



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE ENGENHARIAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ALISSON RUAN SILVA DANTAS

**INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO
GRAÚDO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO
CONFECCIONADO COM BRITA CALCÁRIA E ADITIVO PLASTIFICANTE**

MOSSORÓ – RN

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE ENGENHARIAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ALISSON RUAN SILVA DANTAS

**INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO
GRAÚDO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO
CONFECCIONADO COM BRITA CALCÁRIA E ADITIVO PLASTIFICANTE**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Centro de Engenharias, como parte
do requisito para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Alves da Silva
Júnior

MOSSORÓ – RN

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

D192i DANTAS, ALISSON RUAN SILVA.
INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO
AGREGADO GRAÚDO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO
CONCRETO CONFECCIONADO COM BRITA CALCÁRIA E
ADITIVO PLASTIFICANTE / ALISSON RUAN SILVA
DANTAS. - 2019.
86 f. : il.

Orientador: Francisco Alves da Silva Júnior.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2019.

1. Brita Calcária. 2. Concrteo. 3. Aditivo
plastificante. I. Silva Júnior, Francisco Alves
da , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE ENGENHARIAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ALISSON RUAN SILVA DANTAS

**INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO
GRAÚDO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO
CONFECCIONADO COM BRITA CALCÁRIA E ADITIVO PLASTIFICANTE**

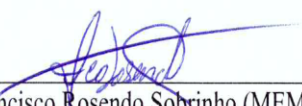
Trabalho Final de Graduação apresentada a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Centro de Engenharias, como parte do
requisito para obtenção do título de Engenheiro Civil.

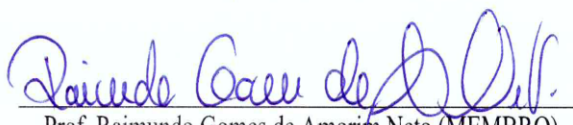
Orientador: Prof. Dr. Francisco Alves da Silva Júnior

Aprovada em: 21 / 03 / 2019

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Francisco Alves da Silva Júnior (PRESIDENTE)


Prof. Francisco Rosendo Sobrinho (MEMBRO)


Prof. Raimundo Gomes de Amorim Neto (MEMBRO)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Alberto Nogueira e Elizabeth Maria, eternos e incondicionais incentivadores dos meus sonhos, as pessoas que sempre estão ao meu lado em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre presente na minha vida, não me deixando perder o foco, por permitir sempre a busca pelos meus objetivos e por ter trilhado o caminho que percorri até hoje. A Ele toda a minha vida e trabalho.

A minha mãe, Elizabeth Maria, por ter me dado amor, por acreditar em mim, por me incentivar nessa caminhada rumo à minha formação profissional e por todos os dias me proporcionar o conforto necessário para que pudesse ter uma boa vida acadêmica.

Ao meu pai, Alberto Nogueira, por sempre me incentivar, por acreditar em meu potencial, por lutar todos os dias e comer muitos leões por nós, pelo amor, pela atenção e pelos direcionamentos dados na minha caminhada.

A Cecília Souza, a qual me incentivou e me apoiou, desde os primeiros dias da minha vida acadêmica. Não consigo pensar mais minha vida sem a sua presença, sem o seu amor, carinho e dedicação. Te amo.

A minha família, por terem me apoiado em minhas decisões, sei o quanto me ajudaram e me ajuda até hoje a ter o caráter e chegar até aqui, por ter me dado amor e carinho.

A todos os meus amigos que fiz na UFERSA, pelos incentivos, apoio, dias longos e cansativos de estudo. Levarei vocês pra sempre.

A meu orientador, Prof. Dr. Francisco Alves da Silva Júnior, que contribuiu significativamente para o desenvolvimento deste trabalho, mesmo com todas as suas responsabilidades apresentou-se disponível para instruir sempre, demonstrando ser um excelente profissional.

*“Não se preocupe, não tenha pressa. O que é seu,
encontrará um caminho para chegar até você.
Deus não demora, ele capricha!”*

Caio Fernando Abreu

RESUMO

Os estados brasileiros do Rio Grande do Norte e do Ceará possuem elevada disponibilidade de rocha calcária, o que despertou o interesse da indústria de fabricação de cimentos. Porém, nem toda parte desta rocha tem características apropriadas para fabricação do produto, tornando-se ociosa e/ou resíduo dentro da linha de produção. Por isso, a escolha da brita calcária para composição de traços de concreto, parte da necessidade desse setor produtivo em agregar valor e também, diminuir os custos da mistura de concreto, utilizando-a como agregado graúdo, tendo características de resistência e trabalhabilidade adequadas. Desta forma, o presente trabalho visa a avaliação da resistência de concretos, variando a composição granulométrica da brita calcária, formulando o concreto com o uso de aditivo plastificante para melhorar sua trabalhabilidade e consequente resistência. Para isso, avaliou-se a influência da composição granulométrica em cada traço, usando como referência o traço produzido com a brita calcária sem beneficiamento de granulometria e traços com brita calcária com granulometria dentro dos limites ótimos especificados pela ABNT 7211/2009. A partir disto, buscou-se comparar a resistência à compressão de traços produzidos com a brita em duas diferentes faixas granulométricas. A pesquisa apontou que a resistência a compressão diminuiu, mostrando que a mudança na distribuição granulométrica influenciou negativamente nesse parâmetro.

Palavras-chave: Brita calcária. Concreto. Aditivo plastificante.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Depósito da areia e da brita utilizada	36
Figura 2 – Secagem do material até atingir a umidade higroscópica	37
Figura 3 – Secagem da areia até atingir a umidade higroscópica.....	39
Figura 4 – Betoneira utilizada para a produção dos traços em estudo	40
Figura 5 – Ensaio de abatimento do tronco de cone	41
Figura 6 – Corpos de prova alocados em superfície plana	42
Figura 7 – Aparelho de retificação dos corpos de prova	43
Figura 8 – Prensa hidráulica automatizada utilizada	44
Figura 9 – Prensa hidráulica manual utilizada.....	44
Figura 10 - Curva granulométrica do agregado miúdo utilizado.....	47
Figura 11 - Curva granulométrica da brita calcária natural	49
Figura 12 - Curva granulométrica da brita calcária beneficiada	51
Figura 13 – Resultados do ensaio de abatimento de tronco de cone	55
Figura 14 – Comparativo da resistência à compressão aos 7 dias, em MPa	58
Figura 15 - Comparativo da resistência à compressão aos 28 dias, em MPa.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de cimento que são normatizados no Brasil	18
Tabela 2 - Influência do tipo de cimento empregado no concreto	19
Tabela 3 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo	20
Tabela 4 - Classificação do agregado graúdo quanto à dimensão	21
Tabela 5 – Classificação da consistência de acordo com o abatimento do concreto.....	27
Tabela 6 - Correlação entre classe de agressividade, relação água/cimento e qualidade do concreto	29
Tabela 7 – Quantidade de corpos de prova confeccionados para cada traço	35
Tabela 8 – Traço referência e nomenclaturas dos traços bases	35
Tabela 9 – Ensaio para caracterização do Agregado Graúdo e suas respectivas normas	38
Tabela 10 – Ensaio para caracterização do Agregado Miúdo e suas respectivas normas	39
Tabela 11 - Resultados dos ensaios de massa específica, massa unitária e teor de material pulverulento	45
Tabela 12 – Composição Granulométrica do Agregado miúdo	46
Tabela 13 – Composição Granulométrica do Agregado Graúdo	48
Tabela 14 – Comparação entre os limites de composição granulométrica da norma e os obtidos - ABNT NBR 7211/2009.....	49
Tabela 15 – Composição granulométrica do agregado graúdo utilizado na moldagem dos traços A1, A2, A3, A4 e A5.	50
Tabela 16 – Quantidade de grãos utilizados para realização do ensaio de índice de forma.....	51
Tabela 17 – Resultado do ensaio de massa unitária do agregado graúdo.....	52
Tabela 18 - Resultado dos ensaios de massa específica e absorção NBR 9937.....	53
Tabela 19 – Resultado do ensaio de teor de finos do agregado graúdo.....	54
Tabela 20 – Resultados do ensaio de abatimento de tronco de cone.....	55
Tabela 21 – Classificação da consistência de acordo com Andolfato (2002)	56
Tabela 22 – Resistência à compressão dos traços de concreto estudados aos 7 dias, em MPa	58
Tabela 23 - Resistência à compressão dos traços de concreto estudados aos 28 dias, em MPa	59

LISTA DE SIGLAS

American Society for Testing and Materials – ASTM

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT

Associação brasileira de cimento Portland – ABCP

Cimento Portland – CP

Resistência característica do concreto – f_{ck}

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN

Megapascal - MPa

Normas Brasileiras Regulamentadoras – NBR

Norma Mercosul – NM

Módulo de Finura -MF

Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA

Traço referencial - TR

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivos específicos	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND	16
2.2 COMPONENTES	17
2.2.1 Cimento Portland	17
2.2.2 Agregados.....	19
2.2.3 Brita Calcária.....	21
2.2.4 Água de amassamento	22
2.2.5 Aditivos	22
2.3 CONCRETO COM BRITA CALCÁRIA.....	24
2.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO	25
2.4.1 Concreto no estado fresco.....	25
2.4.2 Concreto no estado endurecido.....	31
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1 MATERIAIS.....	33
3.2 MÉTODOS	34
3.2.1 Planejamento Dos Experimentos	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1 AGREGADO MIÚDO	45
4.1.1 Massa específica e unitária	45
4.1.2 Distribuição granulométrica	45
4.2 AGREGADO GRAÚDO.....	47
4.2.1 Análise granulométrica.....	47

4.2.2 Índice de forma pelo método do paquímetro	51
4.2.3 Massa Unitária do agregado solto	52
4.2.4 Massa específica e absorção de água.....	52
4.2.5 Teor de material pulverulento	53
4.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO.....	54
4.3.1 Trabalhabilidade	54
4.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	57
4.4.1 Ensaio de compressão axial	57
5. CONCLUSÕES.....	61
5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	62
REFERÊNCIAS	63
ANEXOS	68

1. INTRODUÇÃO

O concreto de cimento Portland é o material de construção fabricado mais utilizado no mundo (METHA; MONTEIRO, 2008). A importância do concreto em nossas vidas é muito grande (MAMLOUK; ZANIEWSKY, 2011). Somado a isto e considerando que o concreto é composto por brita proveniente da quebra de rochas naturais (agregado graúdo), existe a necessidade de se estabelecer critérios que possibilitem o uso racional destes recursos naturais.

