilizados o clínquer e gesso para retardar o tempo de pega e, em sua fabricação, são tomadas precauções especiais para garantir plasticidade em condições ambientes de elevadas pressões e temperaturas (AMBROZEWICZ, 2012).

3.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

A Tabela 3.3 a seguir apresenta os requisitos físicos e mecânicos definidos para os tipos de cimento segundo as ressignações normativas.

Tabela 3.3 - Requisitos físicos e mecânicos

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

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

Fonte: ABNT NBR 16697, 2018 (Adaptada).

A Tabela 3.4 estabelece determinações facultativas que podem ser realizadas em função de acordo entre as partes.

Tabela 3.4 – Determinações facultativas

Sigla ^a	Classe	Enxofre na forma de sulfeto %	Tempo de fim de pega min	Expansi- bilidade a frio mm	Resistência à compressão aos 91 dias MPa	Anidrido carbônico (CO ₂) %
CP I	25, 32 ou 40	-	≤ 600	≤ 5	-	≤ 3,0%
CP I-S						≤ 5,5%
CP II-E	25, 32 ou 40	≤ 0,5				≤ 7,5%
CP II-F	25, 32 ou 40	-				≤ 11,5%
CP II-Z						≤ 7,5%
CP III	25	≤ 1,0	≤ 720		≥ 32,0	≤ 5,5%
	32				≥ 40,0	
	40				≥ 48,0	
CP IV	25	-			≥ 32,0	≤ 5,5%
	32				≥ 40,0	
	40				≥ 48,0	
CP V	ARI	-	≤ 600		-	≤ 5,5%
CPB Estrutural	25, 32 ou 40	-	≤ 600	≤ 5	-	≤ 12,0
CPB Não estrutural	-	-			-	≤ 27,0

^a Estes requisitos podem ser aplicáveis também aos cimentos resistentes aos sulfatos e de baixo calor de hidratação, identificados por sua sigla original seguida do sufixo RS ou BC, respectivamente.

Fonte: ABNT NBR 16697, 2018 (Adaptada).

3.5.1 Finura

A finura do cimento é relacionada com o tamanho dos grãos do produto. É usualmente definida de duas maneiras distintas: pelo tamanho máximo do grão ou pelo valor da superfície específica (soma das superfícies dos grãos contidos em um grama de cimento). A finura do cimento influencia a sua reação com a água pois quanto mais fino o cimento maior será sua área específica de contato, mais rápido ele reagirá e maior será a resistência à compressão, principalmente nos primeiros dias.

Além disso, uma maior finura diminui a exsudação, aumenta a impermeabilidade, a trabalhabilidade e a coesão dos concretos. Entretanto, a finura aumenta o calor de hidratação e a retração, aumentando a fissuração. A finura pode ser aumentada com uma moagem mais intensa, porém, o custo de

moagem e o calor de hidratação estabelecem os limites de finura (MEHTA & MONTEIRO, 1994). Devido à complexidade e altos custos da determinação da granulometria do cimento através de ensaio de sedimentação e difração a laser, realizam-se os ensaios para a determinação da finura de cimento Portland com o emprego da peneira 75 μm (nº 200) e determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine).

3.5.2 Tempo de pega

O fenômeno da pega do cimento compreende a evolução das propriedades mecânicas da pasta no início do processo de endurecimento, consequente de um processo químico de hidratação. O termo hidratação, por definição, indica a reação química de uma dada espécie química com água convertendo-se em hidrato, pela introdução de água em sua molécula. No âmbito restrito da química do cimento esse termo refere-se ao conjunto de mudanças que ocorrem quando o cimento anidro ou uma das suas fases constituintes é misturado com água. O fenômeno é complexo envolvendo reações químicas que superam a simples conversão de espécies químicas anidras em hidratos correspondentes (TAYLOR, 1998).

A partir da adição de água ao cimento a pasta formada demora um certo tempo para começar a solidificação. Esse momento é denominado início de pega. Após este estágio, o lançamento, adensamento e regularização tornam-se difíceis. Então, a pasta solidifica-se de maneira gradual até deixar de ser deformável para pequenas solicitações, momento denominado fim de pega.

3.5.3 Expansibilidade

A expansibilidade do cimento é medida em laboratório empregando-se a agulha de Le Chatelier. É um fenômeno que pode ocorrer em seu estado endurecido, ao longo do tempo, provocando fissuras. Isto poderá ocorrer em função do processo de fabricação, quando, na obtenção do clínquer, o teor de magnésio ou cal livre for elevado (RIBEIRO, 2002). O sulfato de cálcio, em sua forma hidratada, dá origem ao gesso (gipsita). Este composto causa expansão

do cimento devido à formação do sulfoaluminato de cálcio (etringita) em cimentos endurecidos.

O mau proporcionamento das matérias primas, moagem e homogeneização inadequadas, e a temperatura ou o tempo de permanência insuficientes na zona de calcinação do forno estão entre os principais fatores que contribuem para a presença de óxido de cálcio livre ou cristalino no clínquer do cimento portland (MEHTA & MONTEIRO, 1994, p.197).

Assim, por estarem intercristalizada com outros compostos no clínquer, demora para hidratar-se ocasionando sua expansibilidade após a cura. Teores excessivos de magnésio (MgO) também causam expansibilidade no cimento. Porém, tais efeitos ocorrem de forma tardia pois o magnésio após ser submetido à clinquerização torna-se inerte à hidratação inicial.

3.5.4 Resistência à compressão

Resistência é a medida da tensão exigida para romper o material. A resistência à compressão é influenciada pela quantidade de água em relação à quantidade de cimento. A composição química do cimento (C_3S e C_2S), assim como as adições (escórias e pozolanas) também influenciam no ganho de resistência dos concretos. A finura também é um fator a ser considerado. A determinação da resistência à compressão deve ser feita por um método de ensaio normalizado pela NBR 7215 (ABNT, 2019).

Do ponto de vista da resistência, a relação água/cimento-porosidade é indiscutivelmente o fator mais importante porque, independentemente de outros fatores, ela afeta a porosidade tanto da matriz pasta de cimento como da zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

3.5.5 Calor de hidratação

O calor de hidratação está relacionado a reação química dos compostos do cimento com a água. Essa reação provoca com a liberação do calor de hidratação, silicato de cálcio, hidróxido de cálcio, etringita etc. Tal processo

ocorre nas primeiras horas posteriores a aplicação do concreto. A liberação do calor conjuntamente às substâncias causa a elevação da temperatura da massa do concreto. Quando um grande volume de concreto é empregado em uma mesma peça, o calor gerado enfrenta dificuldades para dissipar-se, fato que pode causar tricas, fissuras e aumentar sua porosidade.

Algumas medidas devem ser adotadas para amenizar esses efeitos, como evitar a concretagem em horários muito quentes e manter a peça umedecida durante a cura, buscar soluções (aditivos) que reduzam a porção de cimento na dosagem, concretar peças com grandes volumes por camadas e substituir parte da água por gelo na produção do concreto.

3.5.6 Retração

A retração pode ser definida como a deformação do material sem qualquer solicitação mecânica externa. As mudanças volumétricas presentes na matriz cimentícia, oriundas dos processos de hidratação e de secagem do composto cimentício, geram uma tendência de fissuração do material. Na pasta de cimento, a densidade é um valor variável com o tempo, aumentando com a evolução da hidratação.

As deformações de retração são influenciadas pela qualidade da microestrutura e o avanço da hidratação do cimento e apresentam relação direta com a resistência à compressão (ITIM, 2011). Esta ocorre desde seu estado fresco até idade mais avançadas nas pastas, argamassas e concretos (BAUER, 2000). Parte da retração pode ser considerada reversível, retornando a valores mais próximos das dimensões originais (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Geralmente, esta recuperação se dá através de um molhamento da peça. Porém, a maior parte da retração não é recuperada com o molhamento, sendo esta parte denominada de retração irreversível, provavelmente em razão de mudanças na estrutura do C-S-H durante o período de secagem (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Pode-se ter um aumento da retração no cimento: em função do teor de aluminato; à medida que cresce seu grau de finura; com o aumento do fator

água/cimento; com a redução da umidade relativa do ar; em função da quantidade percentual de agregado miúdo; com uso de substâncias retardadoras de pega; com uso de substâncias para reduzir a permeabilidade do concreto. A retração no cimento diminui: com o aumento do módulo de elasticidade do agregado; em função do aumento do tempo de cura.

3.5.7 Exsudação

De acordo com Wainwright & Ait-Aider (1995), a exsudação é o movimento de água para a superfície do concreto lançado e compactado, sendo um tipo específico de segregação. É o fenômeno que força a água a subir pelo assentamento dos sólidos da mistura, somente observado se a taxa de exsudação é superior à taxa de evaporação da água na superfície do concreto.

Ocorre intensamente nos momentos iniciais após o lançamento do concreto e, após o início de pega, mantêm-se a uma taxa uniforme. A exsudação cessa quando o movimento da água é bloqueado pelos grãos dos produtos de hidratação, pela efetividade das ligações entre as partículas sólidas ou por ambos.

3.6 ARMAZENAMENTO

Para o armazenamento do cimento, devem ser tomadas algumas precauções pois este é um produto perecível muito reativo à presença de água e umidade. Caso seja exposto a tais condições o mesmo pode endurecer perdendo suas propriedades antes do uso. A forma usual de embalagem, em sacos de papel kraft de múltiplas folhas, oferece baixa proteção à umidade e contato direto com água. Portanto, alguns cuidados devem ser adotados para evitar o desperdício do material bem como garantir a qualidade especificada das argamassas e concretos produzidos.

Dentre as recomendações pode-se destacar os seguintes pontos: o local de estocagem deve ser coberto, ter suas laterais vedadas da ação das chuvas e estar seco, os sacos devem ser depositados em pilhas de no máximo 10 unidades em altura com base apoiada em tablado de madeira e estarem a uma

distância mínima de 30 cm em relação ao piso e as paredes, deve-se ainda compatibilizar a quantidade de cimento adquirida com a demanda da obra para evitar que este fique armazenado por longos períodos, visto que seu prazo de validade a partir da fabricação é de três meses.

4. ADITIVOS

Os aditivos químicos são usados no concreto para melhorar ou acentuar alguns pontos e características do concreto tanto durante a execução quanto após o endurecimento.

4.1 DEFINIÇÃO

Conforme Bastos (2002), o concreto é um produto formado pela mistura ordenada e proporcional de cimento Portland, agregados miúdos, graúdos e água, além da possibilidade de adição de outros materiais denominados aditivos, e suas propriedades são influenciadas diretamente pelas proporções e características individuais de cada um desses materiais constituintes. O aditivo é um produto químico que é adicionado à mistura de concreto com a finalidade de se obterem modificações específicas, ou modificações das propriedades normais do concreto.

Pode-se definir como ADITIVO todo produto não indispensável à composição e finalidade do concreto, que colocado na betoneira imediatamente antes ou durante a mistura do concreto, em quantidades geralmente pequenas e bem homogeneizado, faz aparecer ou reforça certas características. (BAUER, 2000)

4.2 FINALIDADES

Os aditivos são adicionados no processo de produção do concreto e são capazes de alterar as propriedades físicas do concreto, seja em seu estado fresco ou já endurecido, alterando também as reações de hidratação do cimento, conferindo ao concreto as vantagens citadas anteriormente, o que melhora significativamente seu desempenho, desde que seja dosado corretamente.

Aditivos contribuem também com uma menor necessidade de utilização de insumos na produção de concreto, reduzindo a relação *a/c* (água/cimento) e aumentando a resistência efetiva do concreto.

Os aditivos químicos para o concreto são elementos imprescindíveis ao atual patamar de inovação em que se encontra a construção civil. A sofisticação que as soluções de engenharia vêm implementando exigem a versatilidade de seus produtos componentes e, neste aspecto, os aditivos são responsáveis por modificarem as características dos sistemas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, originando e inserindo no mercado novos materiais, como os concretos de alto desempenho (RIXOM & MAILVAGANAM, 2001).

4.3 TIPOS DE ADITIVOS

Segundo Moraes (2014), os aditivos são classificados como:

- Tenso-ativos (plastificantes, superplastificantes, redutores de água): melhoram a fluidez e plasticidade dos concretos (aumentam o índice de consistência), permitindo melhor compactação com menor dispêndio de energia; reduzem a quantidade de água, diminuindo a retração, aumentando a resistência ou economizando aglomerante. Os superplastificantes são aditivos conhecidos como redutores de água de alta eficiência, por serem capazes de reduzir o teor de água três a quatro vezes mais, para uma dada mistura, quando comparados aos aditivos plastificantes. São tensoativos de cadeia longa, massa molecular elevada e um grande número de grupos polares na cadeia do hidrocarboneto (MEHTA & MONTEIRO, 1994).
- Incorporadores de ar: aumentam a durabilidade dos concretos (maior resistência à ação deletéria de líquidos agressivos), melhoram a plasticidade, melhoram o comportamento do material durante o transporte (menor possibilidade de segregação), contribuem para a redução da exsudação e aumentam a resistência do concreto aos ciclos de congelamento e descongelamento. São utilizados em concretos submetidos a grandes variações de temperatura (gelo e degelo, câmaras frigoríficas, etc.) e também em concreto-massa, pois diminuem o atrito entre os agregados.
- Aceleradores de pega: aumentam a velocidade de crescimento da resistência, permitindo a desforma mais rápida e liberando mais cedo a construção para serviços. São usados quando o concreto

deve ser lançado em temperaturas baixas ou em casos de serviços urgentes de reparos. Também são utilizados na execução de pré-moldados e de concreto projetado.