De acordo com Ferreira (2003), os agregados para construção civil possuem parcelas de insumos minerais mais consumidos e, conseqüentemente, os mais significativos em termos de quantidades produzidas no mundo. Segundo Hermeto Bueno (2003), as britas são agregados obtidos de pedras graníticas e calcárias, normalmente utilizados para a confecção de concretos. Segundo Quaresma (2009), o calcário não utilizado para a fabricação de cimento pode ser destinado para a confecção de agregado.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração, nos últimos 20 anos, grandes empresas que trabalham com extração e beneficiamento de calcário demonstraram interesse em instalar unidades industriais no Brasil, localizadas no Oeste do Rio Grande do Norte e no estado do Ceará, pois estas regiões têm essas rochas aflorando e com abundância suficiente para exploração. O Departamento Nacional de Produção Mineral do Brasil afirma que o Rio Grande do Norte tem a maior reserva de calcário de boa qualidade do Brasil. No entanto, nem todo o calcário disponível serve para a fabricação de cimentos, sendo classificado como material de segundo plano. Com isso, a fabricação de concretos com brita calcária para elementos estruturais ou não, pode ser uma alternativa para uso deste resíduo, conhecendo previamente o comportamento e características desses materiais.

Para analisar as propriedades do concreto, se faz necessária a realização de ensaios laboratoriais para caracterização dos materiais que compõe o concreto e a análise do concreto propriamente dito. Os ensaios mais frequentes para conhecimento das propriedades do concreto são os de compressão e tração.

No intuito de melhorar a resistência e trabalhabilidade do concreto, bem como outras propriedades, podem ser utilizados os chamados aditivos. Para Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil (ABESC, 2007), os aditivos são produtos químicos adicionados à mistura de concreto para melhorar algumas de suas propriedades. No Brasil, os principais aditivos utilizados são: retardadores, incorporadores de ar, plastificantes,

superplastificantes, (e seus derivados, como plastificantes aceleradores e plastificantes retardadores) e aceleradores. Dentre esses aditivos os mais utilizados no Brasil são os plastificantes. Eles possuem a funcionalidade de reduzir a quantidade de água necessária e melhorar a trabalhabilidade da mistura, facilitando o seu acabamento e adensamento.

Uma das justificativas do não uso da brita calcária como agregado graúdo está relacionada à alta absorção de água por parte da brita calcária e o elevado teor de finos, o que acarreta o aumento da relação água/cimento na dosagem do concreto, provocando queda da resistência. Com o intuito de melhorar as propriedades deste agregado graúdo na mistura de concreto pode ser feito o uso de aditivos plastificantes. Outra solução pertinente é beneficiar a brita calcária de modo a reduzir o teor de finos da sua composição, além da variação da sua granulometria de modo a otimizar a resistência requerida.

1.1 OBJETIVOS

O estudo objetiva comparar as propriedades mecânicas do concreto, observando a possível viabilidade técnica para a produção deste produzido com brita calcária com granulometria dentro dos limites ótimos de acordo com as determinações da ABNT NBR 7211/2009 - Agregados para concreto – Especificação, utilizando aditivo plastificante.

1.1.1 Objetivos específicos

- Caracterizar o agregado graúdo proveniente de rochas calcárias;
- Verificar se o agregado obedece às especificações de acordo com a ABNT NBR 7211/2009;
- Avaliar a consistência do concreto através da adição de aditivo plastificante na composição dos traços;
- Verificar se o beneficiamento da brita calcária dentro dos limites granulométricos especificados pelos limites ótimos estabelecidos pela ABNT 7211/2009 proporciona melhoria na resistência do concreto.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, são contextualizados fundamentos teóricos para que se possam compreender os fenômenos que embasam a metodologia, as análises sobre os ensaios e a conclusão deste trabalho.

2.1 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

O concreto é o material mais largamente utilizado em construção (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

O concreto de cimento Portland é o material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, metacaulim ou sílica ativa), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água). (ABNT NBR 12655, 2015, página 9).

Para obter um concreto adequado para a sua utilização deve-se analisar as propriedades dos materiais que o compõe, a proporção correta, assim como, a execução da mistura e o controle do concreto durante o estado fresco e endurecido (AMBROZEWICZ, 2012). Em algumas situações, são incorporados produtos químicos ou outros componentes, como microssílica, polímeros, etc. As adições têm a finalidade de melhorar algumas propriedades, como aumentar a trabalhabilidade e a resistência e retardar a velocidade das reações químicas que ocorrem no concreto.

Esquemáticamente pode-se indicar que a pasta é o cimento misturado com a água, a argamassa é a pasta misturada com a areia (agregado miúdo) e o concreto é a argamassa misturada com a pedra ou brita (agregado graúdo), também chamado concreto simples (concreto sem armaduras) (BASTOS, 2006).

Segundo Andolfato (2002), o concreto fresco tem consistência plástica, podendo ser moldado, na forma e dimensões desejadas, bastando lançar a massa fresca no interior de formas de madeira ou outro material adequado, já o concreto endurecido tem elevada resistência à compressão, mas baixa resistência à tração.

A enorme utilização desse material, considerado um dos mais nobres da construção civil, justifica-se pela sua versatilidade, durabilidade e resistência (BARDELLA, 2005). Inúmeras vantagens de sua utilização é listada por Carvalho e Figueiredo Filho (2016): apresenta boa resistência mecânica, tem boa trabalhabilidade (se adapta a várias formas),

permite obter estruturas monolíticas, as técnicas de execução são razoavelmente dominadas em todo o país, é durável desde que seja bem executado, apresenta durabilidade e resistência ao fogo superiores a outros materiais como madeira e aço, possibilita a pré moldagem e é resistente a choques e vibrações.

2.2 COMPONENTES

Segundo Silva Júnior 2014, a seleção de materiais e suas proporcionalidades são muito importantes na produção de concretos adequados e que reportem características satisfatórias em determinados elementos. Estas proporcionalidades entre os seus componentes (dosagem) causam diversas modificações nas características do concreto tanto no seu estado fresco, como no endurecido.

Ainda de acordo com Silva Junior 2014, a dosagem é especificada na seguinte ordem de materiais: Aglomerante (Cimento): Agregado miúdo: Agregado graúdo: Relação água/cimento. Sendo que estes podem ser mencionados em massa, massa e volume (onde o cimento e a relação em massa e os agregados em volume), ou ainda todos em volume.

2.2.1 Cimento Portland

O engenheiro John Smeaton, por volta de 1756, procurava um aglomerante que endurecesse mesmo em presença de água, de modo a facilitar o trabalho de reconstrução do farol de Edystone, na Inglaterra. Em suas tentativas, verificou que uma mistura calcinada de calcário e argila se tornava, depois de seca, tão resistente quanto as pedras utilizadas nas construções. Entretanto, foi o pedreiro Joseph Aspdin, em 1824, quem patenteou a descoberta, batizando-a de cimento Portland, numa referência à Portlandstone, tipo de pedra arenosa muito usada em construções na região de Portland, Inglaterra. No pedido de patente constava que o calcário era moído com argila, em meio úmido, até se transformar em pó. A água era evaporada pela exposição ao sol ou por irradiação de calor através de cano com vapor. Os blocos da mistura seca eram calcinados em fornos e depois moídos bem finos (TAYLOR *apud* SILVA, 1967).

Os cimentos foram originariamente fabricados segundo as especificações dos consumidores que encomendavam, das fábricas, o produto com certas características convenientes a um trabalho. A partir de 1904, quando as primeiras especificações da ASTM foram introduzidas, a indústria limitou-se a produzir alguns tipos de cimento. No Brasil são produzidos vários tipos de cimento, oficialmente normalizados (BAUER, 2015).

Com textura em pó que endurece ao adicionar água, e uma vez endurecido não volta ao seu estado inicial, o cimento possui diferentes tipos de acordo com as adições que o compõe, exemplificado na Tabela 1 (PEREIRA, 2016). Os vários tipos de cimento normalizados são designados pela sigla e pela classe de resistência. As siglas correspondem ao prefixo CP acrescido dos algarismos romanos de I a V, conforme o tipo do cimento, sendo as classes indicadas pelos números 25, 32 e 40. As classes de resistência apontam os valores mínimos de resistência à compressão garantidos pelo fabricante, após 28 dias de cura (ABCP, 2002).

Tabela 1 - Tipos de cimento que são normatizados no Brasil

	SIGLA	NOMENCLATURA
1	CP I	Cimento Portland Comum
	CP I -	Cimento Portland Comum com
2	S	adição
	CP II -	Cimento Portland composto com escória de alto-forno
	E	
	CP II -	Cimento Portland composto com pozolana
	Z CP II	Cimento Portland composto com filer
3	- F	Cimento Portland de alto-forno
	CP III	
4	CP IV	Cimento Portland pozolanico
5	CP V -	Cimento Portland Alta Resistencia Inicial
	ARI	
6	CPB	Cimento Portland Branco
7	CP - RS	Cimento Portland Resistente a Sulfatos
8	CP BC	Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação

Fonte: Pereira (2016) adaptado da ABCP, 2016.

As composições básicas de cada tipo de cimento definem as propriedades finais de seu uso como aglomerante quando reage com água formulando a pasta cimentícia e influi diretamente nas propriedades do concreto, de acordo com a Tabela 2 (PEREIRA, 2016).

Tabela 2 - Influência do tipo de cimento empregado no concreto

Propriedade	TIPO DE CIMENTO							
	CP I	CP II	CP III	CP IV	CP V - ARI	CP RS	CPB	CP BC
Resistência à compressão	Padrão	Padrão	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Maior nos primeiros dias	Padrão	Padrão	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura
Calor de hidratação	Padrão	Padrão	Menor	Menor	Maior	Padrão	Padrão	Padrão
Impermeabilidade	Padrão	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão
Resistência aos agentes agressivos	Padrão	Padrão	Maior	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior
Durabilidade	Padrão	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Maior	Padrão	Maior

Fonte: Pereira (2016) adaptado da ABCP, 2016.

2.2.2 Agregados

Agregado é material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto (ABNT NBR 9935/2011). Agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos. O termo “agregado” é de uso generalizado na tecnologia do concreto; nos outros ramos da construção é conhecido, conforme cada caso, pelo nome específico: filer, pedra britada, bica-corrida, rachão, etc (BAUER, 2015).

A maioria dos agregados encontra-se disponível na natureza, como é o caso das areias e seixos. Alguns 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 (HAGEMANN, 2011).

De acordo com a ABNT NBR 7211, os agregados podem ser classificados de acordo com suas dimensões granulométricas em:

- Agregado miúdo: é aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248/2003, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.
- Agregado graúdo: 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 248/2003, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Para ser indicado para uso em concreto, a especificação granulométrica do agregado miúdo deve atender, de acordo com a ABNT NBR 7211, os limites de distribuição tabulados na Tabela 3:

Tabela 3 - Limites da 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 utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona
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 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	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.