- Retardadores de pega: são úteis para evitar as juntas frias (mantêm o concreto plástico por um período maior, evitando-se que as sucessivas camadas lançadas criem juntas frias com descontinuidade estrutural); ajudam na concretagem em tempo quente, quando a pega normal é acelerada pela temperatura mais alta (melhoram o balanço térmico pela maior facilidade de dissipação do calor gerado e evitam grande aumento de temperatura); são utilizados no retardamento do endurecimento do concreto quando se deseja obter um acabamento arquitetônico com agregado exposto; ajudam no controle de grandes unidades estruturais para manter o concreto trabalhável durante o lançamento.
- Impermeabilizantes: agem por ação repulsiva com relação à água ou por obturação dos poros; reduzem a penetração de umidade sob pressão e de elementos agressivos; são utilizados em argamassas de reparo, rejuntas e nos concretos de reservatórios.
- Produtores de gás ou espuma: são capazes de produzir, na massa do concreto, bolhas de gás ou de espuma, dando origem aos concretos porosos, celulares ou aerados, que possuem baixo peso específico e melhor desempenho no isolamento térmico e proteção contra o fogo. São utilizados em pisos, lajes e recuperação de estruturas.
- Fungicidas, germicidas e inseticidas: controlam o crescimento de algas ou líquens no concreto endurecido durante um determinado tempo. Inibidores de corrosão de armaduras: são efetivos no controle e redução das taxas de corrosão das armaduras; são utilizados nos materiais de reparo e em concretos submetidos à ação de cloretos (FONSECA, 2010).

A Tabela 4.1 apresenta também os efeitos, vantagens e desvantagens para os diferentes tipos de aditivos.

Tabela 4.1 - Características dos aditivos

Tipos	Efeitos	Vantagens	Desvantagens
Plastificante	Aumenta o índice de consistência possibilita a redução de pelo menos 6% da água de amassamento	Maior trabalhabilidade e menor consumo de cimento para uma determinada resistência e trabalhabilidade	Retarda o início de pega para dosagens elevadas do aditivo, aumentando o risco de segregação
Retardador de pega	Aumenta o tempo de início de pega	Mantém trabalhabilidade a temperaturas elevadas, retarda a elevação do calor de hidratação e amplia os tempos de aplicação	Pode promover exsudação e pode aumentar a retração plástica do concreto
Acelerador de pega	Pega mais rápida e uma resistência inicial mais elevada	Ganho de resistência em baixas temperaturas e redução do tempo de desforma	Possível fissuração devida ao calor de hidratação risco de corrosão de armaduras
Plastificante e retardador	Efeito combinado do plastificante e retardador de pega	Reduz a perda de consistência em climas quentes e úmidos	Aumento da exsudação e retração plástica e do risco de segregação
Plastificante e acelerador	Efeito combinado do plastificante e acelerador de pega	Reduz a quantidade de água e permite ganho mais rápido de resistência	Risco de corrosão de armadura
Incorporador de ar	Incorpora pequenas bolhas de ar no concreto	Aumenta a durabilidade ao congelamento do concreto sem elevar o consumo de cimento e o consequente aumento do calor de hidratação: reduz o teor de água e a permeabilidade do concreto	Necessita um controle mais cuidadoso da porcentagem de ar incorporado e do tempo de mistura
Superplastificante	Elevado aumento do índice de consistência, o que possibilita a redução de, no mínimo, 12% da água de amassamento	Eficiente redutor de água, proporcionando ganhos de resistência para determinada trabalhabilidade, e reduz o consumo de cimento	Risco de segregação da mistura. O efeito do fluidificante é o tempo menor do que o plastificante, podendo elevar a perda de consistência

Fonte: ABCP, 2002 (Adaptado).

4.4 ADITIVOS PLASTIFICANTES

Os aditivos plastificantes são considerados aditivos redutores de água. As principais definições sobre os aditivos redutores de água, em normas e publicações, somente os diferenciam entre plastificantes e superplastificantes, inclusive pela norma brasileira que os classifica de acordo com o nível de redução de água (CORRÊA, 2010). Um aditivo redutor de água é aquele que reduz o consumo de água necessário na mistura para produzir um concreto com uma determinada consistência (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

A função dos redutores de água é reduzir o teor de água da mistura, geralmente entre 5% e 10%. às vezes até 15%, em concretos com elevada trabalhabilidade. Assim, a finalidade de um redutor de água em um concreto é a redução da relação água/cimento, mantendo a trabalhabilidade desejada ou, como alternativa, aumentar a trabalhabilidade com uma mesma relação água/cimento. (NEVILLE, 1997).

A NBR 1763 (ABNT, 2009) define aditivo plastificante como produto que aumenta o índice de consistência do concreto mantida a quantidade de água de amassamento, ou que possibilita a redução de, no mínimo, 6% da quantidade de água de amassamento para produzir um concreto com determinada consistência.

Produtos cuja função principal é reduzir a água de amassamento para a mesma trabalhabilidade, além de melhorar a coesão, a homogeneidade e diminuir a retração. Basicamente diminuem a tensão superficial da água, com a consequente dispersão da mesma, proporcionando um melhor aproveitamento do gel do cimento (ABESC, Manual Técnico).

Muitas bases químicas podem ser utilizadas como aditivos plastificantes sendo que as mais utilizadas são os lignosulfonatos e gluconatos. Os dois principais grupos de aditivos redutores de água são: a) ácidos lignosulfônicos e seus sais e b) ácidos carboxílicos hidroxilados e seus sais (NEVILLE, 1997).

Os surfactantes geralmente utilizados como aditivos plastificantes são sais, modificações e derivados de ácidos lignosulfônicos, ácidos carboxílicos hidroxilados e polissacarídeos ou qualquer combinação dos três, com ou sem constituintes secundários (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Além das propriedades de redução de água e cimento, os aditivos plastificantes também proporcionam o aumento do tempo de trabalhabilidade e a capacidade dos aditivos de promover melhores condições de hidratação dos grãos de cimento, gerando concretos e argamassas de maior regularidade e possivelmente de maior resistência mecânica.

O aumento do tempo de trabalhabilidade acontece em função da maior dispersão dos grãos que ocorre enquanto perduram as forças de repulsão eletrostática provocadas pelos aditivos na ligação da água com os compostos do cimento e esta mesma força eletrostática é responsável pela eliminação da formação de grumos de cimento contrapondo-se às forças naturais de atração entre as partículas possibilitando assim um melhor envolvimento da água sobre os grãos gerando melhor nucleação e, conseqüentemente, um melhor nível de hidratação do cimento.

As transformações químicas ocorridas com a introdução de aditivos no concreto precisam ser controladas em função dos limites de dosagem, pois as mesmas bases que promovem um maior tempo de trabalhabilidade e maior plasticidade podem também gerar uma maior incorporação de ar, com efeitos negativos sobre as resistências mecânicas dos concretos e também tempos muito longos de retardamento da pega do cimento, com riscos de até mesmo inibir sua hidratação.

4.5 ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES

A maioria dos aditivos superplastificantes é constituída de bases químicas que apresentam menor influência sobre o tempo de pega do cimento e também sobre o incremento do teor de ar incorporado no concreto. Essas propriedades permitem dosagens em quantidades bem superiores às utilizadas com os aditivos plastificantes, promovendo uma ação defloculante muito mais intensa,

com um aumento significativo da plasticidade. Isso permite a obtenção de concretos com abatimentos elevados, da ordem de 200 mm e boa compacidade, que exigem pouca ação de vibração, para aplicações em formas com alta densidade de armadura ou concretos pré-moldados onde se exige um alto nível de acabamento superficial.

O fato de aumentar a plasticidade do concreto de forma intensa permite que se mantendo o abatimento inicial, se reduza de forma elevada o consumo de cimento ou ainda uma terceira opção que é associar um leve incremento na plasticidade a uma redução média no consumo de cimento. A primeira geração de superplastificantes ou redutores de água de alta eficiência, são compostos de sais sulfonados de melamina ou condensados de naftaleno formaldeído (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Superplastificante é um produto que aumenta o índice de consistência do concreto mantida a quantidade de água de amassamento, ou que possibilita a redução de, no mínimo, 12% da quantidade de água de amassamento, para produzir um concreto com determinada consistência (ABNT 1763, 1992).

A primeira geração de superplastificantes ou redutores de água de alta eficiência, são compostos de sais sulfonados de melamina ou condensados de naftaleno formaldeído (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

4.6 ADITIVOS POLIFUNCIONAIS

Os aditivos polifuncionais tem sua concepção a partir da mistura das bases químicas dos aditivos plastificantes e superplastificantes com o objetivo de obter alta plasticidade e um bom tempo de manutenção da trabalhabilidade (CORRÊA, 2010). Os aditivos polifuncionais foram desenvolvidos a partir da associação de uso de aditivos superplastificantes em caminhões betoneiras, que tem que ser dosados no momento da aplicação do concreto, com os aditivos plastificantes responsáveis pela manutenção da plasticidade do concreto entre a dosagem na central de concreto e a chegada à obra para adição do superplastificante.

Dessa forma se obtém um concreto com alta plasticidade porem com o tempo de boa trabalhabilidade muito reduzido, sendo assim é necessário que

seja feita a dosagem do aditivo superplastificante na obra, aumentando os riscos da operação de concretagem.

Apesar de o princípio de formulação simples o resultado obtido foi bastante satisfatório, principalmente porque, como o polinaftaleno sulfonato proporciona plasticidade mas é menos retardador que os lignosulfonatos e também está mescla tem baixo impacto na incorporação de ar, isso possibilitou que se utilizasse dosagens mais elevadas ampliando os efeitos benéficos do aditivo tanto na plasticidade quanto no tempo em aberto, sem riscos de um retardamento excessivo.

5. PRODUÇÃO DE CONCRETO

A seleção dos materiais componentes dos concretos é o primeiro passo na busca da obtenção de concretos com certas e desejadas características de desempenho (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

Dentre os materiais empregados no concreto, certamente o que maior influência tem nas suas características é o cimento. Assim, é de todo recomendável o procedimento de ensaios do cimento empregado, como estabelecem as normas técnicas. Os ensaios mais comumente realizados são os de verificação das características físicas do cimento (BAUER, 2000).

5.1 COMPONENTES DO CONCRETO

A fabricação do cimento exige um controle rigoroso, e inúmeros ensaios são realizados nos laboratórios das fábricas para garantir a qualidade desejada e o atendimento às exigências das normas. A caracterização do cimento Portland é feita a partir dos ensaios:

- Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos - NBR 7215 (ABNT, 2019).
- Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal – NBR 16606 (ABNT, 2018).
- Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega - NBR 16607 (ABNT, 2018).
- Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200) - NBR 11579 (ABNT, 2013).
- Cimento Portland - Determinação da expansibilidade Le Chatelier - NBR 11582 (ABNT, 2016).

Os agregados são componentes importantes no concreto. Suas características apresentam larga gama de variação, o que os leva, na tecnologia

do concreto, a serem submetidos a ensaios de várias propriedades tanto antes como durante a execução da obra. A caracterização dos agregados é feita a partir dos ensaios:

- Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios - NBR NM 45 (ABNT, 2006).
- Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm , por lavagem - NBR NM 46 (ABNT, 2003).
- Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas - NBR NM 49 (ABNT, 2001).
- Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água - NBR NM 53 (ABNT, 2009).
- Agregados - Determinação da composição granulométrica - NBR NM 248 (ABNT, 2003).
- Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água – NBR 6458 (ABNT, 2017).
- Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo – Método de ensaio - NBR 6467 (ABNT, 2009).
- Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis - NBR 7218 (ABNT, 2010).

5.2 ÁGUA DE AMASSAMENTO

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a água pode ser encontrada em vários estados dentro da mistura de concreto. Além do vapor nos poros vazios não ocupados ou parcialmente preenchidos, existe água na pasta de cimento hidratada nos estados: água capilar, presente nos vazios maiores, chamada de água livre (uma vez que sua remoção não causa qualquer alteração no volume do concreto); água adsorvida, que se encontra próxima à superfície do agregado, sob influência das forças de atração dos sólidos da pasta de cimento hidratada.

A perda desta água é responsável pela retração da pasta de cimento; água interlamelar, associada com a estrutura do C-SH; água quimicamente combinada, aquela que faz parte da estrutura de vários produtos hidratados do cimento.

A água de amassamento não deve conter substâncias orgânicas indesejáveis ou constituintes inorgânicos em quantidades excessivas. Em muitas especificações, a qualidade da água é estabelecida por uma cláusula que cita que a água deve ser potável. Como regra, a água com pH entre 6,0 e 8,0 é adequada para uso (NEVILLE, 2016).

A água para emprego no concreto deve ser potável. Havendo dúvida quanto à sua qualidade, deverão ser procedidos ensaios de qualidade através da moldagem de 18 cilindros (5 X 10 cm) com argamassa preparada com água potável e outros 18 com a água a ser testada. Os resultados dos ensaios aos 3, 7 e 28 dias indicam a qualidade da água. Considera-se aceitável quando a redução da resistência não ultrapassa 10% (BAUER, 2000).

5.3 DOSAGEM DO CONCRETO

O proporcionamento dos materiais do concreto, também conhecido por dosagem do concreto, é um dos processos através do qual é obtida a melhor proporção entre cimento, agregados, água e aditivos para produzir um concreto que atenda a certas especificações prévias, sendo a trabalhabilidade do concreto fresco e a resistência do concreto endurecido a uma idade definida, os requisitos normalmente mais importantes (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

A seleção das proporções dos componentes deve levar em conta alguns critérios, como o método de transporte do concreto, especialmente se for previsto o bombeamento. Outros critérios importantes são: tempo de pega, exsudação e facilidade de acabamento, três fatores que estão interligados. Vários métodos podem ser usados para dosagem do concreto. Dentre estes, alguns são mais utilizados atualmente no Brasil:

- Método de dosagem de concreto EPUSP/IPT;
- Método de dosagem de concreto da ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland / ACI – American Concrete Institute;
- Método de dosagem de concreto do ITERS – Instituto Tecnológico do Estado do Rio Grande do Sul, proposto por Eládio Petrucci;
- Método de dosagem INT – Instituto Nacional de Tecnologia, no Rio de Janeiro, proposto por Fernando Luiz Lobo Carneiro;

5.4 MISTURA DO CONCRETO

A maioria das especificações recomendam que a medição dos materiais para produzir o concreto seja feita em massa, ao invés de ser em volume. A razão desta recomendação se deve ao inchamento da areia úmida que ocasiona erros nas medições. Água e aditivos líquidos podem ser medidos com precisão tanto em volume quanto em massa (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

Os ingredientes da mistura devem ser adequadamente misturados para que se produza um concreto fresco, em que as superfícies de todas as partículas de agregados sejam revestidas pela pasta de cimento, que seja homogêneo em macroescala e, como consequência, que possua propriedades uniformes. A mistura é praticamente sempre realizada por meios mecânicos (NEVILLE, 2016). Dependendo de considerações de custo, tipo de construção e quantidade de concreto necessária, a operação de mistura pode ser feita no local ou em uma usina de produção de concreto localizada fora do canteiro de obra (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

O amassamento manual do concreto, a empregar-se excepcionalmente em pequenos volumes ou em obras de pouca importância, deverá ser realizado sobre um estrado ou superfície plana impermeável e resistente. Mistura-se primeiramente, a seco, os agregados e o cimento, de maneira a obter-se uma mistura uniforme; em seguida, adiciona-se aos poucos a água necessária, prosseguindo-se a mistura até conseguir-se massa de aspecto uniforme (BAUER, 2000).