Quanto aos agregados miúdos, destaca-se a areia como principal componente para traços de concreto. Com massa específica normal ($1000 \text{ kg/m}^3 < \gamma < 2000 \text{ kg/m}^3$) e granulometria entre 0,15 e 4,8 mm, estas se subdividem em finas (F), médias (M) e grossas (G), que influenciam na trabalhabilidade e custo dos concretos. Areias muito grossas produzem mistura de concreto áspero e não trabalháveis, e areias muito finas aumentam o consumo de água e são antieconômicas. A especificação de limitações granulométricas nos agregados que não têm uma grande deficiência ou excesso de qualquer tamanho de partícula (granulometria contínua) influenciam na obtenção de

misturas de concreto mais trabalháveis e econômicas (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A Tabela 4 apresenta a classificação dos agregados graúdos conforme apresentado na NBR 7211/2009 e na NBR 7225/1993 (ABNT, 1982), bem como a classificação comercial comumente utilizada pelas pedreiras.

Tabela 4 - Classificação do agregado graúdo quanto à dimensão

Pedra britada numerada	(NBR-7211	/NBR-7225)	Comercial	
	Tamanho nominal			
	Malha da peneira (mm)			
Númer o	Mínima	Máxima	Mínim a	Máxim a
brita 0			4,8	9,5
brita 1	4,8	12,5	9,5	19,0
brita 2	12,5	25,0	19,0	38,0
brita 3	25,0	50,0	38,0	50,0
brita 4	50,0	76,0	50,0	76,0
brita 5	76,0	100,0		
Obs: para efeito de dosagem pode-se utilizar dmax = 25mm para uma mistura de brita1+brita2			> 76mm	pedra de mão

Fonte: Rodrigues, 2016.

Ainda mais importante do que o tipo de brita a ser utilizada, será a distribuição granulométrica adotada para confecção do concreto e posterior análise.

2.2.3 Brita Calcária

Segundo Silva Júnior (2014), a brita calcária ou pedra britada é classificada como agregado graúdo e de origem natural, pois constituem o produto de desagregação mecânica de rochas naturais pela ação do homem.

De acordo com Quaresma (2009), a princípio qualquer rocha pode ser britada e usada na construção civil. No entanto, o uso em concreto, em pavimento asfáltico, base e sub-base, lastro de ferrovia e na produção de peças de cimento, algumas características indesejáveis podem impedir seu uso. As rochas mais usadas na produção de brita são granito, basalto, diabásio, calcário e dolomito. Onde no Brasil, aproximadamente 85% da brita produzida é proveniente de granito/gnaiss, 10% de calcário/dolomito e 5% de

basalto/diabásio.

Já o calcário usado como agregado (brita e rochas de outras dimensões) chega a representar a maior parte das rochas usadas como agregado na construção civil (69%) nos Estados Unidos da América (EUA) (U.S. Geological Survey - USGS, 2015).

Para Quaresma (2009), parte das rochas calcárias para produção de cimento e cal que foram rejeitadas por não atenderem às especificações requeridas para esses usos podem ser beneficiadas e destinadas para o mercado de agregado.

2.2.4 Água de amassamento

Bauer (2011), afirma que um requisito muito importante para a água de amassamento do concreto é que ela seja isenta de impurezas, pois as impurezas podem prejudicar as reações dos componentes integrantes do concreto, já que a água está diretamente relacionada a reação que ocorre com o concreto para que haja o endurecimento. Para Fusco (2008), de acordo com a NBR 6118/2014, presumem-se satisfatórias as águas potáveis. Já no caso de águas não-potáveis é necessário controlar o conteúdo de matéria orgânica, os resíduos sólidos existentes, bem como os teores de sulfatos e de cloretos.

A ABNT NBR 15900/2009 prescreve os requisitos da água para amassamento do concreto, ela estabelece a partir da origem da água, se a mesma necessita ser analisada. Os ensaios realizados são importantes para verificar se as características da água estão dentro do padrão da norma. Por tanto, a água não deve conter substâncias que alterem as propriedades físicas e químicas do concreto, como a resistência, hidratação do cimento, alteração na pega ou coloração, uma vez que a água tem uma representação significativa em relação a soma dos demais materiais do concreto. A água proveniente do abastecimento público é aprova pela norma para o uso no concreto, sem a necessidade de ser ensaiada.

2.2.5 Aditivos

Aditivos, nada mais são do que, produtos adicionados a mistura do concreto, em pequenos percentuais, que possuem a finalidade de melhorar certas características do mesmo, que podem ser: aumento de capacidade de carga, acréscimo de resistência aos esforços mecânicos, melhoria da trabalhabilidade, diminuição da higroscopicidade, diminuição da retração, aumento da durabilidade, possibilidade de retirada dos

cimbramentos e fôrmas em curto prazo – comparados com os método convencional, diminuição do calor de hidratação, retardamento ou aceleração de pega, entre outros (RIPPER, 1995).

Já de acordo com a ABNT NBR 11768/2011 – Aditivos para concreto de cimento Portland, são considerados aditivos os produtos que adicionados em pequenas quantidades a concretos de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades.

Os aditivos especificados pela ABNT NBR 11768/2011 têm a seguinte designação normalizada:

- *Aditivo redutor de água/plastificante (PR, PA, PN)*: aditivo que, sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permite reduzir o conteúdo de água de um concreto; ou que, sem alterar a quantidade de água, modifica a consistência do concreto, aumentando o abatimento e a fluidez; ou, ainda, aditivo que produz esses dois efeitos simultaneamente. Não apresenta função secundária sobre a pega.
- *Aditivo de alta redução de água/superplastificante tipo I (SP-I R, SP-I A, SP-I N)*: aditivo que, sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permite elevada redução no conteúdo de água de um concreto; ou que, sem alterar a quantidade de água, aumenta consideravelmente o abatimento e a fluidez do concreto; ou, ainda, aditivo que produz esses dois efeitos simultaneamente. Não apresenta função secundária sobre a pega.
- *Aditivo de alta redução de água/superplastificante tipo II (SP-II R, SP-II A, SP-II N)*: aditivo que, sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permite uma elevadíssima redução no conteúdo de água de um concreto; ou que, sem alterar a quantidade de água, aumenta a redução consideravelmente o abatimento e a fluidez do concreto; ou, ainda, aditivo que produz esses dois efeitos simultaneamente. Não apresenta função secundária sobre a pega.
- *Aditivo incorporador de ar (IA)*: aditivo que permite incorporar, durante o amassamento do concreto, uma quantidade controlada de pequenas bolhas de ar, uniformemente distribuídas, que permanecem no estado endurecido.
- *Aditivo acelerador de pega (AP)*: aditivo que diminui o tempo de transição do estado plástico para o estado endurecido do concreto.
- *Aditivo acelerador de resistência (AR)*: aditivo que aumenta a taxa de desenvolvimento das resistências iniciais do concreto, com ou sem modificação do

tempo de pega.

- *Aditivo retardador de pega (RP)*: aditivo que aumenta o tempo de transição do estado plástico para o estado endurecido do concreto.

2.3 CONCRETO COM BRITA CALCÁRIA

Ao falar de britas para concreto tem-se um vasto conhecimento das britas de origem graníticas, devido às propriedades que estas conferem aos traços em resistência.

Com origem rochosa básica de granitos e calcários, essas britas comerciais são escolhidas em acordo a dimensão da estrutura a ser concretada bem como a densidade de armadura da seção transversal. Sendo assim, a brita 01 (dimensões de 9,5 a 19 mm) é a mais utilizada, devido ao seu tamanho apropriado a qualquer tipo de peça (SILVA JÚNIOR, 2014).

Os calcários são rochas sedimentares compostas, basicamente, por calcita (CaCO_3) e é uma rocha sedimentar originada de material precipitado por agentes químicos e orgânicos. O cálcio é um dos elementos mais comuns, estimado em 3-4% da crosta terrestre, todavia, quando constituinte dos calcários, tem origem nas rochas ígneas (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008).

As impurezas dos calcários variam muito em tipo e quantidade, entretanto merecem ser examinadas, sob o aspecto econômico, para se verificar se elas afetam a utilidade da rocha. Estas impurezas acompanham o processo de deposição do CaCO_3 ou ocorreram em estágios posteriores à deposição. Tais impurezas podem ser fatores limitantes ao aproveitamento econômico dos calcários, essencialmente, quando utilizados para fins nobres (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008).

Segundo Silva Junior (2014), a brita calcária é muito semelhante a granítica quando se refere as massas específica e unitária, com distribuição granulométrica dentro dos limites estabelecidos para brita do tipo 01, contudo, a brita calcária possui maior quantidade de finos. Ainda, segundo o mesmo autor, a brita calcária possui a capacidade de absorção de água muito mais elevada do que a brita granítica, levando a inferir que concretos produzidos com essa brita deverão possuir relação água/cimento e/ou concentração de plastificantes superiores ao mesmo traço confeccionado com brita granítica a fim de corrigir a trabalhabilidade do compósito com maior lubrificação entre as partículas no estado fresco.

Os concretos que utilizam de brita calcária, necessitam de uma adição elevada no percentual de aditivo plastificante para se obter uma trabalhabilidade adequada utilizando-se para isso, um fator água/cimento não muito elevado para peças estruturais (FONSECA, 2015). Concretos com britas calcárias de baixa resistência, que não atendem a NBR 7211/2009, e plastificantes em excesso, tendem a resultar em resistências abaixo de 20MPa, devido as propriedades quebradiças que estas possuem aliado a alta absorção de água e alta concentração de plastificante que retarda o tempo de pega (PEREIRA, 2016).

2.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO

2.4.1 Concreto no estado fresco

A NBR 12655/2015 define concreto fresco como o material que está completamente misturado e que ainda se encontra em estado plástico, capaz de ser adensado por um método escolhido.

A primeira fase do concreto é o estado fresco, que compreende um período de tempo muito curto, geralmente na ordem de 1h a 5h. Essa etapa é considerada como o intervalo de tempo necessário para que o concreto possa ser misturado, transportado, lançado e adensado (HELENE; ANDRADE, 2010).

O concreto no estado fresco é constituído por envolvimento da pasta de cimento aos agregados e espaços cheios de ar. As propriedades desejáveis segundo Sobral (2000) são as que asseguram a obtenção de mistura de fácil transporte, lançamento e adensamento, sem segregação, e que, depois do endurecimento, se apresenta homogêneo, com o mínimo de vazios.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), o concreto devido sua ampla utilização decorrente de combinações positivas e influências tecnológicas e econômicas, destacando-se a fluidez inicial do concreto e os efeitos de cura a partir das reações de hidratação do cimento. O estudo das características do concreto no estado fresco influencia nas resistências finais, realizadas com custos relativamente reduzidos.

Entre as propriedades do concreto no estado fresco, as principais são: a consistência, a trabalhabilidade e a homogeneidade.

2.4.1.1 Consistência

A primeira propriedade do concreto fresco que deve ser considerada é a sua consistência. A consistência do concreto pode ser definida como a maior ou menor capacidade do concreto de se deformar sob a ação da sua própria massa. É uma das características básicas do concreto que determina a sua aptidão para ser manuseado (HELENE; ANDRADE, 2010).