5.5 TRANSPORTE DO CONCRETO

A NBR 7212 (ABNT, 2012) define o concreto dosado em central como concreto misturado em equipamento estacionário ou em caminhão betoneira, transportado por caminhão betoneira ou outro tipo de equipamento, dotado ou não de agitação, para entrega antes do início de pega do concreto, em local e tempo determinados, para que se processem as operações subsequentes à entrega, necessárias à obtenção de um concreto endurecido com as propriedades pretendidas.

Ao considerarmos o sistema de transporte de concreto devem ser analisados fatores como a localização e do volume da obra, e um dos principais critérios a serem considerados e garantir que o sistema de transporte possa manter a homogeneidade da mistura.

Em geral, a segregação se dá porque o concreto é uma mistura de materiais heterogêneos em dimensões, pesos e densidades: portanto, logo após sua fabricação, há forças internas e externas atuando para separar esses materiais. Essa separação deve ser impedida, e nunca corrigida após sua ocorrência (BAUER, 2000).

A NBR 7212 (ABNT, 2012) determina ainda que o tempo de transporte do concreto decorrido entre o início da mistura, a partir do momento da primeira adição de água, até a entrega do concreto deve ser: inferior a 90 min, no caso do emprego de caminhão betoneira e inferior a 40 min, no caso de veículo não dotado de equipamento de agitação.

5.6 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

5.6.1 Resistência à compressão

A definição da resistência de um material está relacionada com a sua capacidade de resistir à tensão sem ruptura, e geralmente associa-se esta ruptura ao aparecimento de fissuras. No projeto das estruturas de concreto,

considera-se o concreto como material mais adequado para resistir a carga de compressão; é por isso que a resistência à compressão do material é geralmente especificada. A resposta do concreto às tensões aplicadas não depende somente do tipo de solicitação, mas também de como a combinação de vários fatores afeta a porosidade dos diferentes componentes estruturais do concreto. Tais fatores incluem propriedades e proporções dos materiais que compõem o traço do concreto, grau de adensamento e condições de cura. Do ponto de vista da resistência, a relação água/cimento-porosidade é indiscutivelmente o fator mais importante porque, independentemente de outros fatores, ela afeta a porosidade tanto da matriz pasta de cimento como da zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

A resistência à compressão simples é a propriedade mecânica mais importante do concreto, não só porque o concreto trabalha predominantemente à compressão, como também, porque fornece outros parâmetros físicos que podem ser relacionados empiricamente à resistência à compressão. Geralmente, a resistência à compressão simples é medida em corpos de prova cilíndricos padronizados, de 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura, curados em câmara úmida à 20°C, e ensaiados com idade de 28 dias (ANDOLFATO, 2002).

5.6.2 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade é definido como a relação entre a tensão e a deformação elástica. Em materiais homogêneos, o módulo de elasticidade é a medida das forças de ligação inter atômicas e não é afetada por mudanças micro estruturais. Isto não é válido para materiais multifásicos como o concreto. O módulo de elasticidade à compressão do concreto, varia de 14×10^3 a 40×10^3 MPa. O significado do limite de elasticidade em projeto estrutural é devido ao fato dele representar a deformação máxima permitida antes do material adquirir deformação permanente (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Para o concreto a expressão do Módulo de Elasticidade é aplicada somente à parte retilínea da curva tensão-deformação ou, quando não existir uma parte retilínea, a expressão é aplicada à tangente da curva na origem. Neste caso, tem-se o Módulo de Deformação Tangente Inicial (E_{ci}).

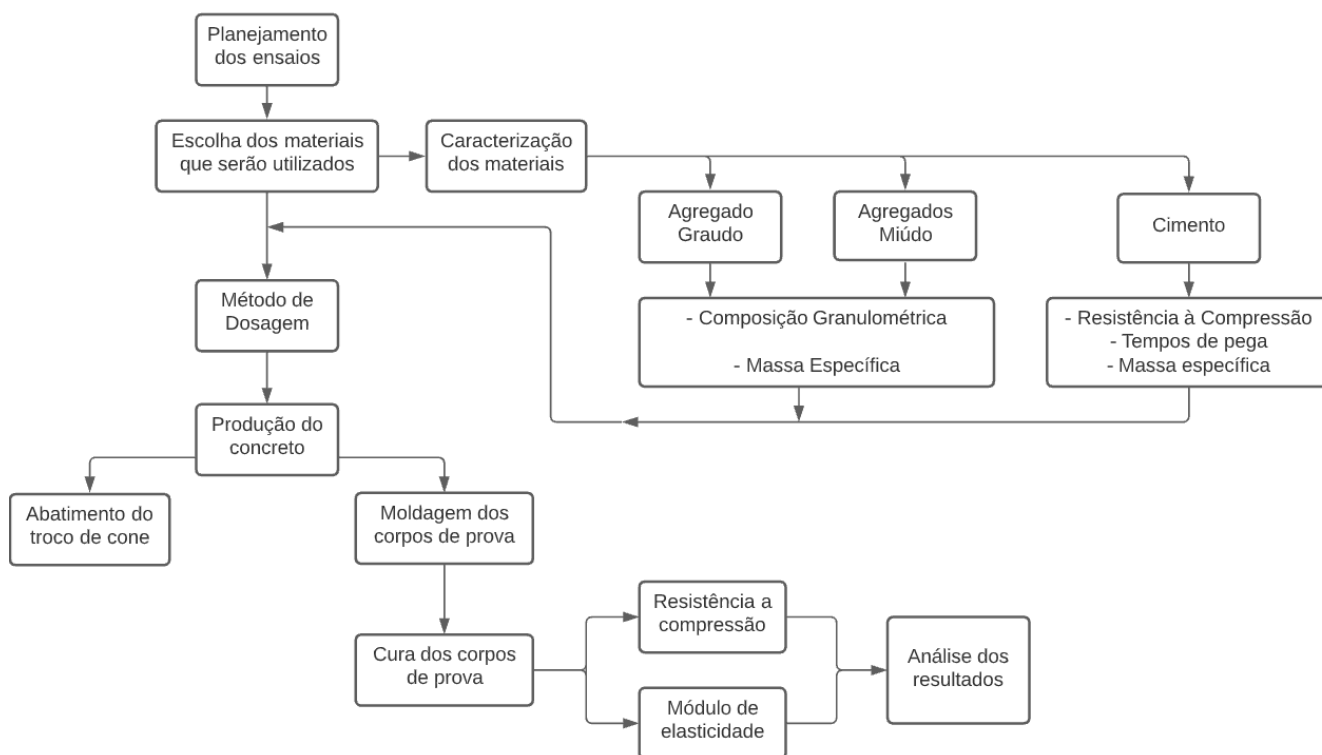
6. METODOLOGIA

Nesta seção é apresentado o método de dosagem que foi utilizado para a realização da pesquisa, bem como os materiais escolhidos e os ensaios realizados para caracterizá-los.

6.1 PLANEJAMENTO DOS ENSAIOS

A partir dos ensaios necessários para a caracterização dos materiais e obtenção dos resultados foi elaborado um fluxograma (Figura 6.1) que retrata resumidamente as etapas realizadas, bem como a sequência de realização das atividades.

Figura 6.1 - Planejamento dos Ensaio



Fonte: Própria

6.2 VARIÁVEIS DEPENDENTES

As variáveis dependentes analisadas foram: a resistência à compressão e o módulo de elasticidade.

6.2.1 Resistência à compressão

O procedimento para moldagem, cura e ensaios para determinação da resistência à compressão em concreto, seguiu as orientações da NBR 5738 (ABNT, 2015) e NBR 5739 (ABNT, 2018) (MAPA DA OBRA, 2019).

6.2.2 Módulo de elasticidade

O módulo de deformação tangente inicial foi obtido segundo a NBR 8522 (ABNT, 2017) (PINHEIRO, 2007).

6.3 VARIÁVEIS INDEPENDENTES

As variáveis independentes analisadas foram: método de dosagem; abatimento do tronco de cone; tipo do cimento; tipo de agregado miúdo; tipo de agregado graúdo; água de amassamento; moldagem dos corpos de prova e tipo de cura.

6.3.1 Método de dosagem

O método de dosagem adotado foi o IPT/EPUSP, que tem como ponto principal o estabelecimento do teor ótimo de argamassa da mistura, que é aquele que leva ao acabamento desejado. O método apresenta como vantagens: ser de fácil dosagem; não requerer caracterização prévia dos materiais e ser totalmente experimental. O conceito principal do método é a busca das curvas que expressam o comportamento dos materiais e não isoladamente um traço para determinada resistência ou f_{ck} . Para tanto, adotam-se três traços; sendo eles os

traços básico, pobre e rico; com a mesma trabalhabilidade e teor de argamassa, o que possibilita que se gerem as curvas características. São necessários então, três pontos, referente aos três traços, e os resultados obtidos para as idades de ruptura para montar o diagrama de dosagem, que correlaciona a resistência à compressão, relação água/cimento, traço e consumo de cimento dos ensaios realizados para obter as curvas que expressam o comportamento.

6.3.2 Abatimento do tronco de cone

Com o ensaio de abatimento do tronco de cone, também chamado de Slump Test, o que se busca avaliar é a consistência do concreto. Essa propriedade é o principal fator que interfere no grau de trabalhabilidade do concreto. A consistência do concreto é empregada para relacionar a mobilidade da massa e a coesão dos materiais constituintes. Basicamente a consistência está ligada a associação do teor de água com os materiais secos. O ensaio de abatimento segue as prescrições da NBR NM 67 (ABNT, 1998).

6.3.3 Tipo de cimento

O cimento utilizado para a produção dos traços de concreto objetos deste estudo foi o CP-II-F-32 (Cimento Portland composto com fíler) normatizado pela NBR 16697 (ABNT, 2018).

6.3.4 Tipo do agregado miúdo

A areia natural utilizada como agregado miúdo é proveniente da região do município de Faina-GO. A escolha foi feita devido a sua reconhecida qualidade no mercado. As amostras foram obtidas em um comércio em Goiânia, somente foi necessário fazer a coleta no local de armazenamento.

A areia artificial utilizada como agregado miúdo é proveniente de processos de britagem de rochas de granito da Pedreira Anhanguera, localizada no

Município de Caturai-GO. As amostras foram doadas pela Concreteira Redimix em Goiânia, somente foi necessário fazer a coleta no local de armazenamento.

6.3.5 Tipo de agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi brita de número 1 proveniente de rochas de granito da Pedreira Anhanguera, localizada no Município de Caturai-GO. As amostras foram doadas pela Concreteira Redimix em Goiânia, somente foi necessário fazer a coleta no local de armazenamento

6.3.6 Água de amassamento

A água utilizada nos ensaios é a fornecida pela SANEAGO.

6.3.7 Moldagem de corpos de prova

A moldagem dos corpos de prova seguiu as determinações da NBR 5738 (ABNT, 2016). Foram utilizados 29 moldes com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, que conjuntamente com suas bases foram revestidos internamente com uma fina camada de óleo mineral. O concreto foi introduzido nos moldes em três camadas de volumes aproximadamente iguais e adensadas utilizando a haste, com 12 golpes por camada.

6.3.8 Tipo de cura

Após a moldagem, os corpos de prova permaneceram por 24 horas nos moldes. Após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados, identificados e dando-se início ao processo de cura dos mesmos conforme as prescrições da NBR 5738 (ABNT, 2016). Os corpos-de-prova permaneceram submetidos à cura úmida até o momento dos ensaios.

6.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Após a escolha dos materiais é imprescindível a caracterização dos mesmos para definir suas características e assim vincular os resultados que serão obtidos ao tipo de material utilizado.

6.4.1 Agregado miúdo

Foram realizados os seguintes ensaios:

- Determinação da composição granulométrica dos agregados NBR MN 248 (ABNT, 2003).
- Agregados - Determinação da massa unitária - NBR NM 45 (ABNT, 2006).
- Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio- NBR 9776 (ABNT, 1987).

6.4.2 Agregado graúdo

Foram realizados os seguintes ensaios:

- Determinação da composição granulométrica dos agregados - NBR MN 248 (ABNT, 2003).
- Agregados - Determinação da massa unitária - NBR NM 45 (ABNT, 2006).
- Agregado graúdo - Determinação da massa específica - NBR NM 53 (ABNT, 2009).

6.4.3 Cimento

Foram realizados os seguintes ensaios:

- Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos - NBR 7215 (ABNT, 2019).

- Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica - NBR 16605 (ABNT, 2017).
- Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega - NBR 16607 (ABNT, 2018).

6.4.4 Concreto no estado fresco

Foi realizado o seguinte ensaio:

- Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone - NBR NM 67 (ABNT, 1998).

6.4.5 Concreto no estado endurecido

Foram realizados os seguintes ensaios:

- Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos - NBR 5739 (ABNT, 2018).
- Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão - NBR 8522 (ABNT, 2017).

7. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados. Trata-se da caracterização dos materiais, produção dos concretos e ensaios dos concretos no estado endurecido.

7.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais caracterizados foram: areia artificial, areia natural, brita e cimento.

7.1.1 Agregados Miúdos

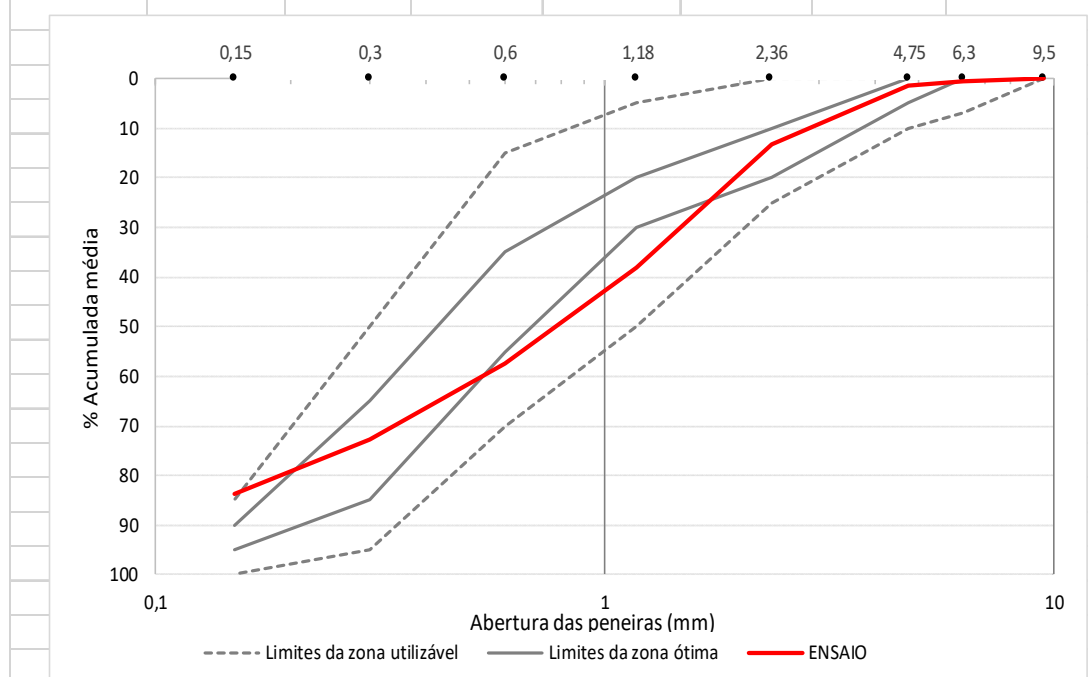
Para a caracterização dos agregados miúdos foram realizados os seguintes ensaios: determinação da composição granulométrica; determinação da massa unitária e determinação da massa específica.

7.1.1.1 Determinação da composição granulométrica – areia artificial

Na Figura 7.1 são apresentados os resultados dos peneiramentos, realizados em duas determinações, e a respectiva curva granulométrica da areia artificial utilizada.

Figura 7.1 - Resultado do ensaio de composição granulométrica da areia artificial.

Peneiras (mm)	1º Determinação			2º Determinação			% Acumulada Média
	Massa inicial	300		Massa inicial	300		
	massa(g)	%Retida	%Acum.	Massa (g)	%Retida	%Acum.	
9,5	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%
6,3	2,1	0,7%	0,7%	0,9	0,3%	0,3%	0,5%
4,75	1,8	0,6%	1,3%	3	1,0%	1,3%	1,3%
2,36	34,4	11,5%	12,8%	36,5	12,2%	13,5%	13,1%
1,18	73,2	24,5%	37,3%	75,6	25,3%	38,8%	38,0%
0,6	61,5	20,5%	57,8%	54,3	18,1%	56,9%	57,4%
0,3	45,9	15,3%	73,1%	46,9	15,7%	72,6%	72,9%
0,15	33,2	11,1%	84,2%	32,6	10,9%	83,5%	83,9%
Fundo	47,2	15,8%	100,0%	49,4	16,5%	100,0%	100,0%
Total	299,3	100%	267%	299,2	100%	267%	267%
Mod.Finura	2,67			2,67			2,67
Módulo de Finura Médio (MF)			2,67	Dimensão Máxima Característica (DMC)			4,75
Diferença de peneiras entre duas determ. < 4%		OK	Diferença das massas inicial e final < 0,3%		OK	ENSAIO APROVADO	



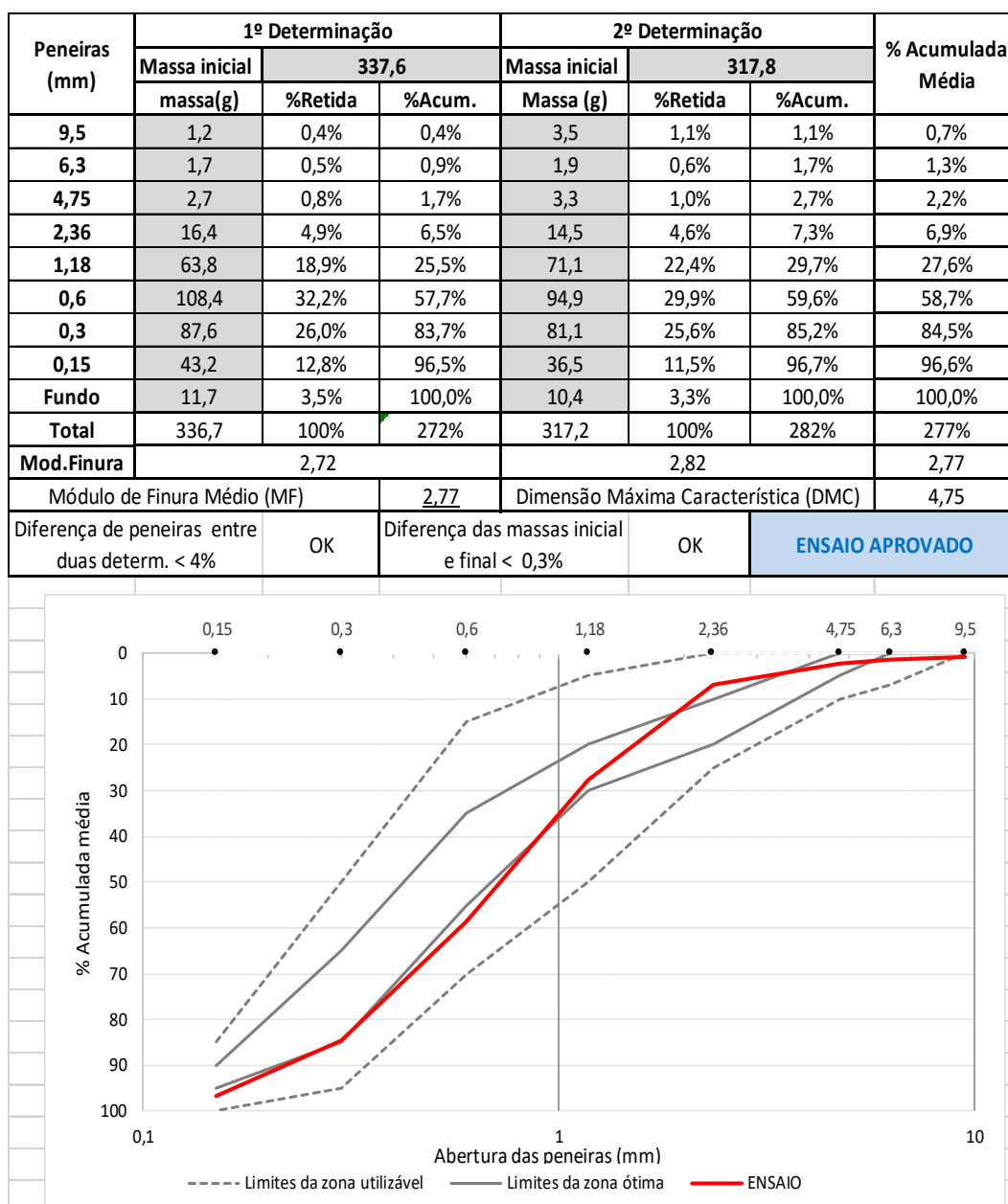
Fonte – Própria.

A determinação da composição granulométrica da areia artificial foi realizada conforme as prescrições da NBR NM 248 (ABNT, 2003). Constatou-se que a amostra apresentou Dimensão Máxima Característica (DMC) igual a 4,75 mm. O módulo de finura foi igual a 2,67. Observou-se que a curva granulométrica ficou dentro dos limites da zona utilizável.

7.1.1.2 Determinação da composição granulométrica – areia natural

Na Figura 7.2 são apresentados os resultados dos peneiramentos, realizados em duas determinações, e a respectiva curva granulométrica da areia natural utilizada.

Figura 7.2 - Resultado do ensaio de composição granulométrica da areia natural.



Fonte – Própria.

A determinação da composição granulométrica da areia natural foi realizada conforme as prescrições da NBR NM 248 (ABNT, 2003). Observou-se que a amostra apresentou Dimensão Máxima Característica (DMC) igual a 4,75 mm. O módulo de finura foi igual a 2,77. Verificou-se que a curva granulométrica ficou dentro dos limites da zona utilizável.

7.1.1.3 Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman – Areia artificial

A determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman da areia artificial foi realizada conforme as prescrições da NBR 9776 (ABNT, 1987). A massa específica do agregado miúdo foi calculada utilizando a expressão 1:

$$\gamma = \frac{500}{L - 200} \quad (1)$$

Onde:

γ – Massa específica do agregado miúdo expressa em g/cm³;

L – Leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo).

Na Tabela 7.1 é apresentado o resultado do ensaio, realizado em duas determinações, onde obtivemos que a massa específica da areia artificial é de 2,66 g/cm³.

Tabela 7.1 - Determinação da massa específica do agregado miúdo – Areia artificial

Determinação	Volume Final (L)	Volume do Agregado (L-200)	Massa Específica γ	Média
1º	388	188	2,66	
2º	388	188	2,66	2,66
ACEITO				

Fonte – Própria.

7.1.1.4 Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman – Areia natural

A determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman da areia natural foi realizada conforme as prescrições da NBR 9776 (ABNT, 1987). Calcula-se a massa específica do agregado miúdo utilizando a Equação 1 apresentada anteriormente.

Na Tabela 7.2 é apresentado o resultado do ensaio, realizado em duas determinações, onde obtivemos que a massa específica da areia natural é de 2,61 g/cm³.

Tabela 7.2 - Determinação da massa específica do agregado miúdo – Areia natural

Determinação	Volume Final	Volume do Agregado	Massa Específica	Média
	(L)	(L-200)	γ	
1º	391,5	191,5	2,61	2,61
2º	391	191	2,62	
ACEITO				

Fonte – Própria.

7.1.1.5 Determinação da massa unitária – Areia artificial

A NBR NM 45 (ABNT, 2006) estabelece o método para a determinação da densidade a granel de agregados miúdos, graúdos ou de mistura dos dois, em estado compactado ou solto.

Este método se aplica aos agregados com dimensão máxima característica igual ou menor que 75 mm e foi utilizado para caracterizar a areia artificial. A massa unitária (M_u) é calculada com a expressão 2.

$$M_u = \frac{M_{(r+a)} - M_r}{V} \quad (2)$$

Onde:

M_u – Massa unitária do agregado miúdo em quilogramas;

$M_{(r+a)}$ – Massa do recipiente mais o agregado em quilogramas;

M_r – Massa do recipiente vazio em quilogramas;

V – Volume do recipiente em decímetros cúbicos.

Foi utilizado um recipiente com 7,34 kg (M_r). As dimensões do mesmo são apresentadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Tabela 7.3.

Tabela 7.3 - Dimensões do recipiente - ensaio de massa unitário do agregado miúdo

Dimensão do recipiente			
Largura (dm)	Comprimento (dm)	Altura (dm)	Volume (dm ³)
3,17	3,17	1,50	15,07

Fonte – Própria

Foram realizadas três determinações e os resultados são apresentados a seguir na Tabela 7.4.

Tabela 7.4 - Resultado ensaio massa unitária – Areia Artificial

Determinações	$M_{(r+a)}$ (kg)	M_u (kg/dm ³)	$M_{u(médio)}$ (kg/dm ³)
1º	31,68	1,61	1,62
2º	31,70	1,62	
3º	31,98	1,63	

Fonte – Própria

O valor médio da massa unitária da areia artificial obtido no ensaio foi de 1,62 kg/dm³. A variação da massa unitária do agregado foi de 0,62% em relação ao valor médio da massa unitária medida nos três ensaios, o que atende a NBR NM 45 (ABNT, 2006) que permite variação de até 1%. Quanto à classificação, o agregado é normal, pois a massa unitária obtida está entre 1 e 2 kg/dm³.

7.1.1.6 Determinação da massa unitária – Areia natural

Para determinação da massa unitária da areia natural foi também utilizado o método estabelecido pela NBR NM 45 (ABNT, 2006) para a determinação da

densidade a granel de agregados miúdos, graúdos ou de mistura dos dois, em estado compactado ou solto. Este método se aplica aos agregados com dimensão máxima característica igual ou menor que 75 mm e foi utilizado para caracterizar a areia natural. A massa unitária (M_u) é calculada com a expressão 2 apresentada anteriormente.

Foi utilizado o mesmo recipiente apresentado para o ensaio com a areia artificial. Os resultados do ensaio são apresentados na Tabela 7.5.

Tabela 7.5 - Resultado ensaio massa unitária – Areia natural

Determinações	$M_{(r+a)}$ (kg)	M_u (kg/dm ³)	$M_{u(médio)}$ (kg/dm ³)
1º	30,12	1,51	1,51
2º	29,96	1,50	
3º	30,00	1,50	

Fonte – Própria

O valor médio da massa unitária da areia natural obtido no ensaio foi de 1,51 kg/dm³. A variação da massa unitária do agregado foi de 0,66% em relação ao valor médio da massa unitária medida nos três ensaios, o que atende a NBR NM 45 (ABNT, 2006) que permite variação de até 1%. Quanto à classificação, o agregado é normal, pois a massa unitária obtida está entre 1 e 2 kg/dm³.

7.1.2 Agregado Graúdo

Para a caracterização do agregado graúdo foram realizados os seguintes ensaios: determinação da composição granulométrica; determinação da massa unitária e determinação da massa específica.