A consistência está relacionada ao processo de transporte, lançamento e adensamento do concreto, variando, em geral, com a quantidade de água empregada, granulometria dos agregados e pela presença de produtos químicos específicos (CARVALHO E FILHO, 2016).

A consistência é definida, por Neville e Brooks 2013, como a resistência do formato de uma substância ou a facilidade com que ela flui. No caso do concreto, a consistência pode ser tomada como uma medida do grau de umidade, uma vez que dentro de certos limites, concretos com maior dosagem de água são mais trabalháveis que concretos secos. No entanto, concretos com consistências iguais podem apresentar trabalhabilidades variáveis.

No Brasil, ao considerar apenas os fatores intrínsecos ao concreto, adota-se como parâmetro principal a consistência do concreto no estado fresco. Essa consistência pode ser obtida a partir da retirada de amostra representativa conforme ABNT NBR NM 33:1998 e ensaio em conformidade com ABNT NBR NM 67/1998 Concreto. Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Método de Ensaio, equivalente à ASTM C143/C143M-10a Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

O equipamento para o ensaio de abatimento do tronco de cone é realmente muito simples, consiste em moldar e adensar o concreto em um cone e ao retirar o molde o concreto sem suporte abate-se pelo seu próprio peso, a diminuição da altura do tronco de cone é chamada de abatimento do concreto. Esse ensaio não é adequado para medir a consistência de concretos com grande fluidez ou muitos secos, sua principal função é fornecer um método simples e adequado para controlar a uniformidade da produção de concreto de diferentes betonadas (NEVILLE; BROOKS, 2013).

O autor Andolfato (2002), classifica as consistências do concreto segundo seu abatimento pelo ensaio de tronco de cone, variando de seca a fluida, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação da consistência de acordo com o abatimento do concreto

Abatimento (cm)	Classificação
0 - 2	Seca
2 - 5	Firme
5 - 12	Média
12 - 18	Mole
18 - 25	Fluida

Fonte: Andolfato (2002)

2.4.1.2 Trabalhabilidade

A quantidade de trabalho interno útil necessário para obtenção do adensamento total é definida rigorosamente como trabalhabilidade. O trabalho interno útil é uma propriedade física inerente do concreto, sendo considerado a energia exigida para vencer o atrito interno entre as partículas individuais do concreto. Contudo, na prática é necessária uma energia maior, adicional, que possa vencer o atrito superficial entre o concreto e as formas ou as armaduras, por tanto na prática é difícil quantificar a trabalhabilidade (NEVILLE; BROOKS, 2013).

A trabalhabilidade do concreto fresco determina a facilidade com a qual um concreto pode ser manipulado sem segregação nociva, ou seja, a propriedade que determina o esforço necessário para manusear uma quantidade de concreto fresco com uma perda mínima de homogeneidade. A expressão manusear inclui as operações das primeiras idades como lançamento, adensamento e acabamento. De modo geral, um concreto que seja difícil de lançar e adensar não só aumentará o custo de manipulação como também terá resistência, durabilidade e aparência, afetadas. De forma similar, misturas com elevada segregação e exsudação, são mais difíceis e mais caras na hora do acabamento e fornecerão concreto menos durável. Portanto trabalhabilidade pode afetar o custo quanto a qualidade do concreto (METHA; MONTEIRO, 1994).

A trabalhabilidade é influenciada por fatores inerentes ao concreto, como a sua relação água/materiais secos, tipo e consumo de cimento traço; teor de argamassa, tamanho, textura e forma dos agregados. Além dos fatores inerentes ao concreto, existem os fatores externos de influência, como as condições de transporte e lançamento (HELENE; ANDRADE, 2010).

Especificando mais os condicionantes, eles podem vir definidos pelos projetos

arquitetônicos e estruturais, como características da fôrma, esbelteza dos elementos estruturais, taxa e distribuição das armaduras, detalhes geométricos, e ainda pelos equipamentos a serem utilizados (bomba, carrinhos, giricas, caçambas), pela concretagem (projeção, submerso, autoadensável), pelas necessidades de acabamento (sarrafeado, polido, lixado, aparente, desempenado) e pelas condições ambientais (temperatura, insolação, ventos, umidade relativa). Por tanto, todos os concretos requerem uma trabalhabilidade adequada para uma determinada situação específica (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

Um concreto de slump alto é em geral fácil de ser lançado e adensado, sendo considerado, portanto, de trabalhabilidade adequada para uso em concreto estrutural. O concreto de trabalhabilidade está ligado basicamente com a maneira de efetuar o adensamento. Existem atualmente os concretos chamados auto adensáveis, que são quase fluidos e não necessitam, em princípio, de nenhuma energia de adensamento para formar um conjunto homogêneo e com características de resistência requeridas. A trabalhabilidade de um concreto, assim como sua consistência, depende da granulometria dos materiais sólidos, da incorporação de aditivos e, principalmente, do fator água/cimento (CARVALHO E FILHO, 2016).

O efeito da relação água/cimento na qualidade do concreto está claro na ABNT NBR 6118: 2014, em seu item 7.4.2, recomendando que se não houver dados obtidos de ensaios que comprovem o desempenho da estrutura quanto a sua durabilidade, deve-se considerar uma relação água/cimento que respeite determinados valores máximos, estipulados em função da agressividade do meio em que está inserida a estrutura e da resistência específica para o concreto, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Correlação entre classe de agressividade, relação água/cimento e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		$\frac{C}{I}$	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$

Agressividade: I - Fraca, II - Moderada (Urbana), III - Forte, IV - Muito Forte

CA - Corresponde a componentes estruturais de concreto armado.

CP - Corresponde a componentes estruturais de concreto protendido.

Fonte: Adaptado da NBR 6118/2014.

2.4.1.3 Coesão

A coesão é o grau de facilidade em executar adensamento, acabamento, e desempenhar visualmente boa resistência à segregação. Quando a coesão é deficiente na escolha da dosagem, esta pode ser melhorada por meio do aumento da proporção areia/agregado graúdo, ou substituição de parte da areia grossa por areia fina, e ainda pelo o aumento da relação pasta/agregados para uma mesma relação água/cimento (METHA; MONTEIRO,1994).

Um concreto coeso é aquele que se apresenta homogêneo e sem segregação de materiais da mistura em todas as fases de sua utilização, desde a produção e transporte, até lançamento e adensamento. É uma propriedade ligada a trabalhabilidade e a falta de coesão pode acarretar na desagregação do concreto no estado fresco, alterando sua composição física e sua homogeneidade (Realmix, 2006).

2.4.1.4 Homogeneidade

A distribuição dos agregados graúdos dentro da massa de concreto é um fator importante de interferência na qualidade do concreto. Quanto mais uniformes, ou regulares, os agregados graúdos se apresentarem dispersos na massa, estando totalmente envolvidos pela pasta, sem apresentar desagregação, melhor será a qualidade do concreto, principalmente quanto a permeabilidade e a proteção proporcionada a armadura, além de resultar em um melhor acabamento, sem a necessidade de reparos posteriores. Uma homogeneidade

satisfatória pode ser conseguida com uma boa mistura do concreto durante a etapa de fabricação, um cuidadoso transporte, um lançamento adequado nas formas e um adensamento sem segregação (CARVALHO E FILHO, 2016).

2.4.1.4 Segregação e exsudação

Segundo Ambrozewicz (2012), a segregação é ocorrência da separação dos materiais constituídos no concreto, ou seja, é a tendência dos agregados graúdos se separarem da argamassa do concreto, deixando-o heterogêneo, resultando em um concreto não adequado para o adensamento e consequentemente com baixa resistência mecânica.

Para Romano *et al.* (2011), a desestabilização da homogeneidade pode ocorrer em diferentes situações, como por exemplo:

- Pasta, separação da água dos finos, conhecido como exsudação;
- Argamassa, separação do agregado miúdo da pasta; e,
- Concreto, separação do agregado graúdo da argamassa.

De acordo com Ambrozewicz (2012), alguns fatores externos podem gerar segregação, como por exemplo;

- Transporte longo com carrinho de mão, jérica, entre outros;
- Perda da argamassa no transporte, por exemplo, bica de madeira;
- Vibração excessiva;
- Lançamento do concreto com pá sobre fôrmas com altura superior a 2,5 m.

De acordo com Neville (1997), uma das formas de segregação do concreto é a exsudação, originada da separação da água do concreto, onde parte da mistura sobe para a superfície do concreto recém aplicado. O seu resultado é proveniente da incapacidade de os constituintes sólidos da mistura reter a água presente, sendo ela o componente de menor massa específica.

Segundo Buest (2006), essa propriedade pode influenciar na qualidade do concreto quando a água exsudada é remisturada ao concreto durante a fase de acabamento, onde a sua superfície pode formar uma camada pouco resistente e pouco aderente, podendo até ocorrer fissuração por retração plástica caso a água evapore da superfície do concreto.

2.4.2 Concreto no estado endurecido

A segunda fase das propriedades do concreto é denominada de estado de endurecido, inicia-se com a hidratação do cimento e por consequência o endurecimento do concreto, estendendo-se por toda a vida da estrutura (HELENE; ANDRADE, 2010).

A partir da pega, o concreto é considerado um material sólido que está em constante evolução. Além disso, é um material sensível as alterações das condições ambientais, físicas, químicas e mecânicas, e a sua idade e história condicionam em proporção importante as suas características e propriedades, que em conjunto elas qualificam o concreto para um determinado tipo de construção (BAUER, 2000).

Segundo Silva (1985), as propriedades no estado endurecido dependem da funcionalidade de cada estrutura, sendo algumas propriedades mais importantes para cada tipo de obra. As propriedades mais frequentes nos tipos de concretos são:

- Massa específica;
- Resistência mecânica;
- Porosidade;
- Permeabilidade;
- Absorção;
- Durabilidade;
- Retração;
- Fluência

No que se diz respeito a resistência mecânica, é importante ressaltar que daremos notoriedade a resistência a compressão do concreto.

2.4.2.1 Resistência Mecânica

É a principal propriedade dos concretos, porém influenciada por diversos fatores como, relação água/aglomerante (AMBROZEWICZ, 2012).

Pode ser definida como a capacidade para resistir à tensão sem se romper, sendo identificado pelas fissuras que surgem. No concreto, entretanto, o corpo de prova é considerado rompido mesmo não havendo fratura externa, porque o corpo de prova não suportará uma carga maior devido às fraturas internas (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A resistência é uma propriedade especificada em projeto e controle de qualidade, pois, muitas de outras propriedades estão relacionadas à resistência, como módulo de elasticidade, permeabilidade e durabilidade. Sendo a mais usual forma de ensaio é o de compressão axial, onde o concreto é inserido em uma prensa hidráulica e a carga à compressão é elevada gradualmente até o rompimento do corpo de prova conforme a NBR 5739/2007 (ABNT, 2007) (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Segundo Mehta e Monteiro (2008) há diversos fatores que afetam a resistência mecânica do concreto, como: propriedades dos materiais constituintes no concreto; proporcionamento dos materiais, ou seja, relação água/aglomerante e relação agregado/aglomerante; condições de cura e idade.