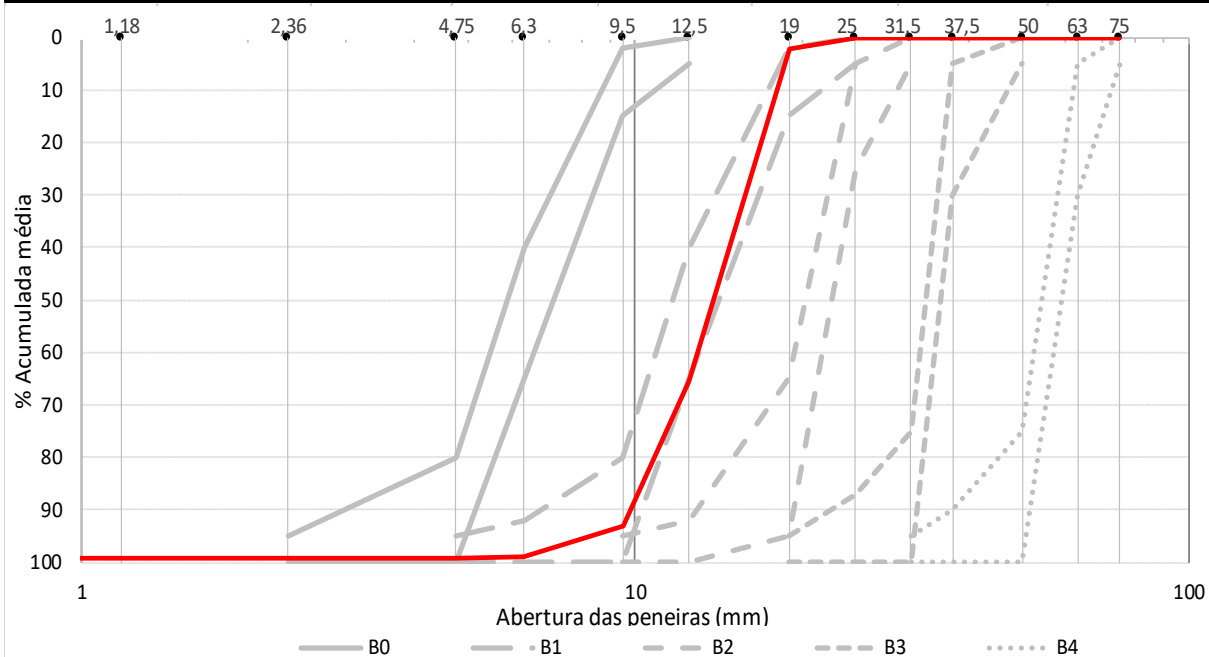
7.1.2.1 Determinação da composição granulométrica

A determinação da composição granulométrica da brita é realizada conforme as prescrições da NBR NM 248 (ABNT, 2003). Na Figura 7.3 são apresentados os resultados do peneiramento, realizado em duas determinações, e a respectiva curva granulométrica da brita. Observou-se que a amostra

apresentou Dimensão Máxima Característica (DMC) igual a 19 mm, portanto brita de número 1. O módulo de finura foi igual a 6,90.

Figura 7.3 - Determinação da composição granulométrica do Agregado Graúdo

Peneiras (mm)	1ª Determinação			2ª Determinação			% Acumulada Média
	Massa inicial	5000		Massa inicial	5000		
	massa(g)	%Retida	%Acum.	Massa (g)	%Retida	%Acum.	
75	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%
63	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%
50	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%
37,5	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%
31,5	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%
25	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%
19	100	2,0%	2,0%	110	2,2%	2,2%	2,1%
12,5	3220	64,4%	66,4%	3120	62,4%	64,6%	65,5%
9,5	1310	26,2%	92,6%	1440	28,8%	93,4%	93,0%
6,3	320	6,4%	99,0%	280	5,6%	99,0%	99,0%
4,75	4,2	0,1%	99,1%	5,1	0,1%	99,1%	99,1%
2,36	0	0,0%	99,1%	0	0,0%	99,1%	99,1%
1,18	0	0,0%	99,1%	0	0,0%	99,1%	99,1%
0,6	0	0,0%	99,1%	0	0,0%	99,1%	99,1%
0,3	0	0,0%	99,1%	0	0,0%	99,1%	99,1%
0,15	0	0,0%	99,1%	0	0,0%	99,1%	99,1%
Fundo	37,8	0,8%	99,8%	35,9	0,7%	99,8%	99,8%
Total	4992	100%	954,3%	4991	99,8%	953,6%	954,0%
Mod.Finura	6,89			6,90			6,90
Módulo de Finura Médio (MF)			6,90	Dimensão Máxima Característica (DMC)			19,0
Diferença de peneiras entre duas determ. < 4%		OK	Diferença das massas inicial e final < 0.3%		OK	Aprovação do ensaio	
						ENSAIO APROVADO	



Fonte – Própria.

7.1.2.2 Determinação da massa específica – Agregado graúdo

A NBR NM 53 (ABNT, 2009) dispõem sobre o método de determinação da massa específica do agregado graúdo, na condição seco, destinados ao uso em concreto. Este método se aplica aos agregados cuja maior parte de suas partículas fica retida na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ou a porção retida nessa mesma peneira, através da realização de pelo menos dois ensaios. A massa específica do agregado graúdo (γ_{ag}) é calculada com a seguinte expressão:

$$\gamma_{ag} = \frac{\text{massa seca}}{(\text{massa saturada} - \text{massa submersa})} \quad (3)$$

Os valores das massas utilizadas nas duas determinações realizadas são apresentados na Tabela 7.6.

Tabela 7.6 - Massa seca, satura e submersa – Massa específica do agregado graúdo

Massa (g)	1ª Determinação	2ª Determinação
Seca	2992,3	3419,5
Saturada	3035,9	3473,7
Submersa	1874,7	2140,7

Fonte – Própria

Foram realizadas duas determinações e os resultados são apresentados a seguir na Tabela 7.7.

Tabela 7.7 - Resultados ensaio massa específica - Agregado graúdo

	1ª Determinação	2ª Determinação
Massa específica (g/cm³)	2,58	2,57
Massa específica média (g/cm³)	2,57	

Fonte – Própria

Os valores obtidos nas duas determinações para a massa específica tiveram uma variação de $0,01 \text{ g/cm}^3$. Com isso o resultado obtido foi satisfatório, pois a NBR NM 53 (ABNT, 2009) prevê que a diferença entre os valores obtidos nas duas determinações para a massa específica não seja superior a $0,02 \text{ g/cm}^3$.

7.1.2.3 Determinação da massa unitária – Agregado graúdo

A NBR NM 45 (ABNT, 2006) estabelece o método para a determinação da densidade a granel de agregados miúdos, graúdos ou de mistura dos dois, em estado compactado ou solto. Este método se aplica aos agregados com dimensão máxima característica igual ou menor que 75. A massa unitária (M_u) é calculada com a expressão 2 apresentada anteriormente.

Foi utilizado um recipiente com 8,82 kg (M_r). As dimensões do mesmo são apresentadas na Tabela 7.8.

Tabela 7.8 - Dimensões do recipiente - Agregado Graúdo

Dimensão do recipiente			
Largura (dm)	Comprimento (dm)	Altura (dm)	Volume (dm^3)
3,17	3,17	2,00	20,10

Fonte – Própria

Foram realizadas três determinações e os resultados são apresentados a seguir na Tabela 7.9.

Tabela 7.9 - Resultado ensaio massa unitária – Agregado Graúdo

Determinações	$M_{(r+a)}$ (kg)	M_u (kg/dm^3)	$M_{u(\text{médio})}$ (kg/dm^3)
1º	40,82	1,59	1,58
2º	40,42	1,57	
3º	40,62	1,58	

Fonte – Própria

O valor médio da massa unitária da brita obtido no ensaio foi de 1,58 kg/dm³. A variação da massa unitária do agregado foi de 0,65% em relação ao valor médio da massa unitária medida nos três ensaios, o que atende a NBR NM 45 (ABNT, 2006) que permite variação de até 1%. Quanto à classificação, o agregado é normal, pois a massa unitária obtida está entre 1 e 2 kg/dm³.

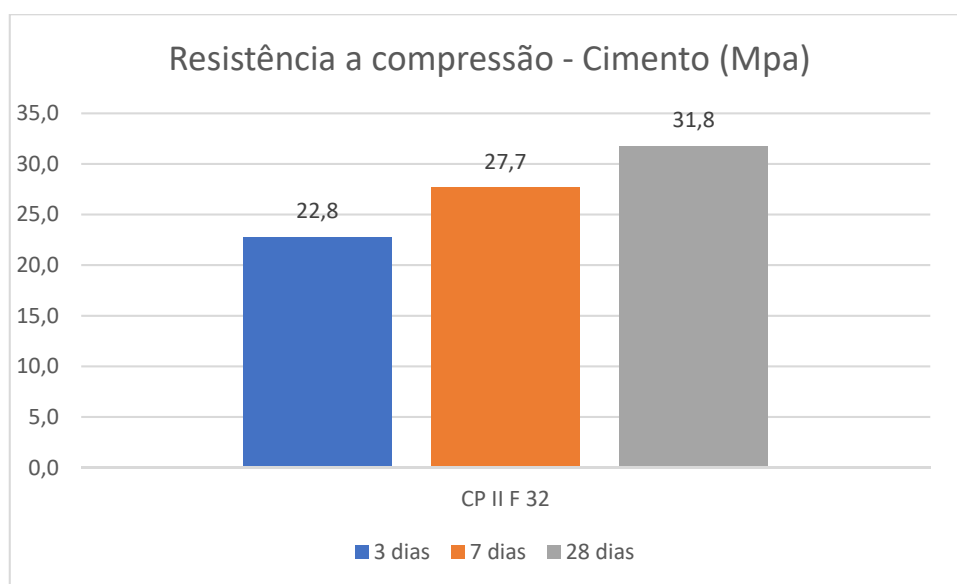
7.1.3 Cimento

Para a caracterização do cimento foram realizados os seguintes ensaios: determinação da resistência à compressão; determinação da pasta de consistência normal; determinação dos tempos de pega e determinação da finura por meio da peneira nº 200.

7.1.3.1 Determinação da resistência a compressão

Na Figura 7.4 são apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova produzidos com o cimento Portland CP II-F-32.

Figura 7.4 – Valores médios de resistência à compressão do cimento



Fonte – Própria

A determinação da resistência à compressão de corpos cilíndricos foi realizada conforme as prescrições da NBR 7215 (ABNT, 2019). Foram moldados doze corpos de prova e estes ensaiados com idades de 3, 7 e 28 dias, sendo quatro corpos de prova de cada idade.

7.1.3.2 Determinação da pasta de consistência normal

Na Tabela 7.10 estão representados os resultados obtidos nos ensaios executados no aparelho Vicat para determinação da pasta de consistência normal, realizados conforme a NBR 16606 (ABNT, 2018).

Tabela 7.10 – Resultados obtidos no Aparelho Vicat – Pasta de consistência normal

Quantidade de Água (g)	Leitura (mm)
150	2,0
145	3,0
140	9,0
143	3,5
141	7,0

Fonte – Própria

O resultado final obtido foi de 7,0 mm, que está dentro do intervalo esperado (entre 5 e 7 mm) para esse experimento. O percentual de água para a obtenção da pasta de consistência normal para o cimento Portland é calculado com a seguinte expressão:

$$A = \frac{\text{massa de água}}{\text{massa de cimento}} \times 100 \quad (4)$$

Calculando temos:

$$A = \frac{141}{500} \times 100 = 28,2\%$$

Assim, temos que o percentual de água (em massa) necessário para obtenção da Pasta de Consistência Normal para o Cimento Portland CII F 32 da amostra analisada é de 28,2%.

7.1.3.3 Determinação dos tempos de pega

O ensaio para determinação dos tempos de início e fim de pega foi realizado conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018). O tempo de início de pega é definido como o intervalo de tempo transcorrido desde a adição de água ao cimento até o momento em que a agulha de Vicat correspondente penetra na pasta até uma distância de (4 ± 1) mm da placa base. O tempo de fim de pega é definido como o intervalo de tempo transcorrido desde a adição de água ao cimento até o momento em que a agulha de Vicat penetra 0,5 mm na pasta.

Dessa forma, segundo os resultados obtidos (Tabela 7.11), verificou-se o início de pega da pasta de cimento em estudo após 234 minutos, sendo verificada a distância de 4 mm entre a agulha de Vicat e a base de vidro. Já o fim de pega, foi constatado com um tempo de 293 minutos, com a agulha de Vicat penetrando menos de 0,5 mm na pasta.

Tabela 7.11 - Resultados - Tempos de pega

Tempos (min)	Penetração (mm)
234	5,0
293	0,5

Fonte – Própria

7.1.3.4 Determinação da finura do Cimento Portland por meio da peneira 75 µm (nº 200)

A determinação da finura do cimento Portland CII F 32 por peneiramento foi realizada conforme as prescrições da NBR 11579 (ABNT, 2013). O índice de

finura do Cimento Portland (F) é calculado com a expressão:

$$F = \left(\frac{\text{resíduo retido}}{\text{massa de cimento}} \right) \times 100 \quad (5)$$

Calculando temos:

$$F = \left(\frac{0,40}{50} \right) \times 100 = 0,8\%$$

A amostra do cimento Portland CII F 32 apresentou índice de finura de 0,8%, o que atende ao requisito da NBR 16697 (ABNT, 2018), que determina que o índice de finura não seja superior a 12%.

7.1.3.5 Determinação da massa específica do cimento

A determinação da massa específica do cimento por meio do frasco volumétrico Le Chatelier foi realizada conforme as prescrições da NBR 16605 (ABNT, 2017). Calcula-se a massa específica do cimento com a expressão 6:

$$d = \frac{m}{(V_f - V_i)} \quad (6)$$

Onde:

d – Massa específica do cimento expressa em g/cm³;

V_i – Leitura inicial do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-cimento).

V_f – Leitura final do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-cimento).

Na Tabela 7.12 são apresentados o resultado do ensaio, realizado em duas determinações, onde obtivemos que a massa específica do cimento é de 2,99 g/cm³. Foram realizadas duas determinações e a variação entre os resultados foi inferior ao 0,01 g/cm³ determinado em norma.

Tabela 7.12 – Resultados – Ensaio massa específica do cimento

Determinação	Massa (g)	Volume inicial (cm ³)	Volume final (cm ³)	Massa Específica (g/cm ³)	Média
	m	V _i	V _f	d	
1º	60	0,4	20,5	2,99	2,99
2º	60	0,2	20,3	2,99	
ACEITO					

Fonte – Própria

7.2 PRODUÇÃO DO CONCRETO

O método de dosagem utilizado foi o IPT/EPUSP (HELENE E TERZIAN, 1992). Foram produzidos os traços:

- básico, pobre e rico com areia natural e aditivo polifuncional;
- básico, pobre e rico com areia artificial e aditivo polifuncional.

7.2.1 Traço básico

A mistura em betoneira do traço básico foi realizada na proporção 1:5 (cimento: agregados secos totais, em massa), em que 5 = areia + pedra.