2.4.2.1.1 Resistência à Compressão Simples

A capacidade que um material sólido possui de resistir a uma tensão sem romper-se é conhecida como resistência. A resistência no concreto é a tensão necessária para causar sua ruptura, ou seja, tensão máxima que o material pode suportar (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A característica mecânica mais importante do concreto é a resistência à compressão simples, sendo largamente utilizada como parâmetro principal de dosagem e controle da qualidade dos concretos destinados a diversas obras. Isso se deve, por um lado, ao procedimento de moldagem dos corpos-de-prova e do ensaio de compressão, serem executados de forma muito simples, e, por outro, ao fato de a resistência à compressão ser um parâmetro sensível às alterações de composição da mistura, permitindo inferir modificações em outras propriedades do concreto (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

Os aspectos que influem de forma direta na resistência à compressão do concreto são: variabilidade do cimento, dos agregados, da água, dos aditivos e da proporção relativa desses materiais; qualidade e operação dos equipamentos de dosagem e mistura; eficiência das operações de ensaio e controle (HELENE; TERZIAN, 2001).

Segundo Carvalho e Filho (2011), a principal característica do concreto é sua resistência a compressão, a qual é determinada pelo ensaio de corpos de prova submetidos a compressão centrada. Mas independentemente do tipo de ensaio ou de solicitação, diversos fatores influenciam a resistência do concreto endurecido, desde a relação entre as quantidades de cimento, agregados e água (traço), a idade do concreto, até sua permeabilidade.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Os insumos utilizados na pesquisa foram:

- **Cimento** – O cimento utilizado na pesquisa foi Cimento Portland Alta Resistência Inicial CP V – ARI, cujo fabricante é um grupo cimentício que possui fábrica instalada na região, próximo a Mossoró-RN. As características do cimento definidas conforme ABNT NBR 7215/1996.
- **Agregado miúdo** - O agregado miúdo utilizado no estudo foi areia natural presente na região. Areia com dimensão máxima de 4,75 mm foi passada na peneira de malha # 4,75 mm, por possuir grãos maiores (pedregulho) ou possíveis torrões ou qualquer outro material que pudesse comprometer a composição do concreto. A areia coletada foi submetida à secagem ao ar, para reduzir o seu teor de umidade, permanecendo apenas a umidade residual (umidade higroscópica).
- **Agregado graúdo** - O agregado graúdo utilizado no estudo foi brita calcária, com dimensões máximas de 19,00mm e foi beneficiada por peneiramento na peneira de abertura 4,75 mm, abertura mínima para a caracterização do agregado como graúdo, e é processo que elimina parte do material pulverulento solto que vem aderida no material. A brita, assim como a areia, também foi à secagem ao ar até atingir a umidade higroscópica.
- **Água de amassamento** - A água utilizada foi fornecida pelo abastecimento público de água através da Companhia de águas e esgotos do Rio Grande do Norte, que atende aos padrões de potabilidade estabelecidas na portaria N° 518/2004 do Ministério da Saúde. De acordo com a ABNT NBR 15900/2009, que trata de água para amassamento do concreto, no seu item 3.2, afirma que água para abastecimento público é considerada adequada para uso em concreto e não necessita ser ensaiada.
- **Aditivo Plastificante** - Foi utilizado um aditivo plastificante que atende a norma ABNT NBR 11768/2011. O fabricante especifica sua densidade igual a 1,055 Kg/L $\pm$ 0,02 Kg/L e dosagem de 0,2% a 1,2% em relação ao peso do cimento. Com a utilização desse tipo de aditivo há a possibilidade de redução do volume de água de mistura (água de amassamento), obtendo-se um fator água/cimento menor para o mesmo consumo de cimento, propiciando menos capilaridade no concreto e,

consequentemente, maiores resistências.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Planejamento Dos Experimentos

A pesquisa foi realizada com o intuito de avaliar as características do concreto confeccionado com a brita calcária (em seu estado natural e beneficiada dentro dos limites ótimos para brita 01) e aditivo hiperplastificante.

Os primeiros cinco traços feitos com a brita no estado natural (somente com beneficiamento para diminuição do teor de material pulverulento) e os últimos cinco traços com a brita na zona ótima de granulometria da brita 1 conforme ABNT NBR 7211/2009. Tendo estes procedimentos com o intuito de verificar a resistência e trabalhabilidade nos concretos produzidos.

O traço referencial (TR) foi obtido do trabalho de Paiva Filho (2017), com proporções em massa: 1,0: 1,5: 1,5:0,6 (cimento: areia: brita: água), além de 4,5% de aditivo sobre o volume do aglomerante. No TR foi utilizado um aditivo plastificante de pega normal, de acordo com as recomendações da ABNT NBR 11768/2011.

Na pesquisa foi variado o fator água/cimento e a quantidade de aditivo, além da granulometria da brita. O aditivo utilizado foi hiperplastificante, o MasterGlenium 25, isso explica a baixa porcentagem de aditivo utilizado nos traços da pesquisa em relação ao referencial.

Foram convertidas as proporções em massa para melhor separação do material no momento de confecção dos traços. Sendo TR o traço referencial, foram nomeados de forma simples como T1, T2, T3, T4 e T5, conforme a Tabela 7. Os traços comparativos, que utilizaram a brita dentro da zona granulométrica ótima foram denominados de A1, A2, A3, A4 e A5. Para cada traço foram produzidos 8 corpos de prova (CP), sendo 4 para compressão axial aos 7 e 28 dias cada. Na Tabela 8 mostra os traços utilizados no estudo.

Tabela 7 – Quantidade de corpos de prova confeccionados para cada traço

Traço	Número de corpos de prova produzidos
T1	8 unidades
T2	8 unidades
T3	8 unidades
T4	8 unidades
T5	8 unidades
A1	8 unidades
A2	8 unidades
A3	8 unidades
A4	8 unidades
A5	8 unidades

Fonte: Autoria Própria

Tabela 8 – Traço referência e nomenclaturas dos traços bases

Traço	Proporção	Fator a/c	% aditivo
TR	1,0 : 1,5 : 1,5	0,60	4,50%
T1 e A1	1,0 : 1,5 : 1,5	0,48	0,50%
T2 e A2	1,0 : 1,5 : 1,5	0,48	0,30%
T3 e A3	1,0 : 1,5 : 1,5	0,44	0,90%
T4 e A4	1,0 : 1,5 : 1,5	0,44	1,20%
T5 e A5	1,0 : 1,5 : 1,5	0,43	1,20%

Fonte: Autoria Própria

Os traços A1, A2, A3, A4 e A5 consistem na mesma proporção, fator a/c e % aditivo dos traços T1, T2, T3, T4, T5, respectivamente, porém nos traços com denominação “A” a

brita calcária foi beneficiada dentro da zona granulométrica ótima da brita 01.

A caracterização do agregado graúdo, agregado miúdo e cimento e assim como os seus beneficiamentos, foram realizados no Laboratório de Construção Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN/Mossoró.

As dosagens dos traços, moldagens dos corpos de prova, ensaios de abatimento de tronco de cone (Slump Test) e de resistência a compressão simples foram realizadas também no Laboratório de Construção Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN/Mossoró.

3.2.2.1 Beneficiamento da Brita Calcária

A brita calcária possui um elevado teor de material pulverulento (partículas finas) aderidas a sua superfície. Para minimizar o efeito dessas partículas na produção do concreto foi feito o peneiramento na peneira de malha 4,75mm, com o intuito de reduzir esse teor. A brita era peneirada até que maior parte de finos fosse removida.

A brita adquirida foi depositada em local com incidência de sol e chuva. Devido a isso, foi necessário separar a brita utilizada no estudo para secar a uma temperatura ambiente, durante alguns dias, até atingir sua umidade residual (umidade higroscópica). A Figura 1 e Figura 2 ilustram a obtenção e beneficiamento da brita calcária.

Figura 1 – Depósito da areia e da brita utilizada



Fonte: Autoria Própria

Figura 2 – Secagem do material até atingir a umidade higroscópica



Fonte: Autoria Própria

Foi necessário, antes de tudo, caracterizar o agregado gráúdo para se verificar se este estava adequado para a sua utilização para composição de concreto conforme ABNT NBR 7211. As normas para caracterização são dadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Ensaios para caracterização do Agregado Graúdo e suas respectivas normas

Material	Ensaio	Norma Utilizada
Agregado Graúdo - Brita calcária	Agregados - Determinação da distribuição Granulométrica.	ABNT NBR NM 248/2003
	Agregado Graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles".	ABNT NBR NM 51/2001
	Agregado Graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro.	ABNT NBR 7809/2006
	Agregados - Determinação da massa unitária.	ABNT NBR NM 45/2006
	Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.	ABNT NBR NM 53/2009
	Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem.	ABNT NBR NM 46/2003

Fonte: Autoria Própria

3.2.2.2 Beneficiamento da Areia

De forma análoga à brita calcária, a areia também era depositada em local com incidência de sol e chuva. Logo, para o seu beneficiamento, ela foi submetida ao peneiramento na peneira de malha 4,75mm com intuito de eliminar torrões, matéria orgânica ou outras partículas de grandes dimensões, aproveitando o que passava na peneira e descartando o material retido por ela. A areia também foi submetida ao processo de secagem ao ar para atingir sua umidade residual Figura 3.

Figura 3 – Secagem da areia até atingir a umidade higroscópica



Fonte: Autoria Própria

O agregado miúdo foi caracterizado segundo as normas listadas na Tabela 10 para se verificar se este estava adequado para a sua utilização para composição de concreto conforme ABNT NBR 7211/2009.

Tabela 10 – Ensaios para caracterização do Agregado Miúdo e suas respectivas normas

Material	Ensaio	Norma Utilizada
Agregado miúdo - Areia	Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman.	ABNT NBR 9776/1987
	Agregados - Determinação da distribuição granulométrica.	ABNT NBR NM 248/2003
	Agregados - Determinação da massa unitária.	ABNT NBR NM 45/2006
	Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm , por lavagem.	ABNT NBR NM 46/2003

Fonte: Autoria Própria

3.2.2.3 Preparo do Concreto

A norma utilizada para essa etapa do estudo foi a ABNT NBR 12665/2006, que dispõe todos os requisitos básicos de preparo e controle da produção de concretos. De acordo com o item 5.5 desta norma, os componentes do concreto devem ser misturados até formar uma massa homogênea, podendo ser executado na obra, na central de concreto ou em caminhão-betoneira. No estudo, a dosagem do concreto foi realizada com o auxílio de uma betoneira estacionária, de pequeno volume (Figura 4).

Figura 4 – Betoneira utilizada para a produção dos traços em estudo



Fonte: Autoria Própria

De acordo com a ABNT NBR 12665/2006, em seu item 5.5.1, o tempo mínimo de mistura em betoneira estacionária é de 60 segundos. O preparo do concreto realizado no estudo levou cerca de 4 a 5 minutos para mistura, até que fosse possível observar uma massa homogênea.

O aditivo foi misturado com a água de amassamento. Todos os traços foram produzidos em massa e na seguinte sequência de mistura:

- Com a betoneira já em funcionamento, foi colocado toda a brita calcária e metade da solução formada pela mistura da água com o aditivo plastificante, misturando por cerca de 1 minuto;
- Foi colocado o cimento gradativamente, com o auxílio de uma concha metálica, para evitar a perda de partículas, misturando por cerca de 30 a 60 segundos;
- Adicionou-se toda a areia e o restante da água, misturou o concreto por mais 2 a 3 minutos, até obter um material homogêneo.

3.2.2.4 Determinação da Consistência

A determinação da consistência pelo ensaio do abatimento do tronco de cone foi realizada de acordo com a ABNT NBR NM 67/1998, também chamado de *Slump Test*. A aparelhagem utilizada no ensaio foi a descrita no item 4 dessa norma: molde tronco cônico, haste de compactação, complemento do tronco cônico e placa de base. A Figura 5 mostra a foto do equipamento utilizado no ensaio.

Figura 5 – Ensaio de abatimento do tronco de cone



Fonte: Autoria Própria

3.2.2.5 Moldagem e Cura dos Corpos de Prova

A moldagem dos corpos de prova seguiu a norma ABNT NBR 5738/2016, onde no seu item 4.1.1.1 diz que os moldes cilíndricos devem ter altura igual ao dobro do diâmetro. Ainda, conforme a mesma norma, a dimensão básica do corpo de prova deve ser no mínimo três vezes maior que a dimensão nominal máxima do agregado graúdo do concreto, onde as partículas de dimensões superiores a máxima nominal deve ser eliminada por peneiramento, de acordo com a ABNT NBR NM 36/1998.

Os adensamentos dos corpos de prova foram realizados em função do abatimento, determinado através da ABNT NBR NM 67/1998. Para definição do número de camadas e golpes, foi atendido o item 7.4.1.2 da ABNT NBR 5738/2016.

Após preparo do concreto e moldagem dos corpos de prova, estes foram submetidos à cura conforme ABNT NBR 5738/2016. Primeiramente eles foram agrupados por traço e

dispostos em superfície plana horizontal e livres de qualquer tipo de perturbação (Figura 6) que pudesse prejudicar a cura inicial.

Figura 6 – Corpos de prova alocados em superfície plana



Fonte: Autoria Própria

3.2.2.6 Retificação dos Corpos de Prova

De acordo com o item 9.4.4.1 da ABNT NBR 5738/2016, a retificação consiste na remoção, por meios mecânicos, de uma fina camada de material do topo a ser preparado. Essa operação deve ser executada em máquinas adequadas para essa finalidade, através da abrasão da superfície, não comprometendo a integridade estrutural das camadas adjacentes, proporcionando uma superfície lisa e livre de ondulações e abaulamentos. O equipamento utilizado (Figura 7) para a retificação é proveniente do Laboratório de Construção Civil do IFRN Mossoró.

Figura 7 – Aparelho de retificação dos corpos de prova



Fonte: Autoria Própria

3.2.2.7 Ensaio de compressão axial

O ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos realizado no estudo foi de acordo com a ABNT NBR 5739/2007. Utilizados as idades de 7 e 28 dias para este ensaio.

O procedimento consiste em testar o corpo de prova, posicionando-o entre duas placas lisas da prensa hidráulica automatizada (Figura 8) ou prensa manual (Figura 9) e aplicando-se uma carga de compressão axial, com o objetivo de construir o diagrama de tensão-deformação. A carga é aplicada até que ocorra o rompimento do corpo de prova e assim se conheça a tensão resistente do concreto.

Figura 8 – Prensa hidráulica automatizada utilizada



Fonte: Autoria Própria

Figura 9 – Prensa hidráulica manual utilizada



Fonte: Autoria Própria

Vale ressaltar que no planejamento inicial a ideia era utilizar a prensa hidráulica automática para rompimento de todos os traços para realização da pesquisa, porém por motivos técnicos foi preciso utilizar a prensa manual para continuidade da pesquisa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 AGREGADO MIÚDO

4.1.1 Massa específica e unitária

Na Tabela 11 mostra os resultados de massa específica e unitária para os agregados miúdos utilizados na pesquisa, assim como, o teor de material pulverulento determinado para a areia.

Tabela 11 - Resultados dos ensaios de massa específica, massa unitária e teor de material pulverulento

Resultados	Amostra 1	Amostra 2	Média
Massa específica (g/cm ³)	2,60	2,59	2,595
Massa unitária (g/cm ³)	1,43	1,43	1,43
Teor de material pulverulento (%)	0,85	0,87	0,86

Fonte: Autoria Própria

Segundo a ABNT NBR 7211/2009, a areia pode ser classificada como normal, pois, sua massa específica está entre 2,0 g/cm³ e 3,0 g/cm³.

O teor de material pulverulento (dimensões inferiores a 0,075 mm) da areia com lavagem do material, fica abaixo do limite máximo recomendado que é de 3,0 % para concretos submetidos a desgaste superficial e 5,0 % para concretos protegidos.

4.1.2 Distribuição granulométrica

Na Tabela 12 está explanado o resultado do ensaio de distribuição granulométrica, cada abertura de peneira utilizada e as respectivas frações retidas em cada uma.

Tabela 12 – Composição Granulométrica do Agregado miúdo

Peneira (mm)	Massa retida em cada peneira (g)	Massa retida acumulada (g)	Porcentagem retida	Porcentagem retida acumulada
4,75	0	0	0,0%	0,0%
2,36	15,50	15,50	3,1%	3,1%
1,18	34,00	49,50	6,8%	9,9%
0,6	79,00	128,5	15,8%	25,7%
0,3	180,25	308,75	36,1%	61,8%
0,15	149,55	458,30	29,9%	91,8%
Fundo	41,15	499,45	8,2%	100,0%

Fonte: Autoria Própria

O diâmetro máximo que é especificado à abertura da peneira que possui porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5,0 % é encontrado para:

- A da areia é de 4,75 mm;

Sendo a o material analisado classificado como agregado miúdo. O módulo de finura (MF), que representa a soma das proporções acumuladas em todas as peneiras. A norma estabelece a seguinte classificação para o MF:

- Entre 2,20 e 2,90 para a zona ótima.
- Entre 1,55 e 2,20 para a zona utilizável inferior.
- Entre 2,90 e 3,50 para a zona utilizável superior.

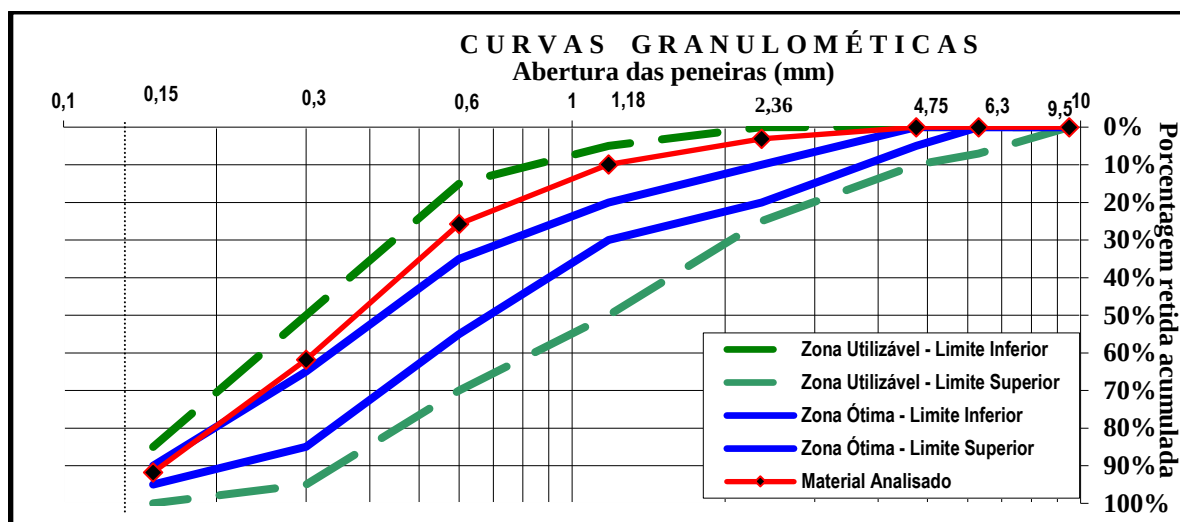
Para o agregado tem-se:

- O MF da Areia é 1,92;

Segundo esta classificação, o MF da areia utilizada pode ser enquadrado como pertencente dentro do limite utilizável inferior.

Os resultados destas análises foram plotados em gráfico (Figura 10) representativo da variação granulométrica, comparando-se com os limites utilizáveis e ótimos segundo a norma ABNT NBR 7211/2009, e com a curva da areia, onde no eixo das abscissas em escala logarítmica representa-se a abertura das peneiras, e o eixo das ordenadas os valores das porcentagens retidas nessas.

Figura 10 - Curva granulométrica do agregado miúdo utilizado



Fonte: Autoria Própria

A areia utilizada na pesquisa está dentro da zona utilizável do agregado miúdo segundo a NBR 7211/2009, porém em sua maior parte fora dos limites ótimos. Podemos classificá-la como um material apto a ser usado na confecção dos traços de concreto.

4.2 AGREGADO GRAÚDO

4.2.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada de acordo com a ABNT NBR NM 248/2003, listada na Tabela 12 desse trabalho, onde se realizou dois ensaios de análise granulométrica e, conforme item 6.1.1 da referida norma, os valores de porcentagem retida individualmente não devem diferir mais que 4% entre si. Os resultados encontrados nesse ensaio estão apresentados na Tabela 13:

Tabela 13 – Composição Granulométrica do Agregado Graúdo

Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)		% retida			% retida acumulada
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2	Média	%Acumulada
25	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
19	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
12,5	1.024,3	1.137,9	20,5%	22,8%	21,6%	21,6%
9,5	1.883,1	2.105,1	37,7%	42,1%	39,9%	61,5%
6,3	1.977,8	1.667,5	39,6%	33,4%	36,5%	98,0%
4,75	77,3	49,1	1,5%	1,0%	1,3%	99,2%
Fundo	37,6	40,4	0,7%	0,7%	0,7%	100,00%
Total	5.000,1	5.000,0	100%	100%	100%	

Fonte: Autoria Própria

Com o resultado do ensaio de granulometria obteve-se a dimensão máxima do agregado de 19,00 mm e o módulo de finura de 6,57. Na Tabela 14 observamos a comparação dos limites estabelecidos pela ABNT NBR 7211/2009 para limites granulométricos da zona 9,5/25 com os resultados obtidos do ensaio de granulométrica da brita calcária.