Na Tabela 7.13 são apresentados os dados referentes ao traço básico produzido com areia natural.

Tabela 7.13 – Traço básico produzido com areia natural.

Teor de argamassa (α)	0,57
Traço (cimento : areia : pedra)	1:2,42:2,58
Relação água/cimento	0,57
Abatimento (cm)	9,00
Massa de brita (kg)	22,54
Massa de areia (kg)	21,54
Massa de cimento (kg)	8,90
Massa de água (kg)	6,25
Massa de aditivo (g)	71,20

Fonte – Própria

Na Tabela 7.14 são apresentados os dados referentes ao traço básico produzido com areia artificial.

Tabela 7.14 – Traço básico produzido com areia artificial.

Teor de argamassa (α)	0,57
Traço (cimento : areia : pedra)	1:2,42:2,58
Relação água/cimento	0,59
Abatimento (cm)	10,00
Massa de brita (kg)	22,54
Massa de areia (kg)	21,54
Massa de cimento (kg)	8,90
Massa de água (kg)	5,26
Massa de aditivo (g)	71,20

Fonte – Própria

7.2.2 Traço pobre

A mistura em betoneira do traço pobre foi realizada na proporção 1:6,5 (cimento : agregados secos totais, em massa), em que 6,5 = areia + pedra.

Na Tabela 7.15 Tabela 7.15 são apresentados os dados referentes ao traço pobre produzido com areia natural.

Tabela 7.15 – Traço pobre produzido com areia natural.

Teor de argamassa (α)	0,57
Traço (cimento : areia : pedra)	1:3,28:3,22
Relação água/cimento	0,79
Abatimento (cm)	10,00
Massa de brita (kg)	23,02
Massa de areia (kg)	23,45
Massa de cimento (kg)	7,15
Massa de água (kg)	5,66
Massa de aditivo (g)	57,20

Fonte – Própria

Na Tabela 7.16 são apresentados os dados referentes ao traço pobre produzido com areia artificial.

Tabela 7.16 – Traço pobre produzido com areia artificial.

Teor de argamassa (α)	0,57
Traço (cimento : areia : pedra)	1:3,28:3,22
Relação água/cimento	0,58
Abatimento (cm)	10,00
Massa de brita (kg)	23,02
Massa de areia (kg)	23,45
Massa de cimento (kg)	7,15
Massa de água (kg)	4,12
Massa de aditivo (g)	57,20

Fonte – Própria

7.2.3 Traço rico

A mistura em betoneira do traço rico foi realizada na proporção 1:3,5 (cimento : agregados secos totais, em massa), em que 3,5 = areia + pedra.

Na Tabela 7.17 são apresentados os dados referentes ao traço rico produzido com areia natural.

Tabela 7.17 – Traço rico produzido com areia natural.

Teor de argamassa (α)	0,57
Traço (cimento : areia : pedra)	1:1,56:1,94
Relação água/cimento	0,42
Abatimento (cm)	10,00
Massa de brita (kg)	23,00
Massa de areia (kg)	18,50
Massa de cimento (kg)	11,86
Massa de água (kg)	4,92
Massa de aditivo (g)	94,88

Fonte – Própria

Na Tabela 7.18 são apresentados os dados referentes ao traço rico produzido com areia artificial.

Tabela 7.18 – Traço rico produzido com areia artificial.

Teor de argamassa (α)	0,57
Traço (cimento : areia : pedra)	1:1,56:1,94
Relação água/cimento	0,43
Abatimento (cm)	9,50
Massa de brita (kg)	23,00
Massa de areia (kg)	18,50
Massa de cimento (kg)	11,86
Massa de água (kg)	5,10
Massa de aditivo (g)	94,88

Fonte – Própria

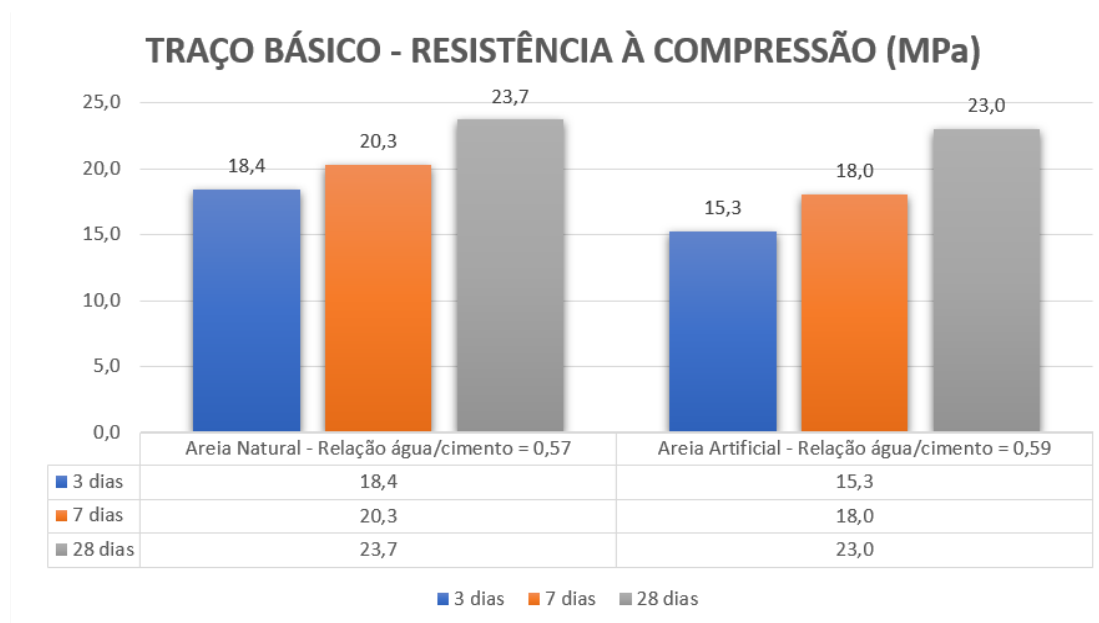
7.3 ENSAIOS DE CONCRETO

Foram realizados os ensaios de compressão e determinação do módulo de elasticidade.

7.3.1 Traço básico

Na Figura 7.5 são apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova do traço básico: produzidos com areia natural e produzidos com areia artificial, com uso de aditivo polifuncional. Foram moldados doze corpos de prova de cada traço. Estes foram ensaiados com idades de 3, 7 e 28 dias, sendo quatro corpos de prova de cada idade.

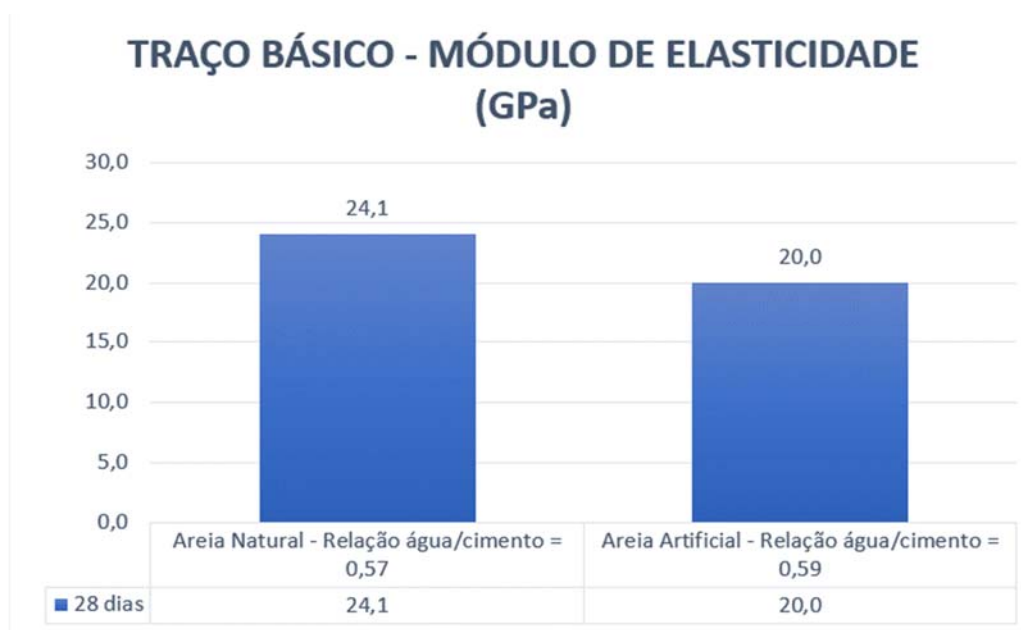
Figura 7.5 – Resistência à compressão do traço básico.



Fonte – Própria

Na Figura 7.6 são apresentados os resultados do módulo de elasticidade dos corpos de prova do traço básico: produzidos com areia natural e produzidos com areia artificial, com uso de aditivo polifuncional. Estes foram ensaiados com idade de 28 dias, sendo quatro corpos de prova para essa idade.

Figura 7.6 – Módulo de elasticidade do traço básico.

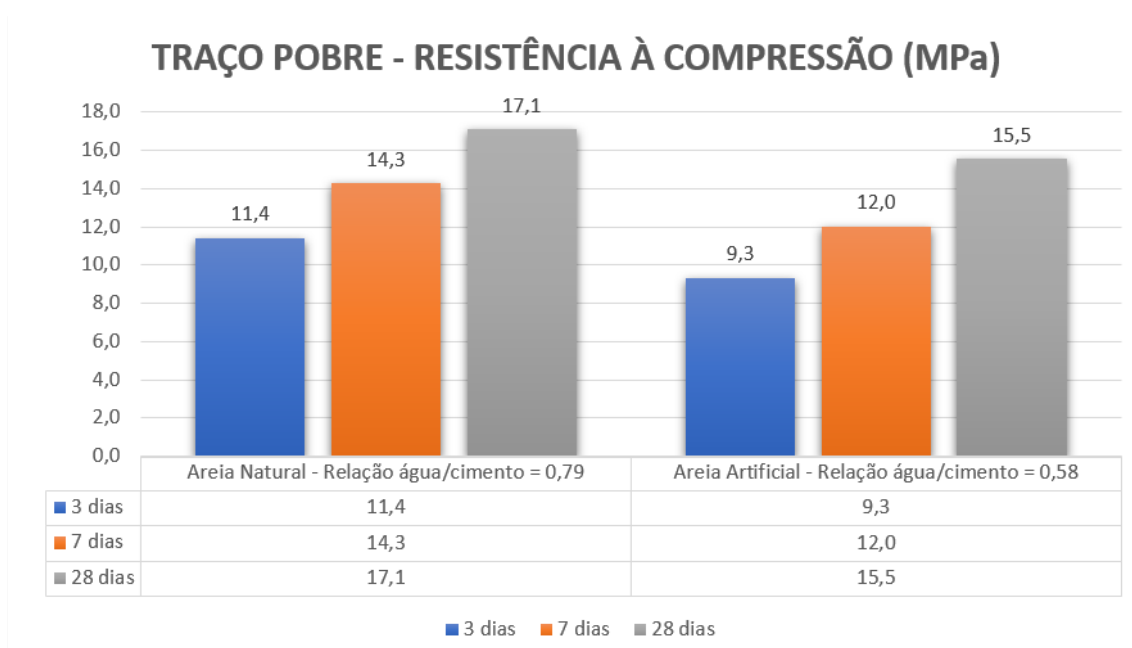


Fonte – Própria

7.3.2 Traço pobre

Na Figura 7.7 são apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova do traço pobre: produzidos com areia natural e produzidos com areia artificial, com uso de aditivo polifuncional. Foram moldados doze corpos de prova de cada traço. Estes foram ensaiados com idades de 3, 7 e 28 dias, sendo quatro corpos de prova de cada idade.

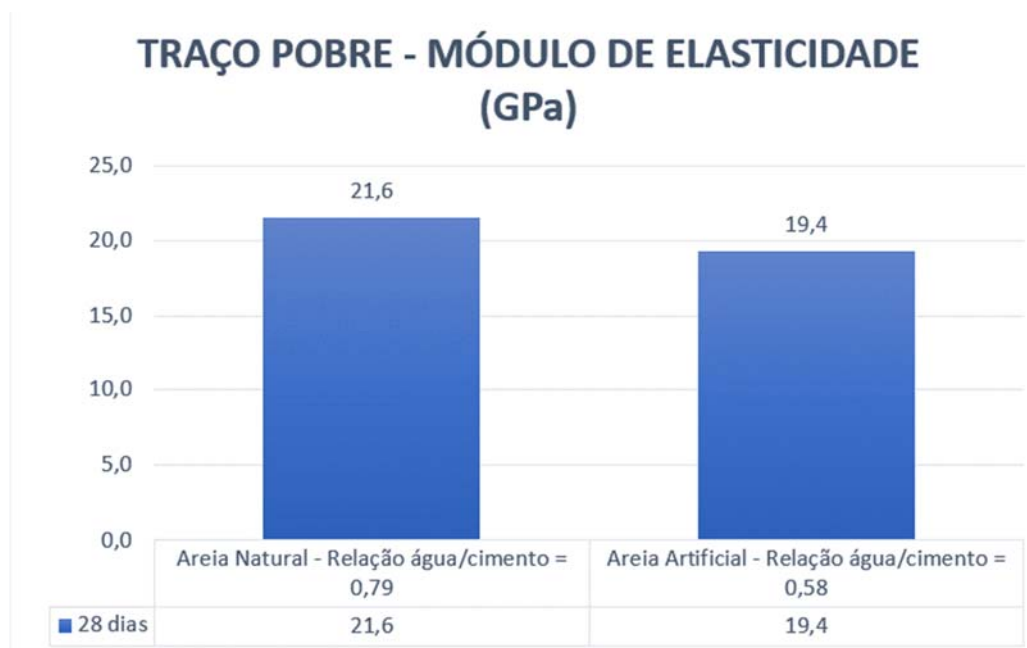
Figura 7.7 – Resistência à compressão do traço pobre.



Fonte – Própria

Na Figura 7.8 são apresentados os resultados do módulo de elasticidade dos corpos de prova do traço pobre: produzidos com areia natural e produzidos com areia artificial, com uso de aditivo polifuncional. Estes foram ensaiados com idade de 28 dias, sendo quatro corpos de prova para essa idade.

Figura 7.8 – Módulo de elasticidade do traço pobre.