Tabela 14 – Comparação entre os limites de composição granulométrica da norma e os obtidos - ABNT NBR 7211/2009

Abertura das peneiras (mm)	Porcentagem retida acumulada		
	Brita calcária	Limite inferior	Limite Superior
25	0,0%	0,00%	5,00%
19	0,0% **	2,00%	15,00%*
12,5	21,6% **	40,00%*	65,00%*
9,5	61,5% **	80,00%*	100,00%
6,3	98,0%	92,00%	100,00%
4,75	99,2%**	95,00%	100,00%

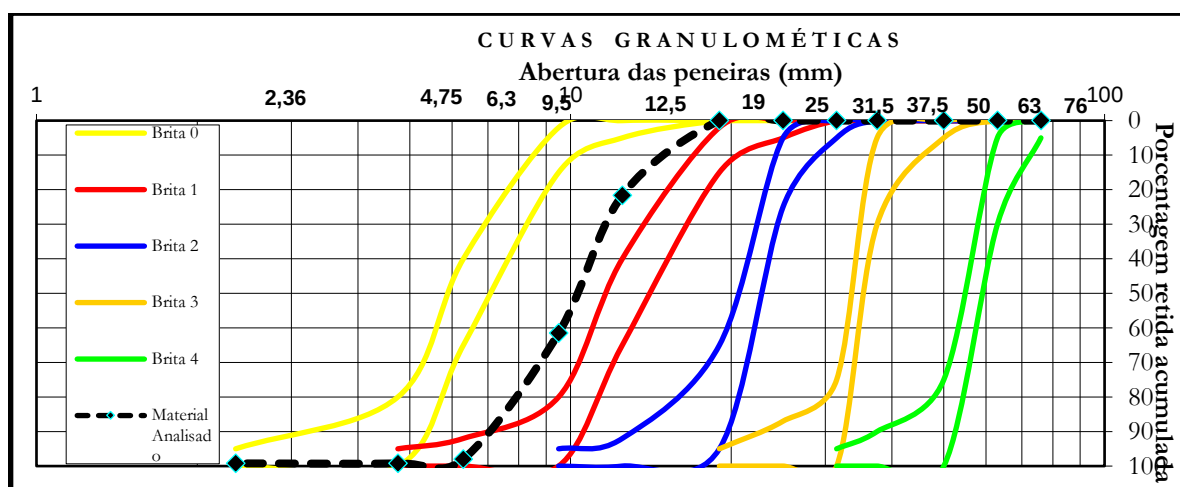
Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com *.

Os resultados marcados com ** na representam os percentuais que estão fora da zona granulométrica ótima da norma.

Fonte: Autoria Própria

De acordo com a Tabela 6 da ABNT NBR 7211, os valores obtidos na peneira 19,00mm, 12,5mm, 9,50mm e 4,75 mm estão abaixo do limite inferior. O Figura 11 ilustra a distribuição granulométrica.

Figura 11 - Curva granulométrica da brita calcária natural



Fonte: Autoria Própria

Logo, é possível observar que a composição granulométrica da brita calcária está como uma mistura de brita 0 e brita 1, considerando os limites estabelecidos em norma para uso em concreto. Para os cinco últimos traços, essa curva foi ajustada para dentro dos limites inferior e superior da brita 1.

Para fabricação dos traços A1, A2, A3, A4 e A5 desta pesquisa a brita calcária foi alocada dentro da zona ótima de granulometria presente na norma ABNT NBR 7211/2009. As proporções utilizadas foram em porcentagem retida acumulada estão na Tabela 15.

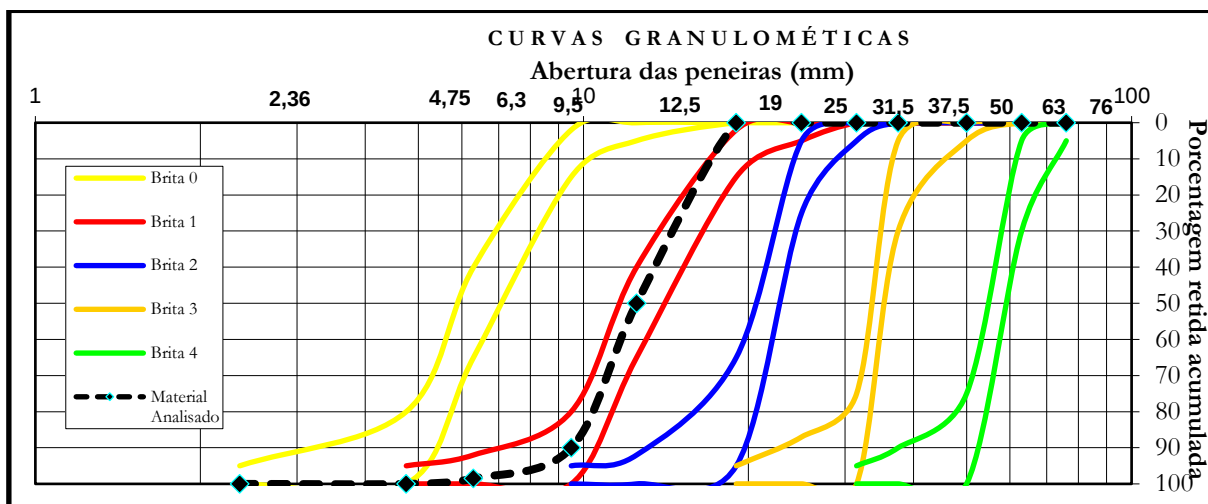
Tabela 15 – Composição granulométrica do agregado graúdo utilizado na moldagem dos traços A1, A2, A3, A4 e A5.

Abertura das peneiras (mm)	Porcentagem retida acumulada		
	Brita calcária	Limite inferior	Limite Superior
25	0,0%	0,00%	5,00%
19	0,0%**	2,00%	15,00%*
12,5	50%	40,00%*	65,00%*
9,5	90%	80,00%*	100,00%
6,3	98,5%	92,00%	100,00%
4,75	100%	95,00%	100,00%
Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com *. A porcentagem acumulada marcada com ** não entrou na composição do concreto, pois em seu estado natural já não havia essa fração para ser utilizada.			

Fonte: Autoria Própria

Os resultados observados na Tabela 15 foram plotados em um gráfico (Figura 12), onde pode-se observar os limites ótimos das britas 0, 1, 2, 3 e 4 e a curva do material analisado.

Figura 12 - Curva granulométrica da brita calcária beneficiada



Fonte: Autoria Própria

4.2.2 Índice de forma pelo método do paquímetro

Para o índice de forma da brita calcária utilizada o ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR 7809/2006. Após a realização da análise granulométrica da brita calcária, calculou-se a quantidade de grãos a serem analisados por fração granulométrica, conforme a Tabela 16 nos mostra.

Tabela 16 – Quantidade de grãos utilizados para realização do ensaio de índice de forma

Peneira (mm)	% Retida	nº de grãos
25	0,0%	-
19	0,0%	-
12,5	21,6%	147
9,5	61,5%	53
6,3	98,0%	-
4,75	99,2%	-
Fundo	0,80%	-
Total	100,00%	200

Fonte: Autoria Própria

O índice de forma obtido através do ensaio foi de 2,46, obedecendo a recomendação da ABNT NBR 7211/2009, que estabelece o limite superior para o índice de forma igual a 3,00.

4.2.3 Massa Unitária do agregado solto

Os resultados obtidos nas amostras estão listados na Tabela 17 e de acordo com o item 6.2 da ABNT NBR 7251/1982, no qual restringe 3 determinações não devem diferir em mais de 1% da média. O resultado da massa unitária do agregado solto foi de 1,75 kg/dm³, assim, foi possível classificar a brita calcária como normal, já que seu resultado está compreendido entre 1,00kg/dm³ e 2,00kg/dm³.

Tabela 17 – Resultado do ensaio de massa unitária do agregado graúdo

Resultados	Brita calcária		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Massa Unitária (g/cm ³)	1,73	1,74	1,77
Média (g/cm ³)	1,75		

Fonte: Autoria Própria

4.2.4 Massa específica e absorção de água

Os resultados obtidos e calculados estão na Tabela 18. As amostras atenderam ao item 9.1 da NBR 9937 NM 53/2009, o qual restringe a diferença entre dois resultados individuais obtidos a partir de uma mesma amostra submetida a ensaio, por um operador empregando um mesmo equipamento, em um curto intervalo de tempo, não deve diferir entre si mais de 0,02 g/cm³ para massa específica e 0,3% para absorção de água, apesar desta última restrição se aplicar apenas para agregados com absorção de água menor que 2%. Na Figura 14 mostra parte do ensaio de absorção da brita calcária.

Tabela 18 - Resultado dos ensaios de massa específica e absorção NBR 9937

Identificação da amostra	1	2
Mc) Massa do cesto submerso (g)	0,0	0,0
Mi) Massa do agregado + cesto submerso (g)	1.643,1	1.675,8
Mb) Massa do agregado submerso (g) = Mi - Mc = "C"	1.643,1	1.675,8
Msss) Massa ao ar Saturada Superfície Seca (g) - "B"	2.687,9	2.741,7
Ms) Massa do agregado seco constante (g) - "A"	2.574,9	2.626,5
Massa específica seco (g/cm ³) = Ms / (Msss - Mb)	2,46	2,46
Massa específica seco média (g/cm ³)	2,46	
Absorção (%) = [(Msss - Ms) / Ms] * 100	4,39%	4,39%
Média da Absorção do agregado (%)	4,39%	

Fonte: Autoria Própria

Quanto à massa específica do agregado seco Tabela 18, a brita calcária pode ser considerada como agregado de densidade normal, tendo em vista que seu resultado de 2,46 g/cm³ e está compreendido entre 2,00 g/cm³ e 3,00 g/cm³.

Como a absorção média da brita é de 4,39%, a quantidade de água real que irá atuar como água de amassamento do concreto será reduzida, pois 4,39% da água lançada é absorvida pela brita.

4.2.5 Teor de material pulverulento

O limite máximo estabelecido para teor de material pulverulento em agregados graúdos, pela ABNT NBR 7211/2009, é de 1,0%, podendo-se considerar até 6,5% de material pulverulento em casos de agregados graúdos onde seus finos não interfiram nas propriedades do concreto. Na Tabela 19 estão apresentados os resultados obtidos.

Tabela 19 – Resultado do ensaio de teor de finos do agregado graúdo

Resultados	Amostra 1	Amostra 2	Média
Massa original da amostra (g)	3000,00	3000,00	3000,00
Massa amostra seca após lavagem (g)	2916,6	2920,5	2918,55
Percentagem de finos	2,78 %	2,65%	2,72%

Fonte: Autoria Própria

O resultado obtido para brita calcária foi de 2,72 %, ficando dentro do permitido pela norma.