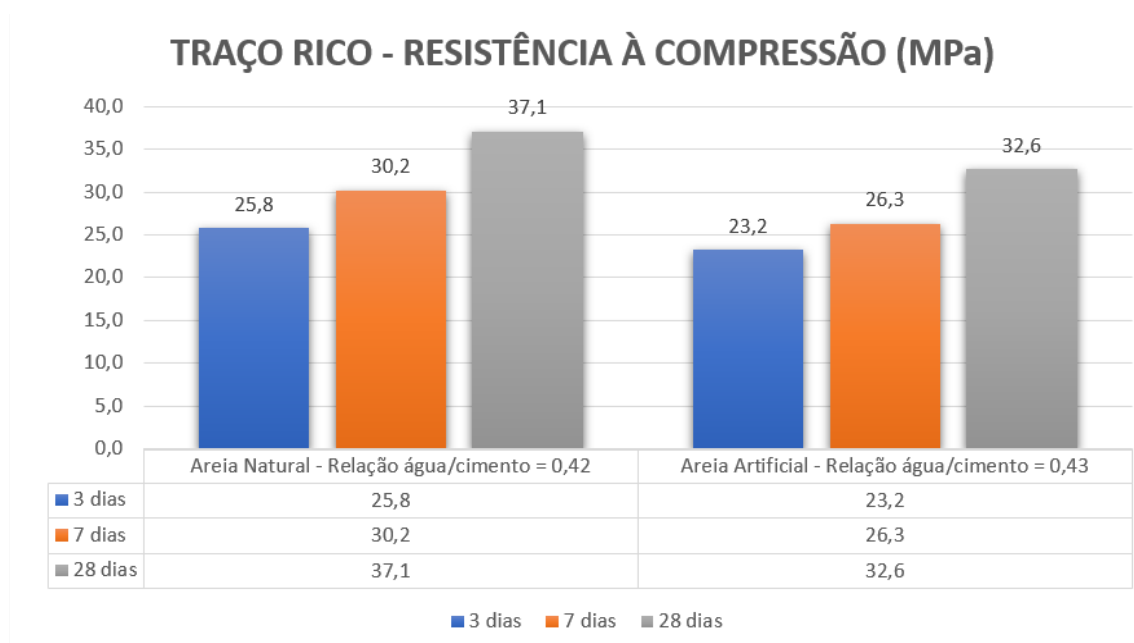


Fonte – Própria

7.3.3 Traço rico

Na Figura 7.9 são apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova do traço rico: produzidos com areia natural e produzidos com areia artificial, com uso de aditivo polifuncional. Foram moldados doze corpos de prova de cada traço. Estes foram ensaiados com idades de 3, 7 e 28 dias, sendo quatro corpos de prova de cada idade. Porém durante a realização do ensaio de módulo de elasticidade do traço utilizando areia artificial, que é realizado para a idade de 28 dias, o equipamento do laboratório que realizava as leituras parou de funcionar e desta forma seguimos com a ruptura de três corpos de prova para o traço com areia artificial e um dos corpos de prova foi armazenado para tentarmos romper em outro laboratório e foi rompido com 30 dias.

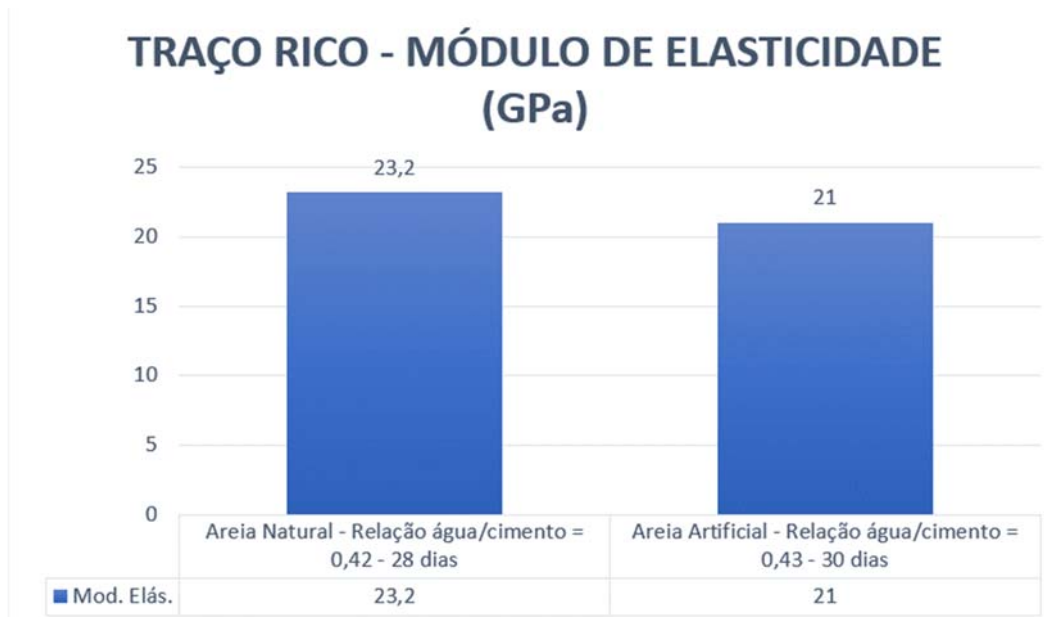
Figura 7.9 – Resistência à compressão do traço rico.



Fonte – Própria

Na Figura 7.10 são apresentados os resultados do módulo de elasticidade dos corpos de prova do traço rico: produzidos com areia natural e produzidos com areia artificial, com uso de aditivo polifuncional. Para o traço de com areia natural os corpos de prova foram ensaiados com idade de 28 dias, sendo quatro corpos de prova, para o traço com areia artificial apenas foi ensaiado um corpo de prova com 30 dias devido ao não funcionamento do equipamento do laboratório do IFG Campus Goiânia, com o auxílio do orientador e da equipe do laboratório do IFG Campus Goiânia conseguimos contato com o laboratorista do IFG Campus Aparecida de Goiânia para ensaiar os corpos de prova.

Figura 7.10 – Módulo de elasticidade do traço rico



Fonte – Própria

8. DISCUSSÕES

Nesta seção são analisados os resultados apresentados. Trata-se da resistência à compressão do cimento, tempos de início e fim de pega, relação água/cimento e ensaios do concreto no estado endurecido.

8.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CIMENTO

As resistências à compressão obtidas nos ensaios dos corpos de prova produzidos com o cimento Portland CP II-F-32 nas idades de 3, 7 e 28 dias são apresentados na Figura 7.4. Na Tabela 3.3 estão determinados os valores mínimos de resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias de idade.

O resultado alcançado no ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova aos 3 dias foi de 22,80 Mpa. Portanto, comprovou-se um acréscimo de 128% em relação ao mínimo determinado para estas idade e classe de cimento.

O resultado obtido no ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova aos 7 dias foi de 27,70 Mpa. Assim, notou-se um acréscimo de 38,5% em relação ao mínimo determinado para estas idade e classe de cimento.

O resultado atingido no ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova aos 28 dias foi de 31,80 Mpa. Logo, verificou-se um decréscimo de 0,6% em relação ao mínimo determinado para esta idade e classe de cimento. O resultado ficou abaixo das determinações normativa, que define que a resistência mínima que deve ser atingida é 32 Mpa.

8.2 TEMPOS DE INÍCIO E FIM DE PEGA

Conforme estabelecido na Tabela 3.2, o tempo de início de pega para o cimento CP II-F-32 deve ser igual ou superior a 60 minutos. Observou-se o início de pega da pasta de cimento em estudo após 234 minutos, período que atende à determinação da NBR 16697 (ABNT, 2018).

De acordo com o apresentado na Tabela 3.4, o tempo de fim de pega para o cimento CP II-F-32 não deve exceder 600 minutos. Verificou-se o fim de pega

da pasta de cimento em estudo após 293 minutos, período que atende à determinação da NBR 16697 (ABNT, 2018).

8.3 RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO

Percebeu-se que a opção de estabelecer o abatimento dos concretos produzidos em 10 ± 1 cm influenciou as relações a/c dos traços básico e pobre. O uso do aditivo polifuncional, com características de impermeabilizante e plastificante, também influencia diretamente na relação a/c.

Na Tabela 8.1 são apresentados os valores de abatimento obtidos nos ensaios e as relações a/c dos traços básico, pobre e rico utilizando areia natural ou areia artificial.

Tabela 8.1 – Abatimento e relação água/cimento (a/c) dos concretos.

	Traço básico		Traço pobre		Traço rico	
	Abatimento (cm)	Relação a/c	Abatimento (cm)	Relação a/c	Abatimento (cm)	Relação a/c
Areia Natural	9,00	0,57	10,00	0,79	10,00	0,42
Areia Artificial	10,00	0,59	10,00	0,58	9,50	0,43

Fonte – Própria

Na Tabela 8.2 estão representadas as massas de água utilizadas na produção dos traços básico, pobre e rico utilizando areia natural ou areia artificial.

Tabela 8.2 – Consumo de água dos concretos.

	Traço básico	Traço pobre	Traço rico
Areia Natural	6,25 kg	5,66 kg	4,92 kg
Areia Artificial	5,26 kg	4,12 kg	5,10 kg

Fonte – Própria

Conforme os dados apresentados na Tabela 8.1 e na Tabela 8.2, verificou-se um aumento de 18,82% no consumo de água no traço básico produzido com areia natural em comparação ao produzido com areia artificial. Ainda assim, o abatimento foi 1 cm menor no traço básico executado com areia natural.

Percebeu-se também que no traço pobre o consumo de água foi 37,37% superior quando produzido com areia natural em comparação ao produzido com areia artificial obtendo-se, nos dois casos, o mesmo valor de abatimento.

Notou-se que no traço rico houve uma redução de 3,65% no consumo de água quando produzido com areia natural em comparação ao produzido com areia artificial. Neste caso, o abatimento obtido foi 0,5 cm menor utilizando-se areia artificial.

Os resultados verificados nos traços produzidos apontam que a areia natural utilizada demanda maior massa de água em comparação à areia artificial, para um mesmo valor de abatimento.

8.4 ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Nesta seção são analisados os resultados apresentados. Trata-se da resistência à compressão e módulo de elasticidade.

8.4.1 Resistência à compressão

Na Tabela 8.3 são apresentados os valores de resistência à compressão para cada traço estudado e a respectiva variação percentual. Obteve-se a variação percentual entre os resultados tomando a resistência à compressão com areia artificial como referência.

Tabela 8.3 – Variação da resistência à compressão.

Traço	Idade (dias)	Resistência à compressão (Mpa)		Variação (%)
		Areia natural	Areia artificial	
Pobre	3	11,39	9,32	22,26
	7	14,26	12,03	18,51
	28	17,10	15,54	10,03
Básico	3	18,43	15,25	20,83
	7	20,30	18,05	12,49
	28	23,72	22,99	3,17
Rico	3	25,79	23,23	11,01
	7	30,21	26,26	15,02
	28	37,07	32,64	13,56

Fonte – Própria

Nos resultados apresentados na Tabela 8.3, nota-se que para todos os traços o concreto com agregado natural apresentou maior resistência à compressão em comparação ao concreto produzindo com agregado artificial. Entretanto, percebe-se a tendência de redução desta diferença à medida que se aumenta o teor de cimento

Pode-se notar também que a variação para os traços básico e pobre é maior para as idades iniciais e tende a reduzir conforme a idade chegando a uma variação de apenas 3% para o traço básico aos 28 dias. Já para o traço rico ocorre o inverso, tendo uma variação menor para a idade inicial, porém apresenta um pico para a idade intermediária e volta a reduzir para idade final.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) determina que o concreto para uso estrutural com armadura passiva deve ser da classe C20 ou superior. Para uso estrutural com armadura ativa deve ser da classe C25 ou superior. Os números indicadores das classes representam a resistência característica à compressão especificada em MPa para a idade de 28 dias.

Observa-se então na Tabela 8.3, que o concreto do traço pobre produzido com areia natural apresentou resultados de 17,10 MPa aos 28 dias e o concreto do traço pobre produzido com areia artificial apresentou resultados de 15,54 MPa aos 28 dias. Por isso, só podem ser usados em obras provisórias ou sem finalidade estrutural.

Verificou-se também que o concreto do traço básico produzido com areia natural apresentou resultados de 23,72 MPa aos 28 dias e o concreto do traço básico produzido com areia artificial apresentou resultados de 22,99 MPa aos 28 dias. Por isso, só podem ser usados em estruturas com armadura passiva considerando os materiais utilizados, deve ser observado também os resultados de resistência à compressão do cimento que não ter alcançou a resistência mínima.

Analizou-se também que o concreto do traço rico produzido com areia natural apresentou resultados de 37,07 MPa aos 28 dias e o concreto do traço rico produzido com areia artificial apresentou resultados de 32,64 MPa aos 28 dias. Por isso, podem ser usados em estruturas com armaduras passiva e ativa.

Os resultados indicam que para valores de abatimento de 100 ± 10 mm o concreto produzido com areia natural apresenta melhores resultados em comparação ao produzido com areia artificial para todos os traços, tendo uma tendência de aproximação dos resultados conforme o aumento do teor de cimento.

Diante dos resultados apresentados, pode-se afirmar que ocorreu um aumento contínuo das resistências à compressão em todos os concretos analisados.

Pode-se observar na Tabela 8.1 que para o traço pobre a relação a/c para o concreto produzido com areia natural é maior em relação ao produzido com areia artificial, contudo o mesmo apresenta resistência superior. Já para os traços básico e rico o concreto produzindo com areia natural apresenta uma relação a/c inferior, embora sejam muito próximas, em relação ao concreto produzindo com areia artificial, sendo esses os que apresentaram maior resistência a compressão. Sugere-se deduzir que houve uma correlação dos resultados superiores de resistência à compressão com areia artificial nos traços básico e rico com as menores relações a/c.

8.4.2 Módulo de elasticidade

Na Tabela 8.4 estão representados os valores do módulo de elasticidade dos traços ensaiados e a respectiva variação percentual. Calculou-se a variação

percentual entre os resultados adotando o módulo de elasticidade com areia artificial como referência.

Tabela 8.4 – Variação do módulo de elasticidade.

Traço	Módulo de elasticidade (Gpa)		Variação (%)
	Areia natural	Areia artificial	
Pobre	21,56	19,35	11,43
Básico	24,10	20,03	20,32
Rico	23,23	20,97	10,75

Fonte – Própria

A partir dos dados apresentados, observa-se que para todos os traços o concreto produzido com areia natural apresentou módulo de elasticidade superior em comparação ao concreto produzido com areia artificial.

No traço básico foi onde houve maior variação entre o concreto produzido com areia natural e artificial, havendo 20,32% de aumento do módulo de elasticidade para o concreto produzido com areia natural em relação ao concreto produzido com areia artificial.

Para os traços pobre e rico as variações foram próximas, sendo de 11,42% e 10,75% respectivamente, isso para o concreto produzido com areia natural em relação ao concreto produzido com areia artificial.

Contudo, o resultado do ensaio do concreto produzido com areia natural aos 28 dias do traço básico apresentou valor incompatível com as expectativas, não favorecendo a análise assertiva.

Ainda assim, supõe-se que o fator determinante para variação observada do módulo de elasticidade foi o teor de cimento e o uso de aditivo que influencia diretamente na relação a/c. Nota-se que, com o aumento do teor de cimento do traço, há uma melhora do módulo de elasticidade do concreto com areia natural em comparação ao concreto com areia natural.

9. CONCLUSÃO

A partir dos resultados e discussões constatou-se que a utilização da areia artificial, proveniente de britagem de rocha de granito, conferiu aos concretos produzidos propriedades mecânicas satisfatórias em relação aos produzidos com areia natural, pois mesmo não tendo atingido os mesmos resultados, obtiveram resultados aproximados.

Os valores de resistência à compressão obtidos nos ensaios aos 28 dias, expressos em MPa, do concreto produzido com areia natural foram: 17,10 (traço pobre); 23,72 (traço básico) e 37,07 (traço rico). Utilizando-se areia artificial os valores foram: 15,54 (traço pobre); 22,99 (traço básico) e 32,64 (traço rico).

Constatou-se que a resistência à compressão do concreto, produzido com areia natural em relação ao produzido com areia artificial, foi 10,03% e 13,56% maior, respectivamente, nos traços pobre e rico aos 28 dias. Contudo, no traço básico este resultado foi apenas 3,9% maior. Assim, verificou-se uma tendência de melhores resultados de resistência à compressão com a areia natural associada à menores teores de cimento e à maior relação água/cimento.

Percebeu-se que o aumento da proporção de cimento no concreto, bem como as relações água/cimento iguais favoreceram à utilização de areia artificial pois o resultado obtido com areia artificial se aproxima do resultado obtido com areia natural.

Porém, deve-se considerar que o aumento do teor de cimento no concreto eleva o custo de produção e aumenta o calor de hidratação. Então, sugere-se que utilizar aditivos no concreto para aumentar a resistência à compressão seja uma alternativa melhor em comparação ao aumento do teor de cimento, apontando que na prática evita-se a produção do traço rico.

Portanto, conclui-se que o concreto produzido com areia natural apresentou melhores resultados de resistência à compressão em relação ao produzido com areia artificial para o abatimento determinado, observadas as características dos materiais utilizados.

Os valores do módulo de elasticidade obtidos nos ensaios aos 28 dias, expressos em GPa, do concreto produzido com areia natural foram: 21,56 (traço

pobre); 24,10 (traço básico) e 23,23 (traço rico). Utilizando-se areia artificial os valores foram: 19,35 (traço pobre); 20,03 (traço básico) e 20,97 (traço rico).

Verificou-se que os resultados, obtidos aos 28 dias, do módulo de elasticidade do concreto produzido com areia natural em comparação ao produzido com areia artificial, foram 11,43% e 10,75% maiores, respectivamente, nos traços pobre e rico. Entretanto, no traço básico este resultado foi 20,32% maior, destacando-se dos outros pois para o concreto produzido com areia artificial houve uma crescente gradual enquanto para o produzido com areia natural houve para o traço básico um valor incompatível com as expectativas.

Percebeu-se uma tendência de singularidade no comportamento dos valores de resistência à compressão e módulo de elasticidade face às variações do teor de cimento e relações água/cimento. Analogamente, conclui-se que o concreto produzido com areia natural apresentou melhores resultados de módulo de elasticidade em relação ao produzido com areia artificial.

Os resultados para os ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto podem ter sido influenciados pelas resistências inferiores aos parâmetros normativos obtidas para o cimento no ensaio de resistência à compressão do cimento.

10. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando que na presente pesquisa foram analisados concretos convencionais com uso de aditivo polifuncional e duas qualidades de agregados miúdos, propõe-se como sugestão de trabalho futuro, realizar estudo sobre concretos produzidos com utilização de aditivo polifuncional e com agregados graúdos de diversos tipos de rochas.

Também se propõem como sugestão de trabalho futuro, realizar estudo sobre concretos produzidos com utilização de aditivo polifuncional com uso de agregados miúdos naturais e artificiais, utilizando a mistura desses agregados em diversas proporções.

11. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM (ABESC). Manual Técnico. São Paulo, 2000, Abesc.

ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. Manual de Agregados para Construção Civil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.

AMBROZEWICZ, P. H. L. Materiais de construção. São Paulo: Pini, 2012.

ANDOLFATO, R. P. Controle tecnológico básico do concreto. Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural – UNESP. Ilha Solteira, 2002. (Apostila)

ARAÚJO, R.C.L.; RODRIGUES, L.H.V.; FREITAS, E.G.A. Materiais de construção. Rio de Janeiro, 2000. (Apostila)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Guia básico de utilização do cimento portland. 7.ed. São Paulo, 2002. (BT-106) Disponível em: http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf. Acesso em: 28 de fevereiro 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó: Determinação da massa Específica. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 26: Agregados: Amostragem. Rio de Janeiro, 2009

_____. NBR NM 43: Cimento Portland: Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR NM 46: Agregados: Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 49: Agregado miúdo: Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 51: Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Ángeles”. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 53: Agregado Graúdo: Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR NM 65: Cimento Portland: Determinação do Tempo de Pega. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NBR NM 248: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 1763. Aditivos par concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1992.

_____. NBR 1763. Aditivos par concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 5738. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 5739. Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, 2014.

_____. NBR 6458. Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 6467. Agregados: Determinação do inchamento de agregado miúdo. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 7211. Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 7212. Execução de concreto dosado em central - Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 7215: Cimento Portland: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR 7215: Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019.

_____. NBR 7389: Agregados - Análise petrográfica de agregado para concreto. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 8522. Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 9776: Agregados: Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 9935. Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 11579: Cimento Portland: Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200). Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 16605. Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica, 2017.

_____. NBR 16606. Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2018.

_____. NBR 16607. Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 2018.

_____. NBR 16697. Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

BASILIO, E. S. Agregados para concreto ET 41, ABCP 1995.

BASTOS, S. R. B. Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial à areia fina para a produção de concretos convencionais. 2002. 118 f. Dissertação: Mestrado em Engenharia Civil (Construção Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BAUER, L.A. F. Materiais de Construção. 5ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 1994.

BAUER, L.A. F. Materiais de construção. Volume 1, 5. ed. revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BAUER, L. A. F. Materiais de Construção. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BUTTLER, A. M. Concreto com agregado graúdos reciclados de concreto – Influência da Idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

CALDAS, R. S. Relação entre características da rocha e comportamento na britagem para produção de agregado. Projeto de Graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

CORRÊA, A. C. A.; Estudo do desempenho dos aditivos plastificantes e polifuncionais em concretos de cimento Portland tipo CP III-40. Niterói, 2010. 142p, Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói.

COSTA, B. L. C. Quantificação das emissões de CO₂ geradas na produção de materiais utilizados na construção civil. Rio de Janeiro, 2012, 101p. (Dissertação de Mestrado apresentado ao programa de 64 Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE- Instituto Aberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia- UFRJ, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil).

FARIAS M. M.; PALMEIRA, E. M., Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência para Construção Civil, IBRACON 2007, v.01, p.481 – 503, Ed. Ipsilon, São Paulo, 2007.

FONSECA, G. C. Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil [manuscrito] : uma abordagem epistêmica. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

FRAZÃO, E. B. Tecnologia para produção e utilização de agregados: Agregados para Construção Civil no Brasil. 2007.

FRANCZAK, C. C. M.; PREVEDELLO, F. Z. R. Estudo comparativo entre dois tipos de aditivos para um mesmo traço em concreto auto-adensável. 2012. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

GRUPO HOBI. Disponível em: <http://www.grupohobi.com.br/mineracao/>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2021.

HONÓRIO, P. Cimento. Notas de aula, 2015. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/PriscilaHonorio/cimento-50439262/10>. Acesso em: 28 fevereiro 2021.

ITIM, A; EZZIANE, K; KADRI, E. Compressive strength and shrinkage of mortar containing various amounts of mineral additions. *Construction and Building Materials*, v. 25, n.8 p. 3603-3609, 2011.

LOPES, L. F. Materiais de construção civil I. Editora e Distribuidora Educacional S.A. Londrina, Paraná, 2017.

MATTANA, A. J. Análise hierárquica para escolha entre agregado natural e areia de britagem de rocha para confecção de argamassas de revestimento. *Ambient. constr.*, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 63-79, Dec. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212012000400006&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 16 de fevereiro de 2021.

MALHOTRA, V. M.; MEHTA, P. K. Pozzolaníc and Cementitious Materials. Amsterdam: Gordon and Breach Publishers, 1996.

MELO, F. V. de; BROWN, G. G.; CONSTANTINO, R.; LOUZADA, J. N. C.; LUIZÃO, F. J.; MORAIS, J. W. de; ZANETTI, R. A. A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como biondicadores. *Boletim Informativo da SBCS*, jan/abr., 2009.

MENOSSEI, R. T. Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto. 2004. vi, 97 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2004. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/90740>>. Acessado em 16 de fevereiro de 2021.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tecnologia do concreto. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto / A. M. Neville; tradução: Ruy Alberto Cremonini. – 5. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2016.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. 2º ed. São Paulo: Pini, 1997.

Mapa da Obra – Norma comentada: ABNT NBR 5738:2015 Versão corrigida:2016. Disponível em:

<<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/norma-comentada-abntnabr-5738/>>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2021.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: Pini, 1994.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: Microestrutura Propriedades e Materiais. 3ª ed. São Paulo: Pini, 2008.

MORAES, J. S. L. J. Aditivos para concreto. Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva. Itapeva, 2014.

NAVES, É. N. R., BARROS, T. A. A. Areia de britagem na construção civil: viabilidade do uso como agregado miúdo no concreto de cimento Portland – Goiás, 2019.

PATTON, W. J. Materiais de Construção para Engenharia Civil. 1ª edição. São Paulo: EPU, 1978.

PACELLI DE ANDRADE, W. P. Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades. São Paulo. Editora Pini, 1997.

PETRUCCI, E. G. R. Concreto de cimento portland / Eládio G. R. Petrucci. – 10. ed. atualizada e ver. / por Vladimir Antônio Paulon. – Porto Alegre – Rio de Janeiro: Globo, 1983.

PETRUCCI, E. G. R., Concreto de cimento Portland / Eladio G. R. Petrucci. – 13. ed. rev. por Vladimir Antonio Paulon – São Paulo: Globo, 1998.

PINHEIRO, L. M. Fundamentos do concreto e projeto de edifícios. São Carlos: EESC-USP, 2007.

POWERS, M. C. Uma nova escala de circularidade para partículas sedimentares – Journal of Sedimentary Petrology. Vol. 23.

SAMPAIO, João Alves, Usinas de beneficiamento de minérios do Brasil – Centro de Tecnologia Mineral – Rio de Janeiro, 2001.

RIBEIRO, C. C. Materiais de construção civil. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG; Escola de Engenharia da UFMG, 2002.

RODRIGUES, L. H. C. Análise da incorporação do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais tratado termicamente na composição do cimento Portland. Dissertação de Pós-graduação. Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo

ROHDEN, A. B. Efeitos da resistência e da dimensão máxima característica do agregado graúdo nas propriedades mecânicas do concreto de alto desempenho. Dissertação de Pós-graduação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

RIXOM, R., MAILVAGANAM, N. Chemical Admixtures for Concrete. 3rd ed. Taylor & Francis, 2001.

SHEN, W.; CAO, L.; LI, Q.; ZHANG, W.; WANG, G. Quantifying CO₂ emissions from China's cement industry. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 50, p. 1004-1012, 2015.

SILVA, D. A.; MELO, C. E. L. Processo de britagem e sua influência nas características físicas do agregado graúdo para concreto. Paranoá: cadernos de

arquitetura e urbanismo, n. 26, p. 36-47, 28 maio 2020. DOI: <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n26.2020.03>. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/29295>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2021.

SILVA, D. DE A.; GEYER, L. B. Análise e classificação da forma do agregado graúdo britado para concreto. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 05, n. 12, p. 18–28, 2018.

SOUZA, J. S. Mecânica dos solos / NT Editora. -- Brasília: 2015.

TAVAKOLI D., TARIGHAT A.; Molecular dynamics study on the mechanical properties of Portland cement clinker phases. Computational Materials Science. v.119, p.65–73. 2016.

TAYLOR, H. F. W. Cement Chemistry. 2. ed. London: Thomas Telford, 1998. 459p.

TIECHER, F. Comparação de Concreto Dosado com Areia Natural e Artificial. IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto - 45º Congresso Brasileiro do Concreto. Vitória – Espírito Santo, 2003.

UNIP – Universidade Paulista. Agregados. Disponível em: <https://adm.online.unip.br/img_ead_dp/66302.pdf>. Acessado em 16 de fevereiro de 2021.

VALVERDE, F.M. Agregados para construção civil. Balanço Mineral Brasileiro 2001. Associação Nacional da Entidade de Produtores de Agregados para Construção – ANEPAC. São Paulo, 2001.

VIACELLI, L. Estudo da viabilidade da utilização do agregado miúdo britado em concreto convencional. Pato Branco, 2012. (Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do

Curso Superior de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR).

WAINWRIGHT P.J.; AIDER H. The influence of cement source and slag additions on the bleeding of concrete Cement and Concrete Research, V. 25, October 1995, pp.1445-1456.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). Cement Technology Roadmap 2009: Carbon emissions reductions up to 2050. 2009. Disponível em: <<http://www.wbcsd.org>> Acesso em: 02 de fevereiro 2021.

XIMENES, N.C.A. Análise em grupo sobre estratégia competitiva em uma mineradora de agregados para construção civil do estado de Pernambuco. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, 2010.