4.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

4.3.1 Trabalhabilidade

O resultado da trabalhabilidade do concreto no estado fresco medido indiretamente através do ensaio de abatimento de tronco de cone (*Slump Test*), estão explanados na Tabela 20. Já na Figura 13 é feito um comparativo do abatimento entre os traços de concreto moldados com a brita natural com a brita beneficiada.

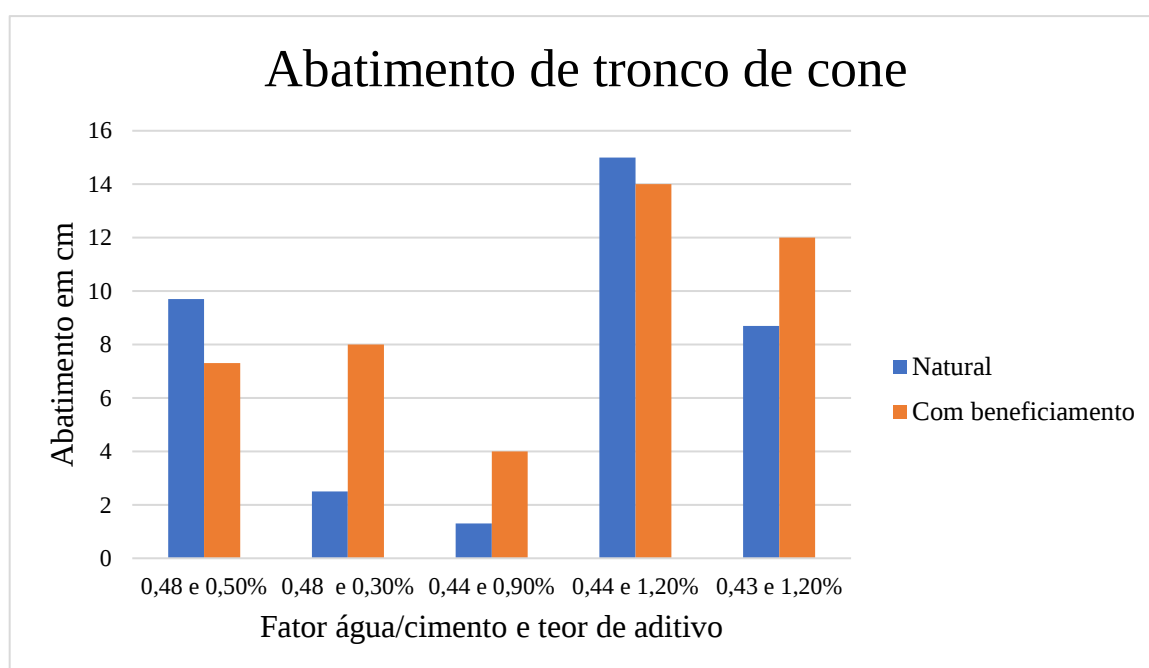
Tabela 20 – Resultados do ensaio de abatimento de tronco de cone

Traço	Proporção	Fator a/c	% aditivo	Abatimento (cm)
T1	1,0 : 1,5 : 1,5	0,48	0,50%	9,70
T2	1,0 : 1,5 : 1,5	0,48	0,30%	2,50
T3	1,0 : 1,5 : 1,5	0,44	0,90%	1,30
T4	1,0 : 1,5 : 1,5	0,44	1,20%	15,00
T5	1,0 : 1,5 : 1,5	0,43	1,20%	8,70
A1*	1,0 : 1,5 : 1,5	0,48	0,50%	7,30
A2*	1,0 : 1,5 : 1,5	0,48	0,30%	8,00
A3*	1,0 : 1,5 : 1,5	0,44	0,90%	4,00
A4*	1,0 : 1,5 : 1,5	0,44	1,20%	14,00
A5*	1,0 : 1,5 : 1,5	0,43	1,20%	12,00

*Traços moldados com beneficiamento granulométrico da brita

Fonte: Autoria Própria

Figura 13 – Resultados do ensaio de abatimento de tronco de cone



Fonte: Autoria Própria

É possível perceber que, apesar da diminuição do fator água cimento em alguns traços, quando aumentada a proporção de aditivo plastificante, obtemos bons abatimentos para as dosagens. Isso se dá devido a maior quantidade de aditivo adicionado a mistura, porém sempre respeitado a dosagem prevista pelo fabricante em manual.

De acordo com a Tabela 21, de classificação da consistência do concreto, de Andolfato (2002), os traços foram classificados de acordo com a mesma do referido trabalho.

Tabela 21 – Classificação da consistência de acordo com Andolfato (2002)

Traço	Abatimento (cm)	Classificação
T1	9,70	Média
T2	2,50	Firme
T3	1,30	Seca
T4	15,00	Mole
T5	8,70	Média
A1	7,30	Média
A2	8,00	Média
A3	4,00	Firme
A4	14,00	Mole
A5	12,00	Média

Fonte: Autoria Própria

Os traços com maiores proporções de aditivo, apesar de menor fator água/cimento como os traços T4, T5, A4 e A5 apresentaram consistência de média a mole segundo a classificação de Andolfato (2002). Observamos também que houve uma leve melhora de consistência nos concretos moldados utilizando brita calcária dentro da zona granulométrica ótima (A1, A2, A3, A4 e A5), isso se deve ao fato de que para obtenção da brita dentro da granulometria ótima da brita 01 se fez necessário peneirar cada fração para composição da granulometria. Ao realizar esse peneiramento, a parcela de finos foi cada vez mais diminuindo, fazendo com que o consumo de água pelos mesmos fossem menor, e por conseguinte, o melhoramento da consistência.

O firme abatimento dos traços com maiores proporções de fator água/cimento e baixo teor de aditivo deve-se, possivelmente a alta absorção da brita calcária, de 4,39%, obtida na caracterização do agregado gráudo, justificando o fato de mesmo após o beneficiamento, para

obter um concreto trabalhável, demanda-se um alto consumo de água.

Logo, é possível perceber que a consistência dos concretos com brita calcária aumenta consideravelmente com o aumento da proporção de aditivo (apesar da diminuição do fator água/cimento em alguns casos), justificada principalmente, pela alta absorção de água e teor de material pulverulento existente nesse agregado.

Segundo Andolfato (2002), para garantir uma boa consistência e trabalhabilidade do concreto no estado fresco é necessário que o concreto apresente uma consistência mole no ensaio de abatimento de tronco de cone (variando entre 12 e 18 cm), os traços A4 e T4 obedeceram a essa recomendação.

4.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

4.4.1 Ensaio de compressão axial

Todos os traços foram submetidos à cura por imersão em solução de água e cal durante o período de 7 e 28 dias após moldagem nos moldes cilíndricos. Vale salientar que os corpos de prova foram colocados no processo de cura 24 horas após serem moldados.

Uma das principais características do concreto no seu estado endurecido é sua resistência à compressão. Devido a isso, os corpos de prova de todos os traços produzidos no estudo foram submetidos ao ensaio de resistência mecânica por compressão axial em prensa hidráulica automatizada (Figura 8) e em prensa manual (Figura 9) (devido a problemas na primeira) após serem submetidos à retificação das faces.

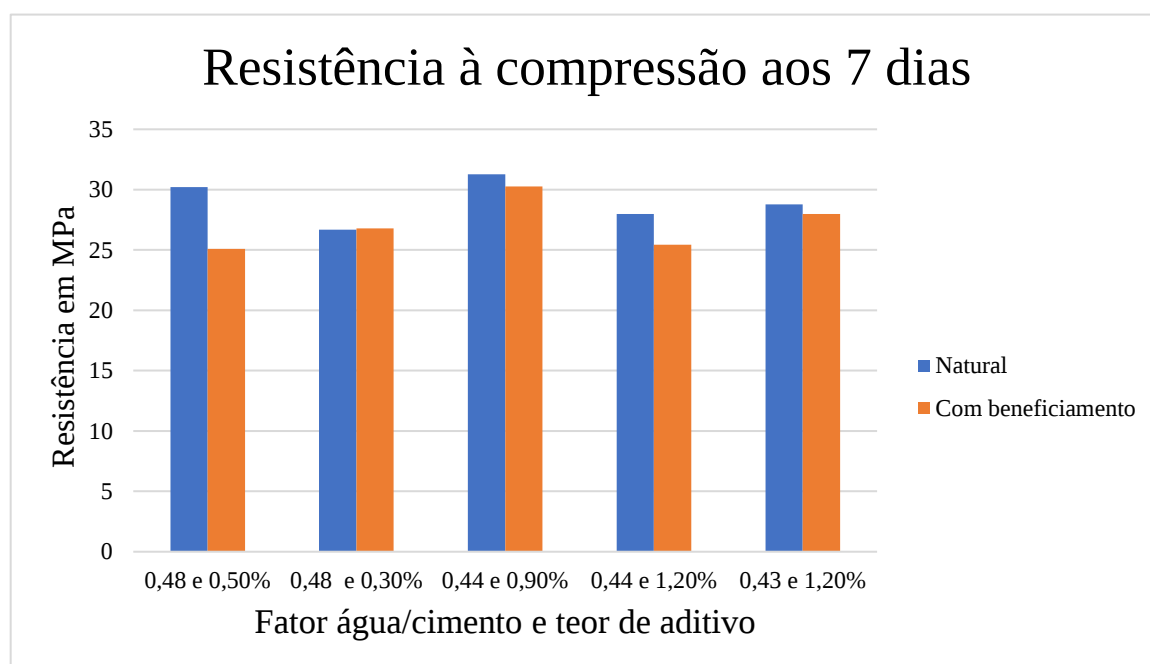
Para cada traço foi utilizado 4 corpos de prova por idade para o ensaio de compressão simples e realizado a média das resistências obtidas. Foram determinadas as resistências de cada traço aos 7 e 28 dias após moldagem. Para melhor determinar esse parâmetro, os resultados que divergiram mais de 10% da média (Med) foram descartados para cálculo de resistência e foi considerado apenas a média final (Média F.) dos resultados que atenderam essa condição. Os resultados de resistência em MPa obtidos do ensaio de compressão axial aos 7 e 28 dos traços produzidos estão mostrados na Tabela 22 e Tabela 23. Na Figura 14 foi realizado um comparativo da resistência à compressão aos 7 dias entre os traços de concreto moldados com a brita calcária natural e a brita beneficiada granulometricamente.

Tabela 22 – Resistência à compressão dos traços de concreto estudados aos 7 dias, em MPa

7 DIAS	T1	T2	T3	T4	T5	A1	A2	A3	A4	A5
CP1	29,43	26,84	33,61	29,99	27,42	25,74	26,07	30,24	25,55	26,06
CP2	29,61	26,10	30,28	28,20	28,48	23,89	27,27	31,35	29,51*	26,50
CP3	25,95*	29,60	28,88	24,29	28,18	23,09	27,37	27,41	24,29	29,84
CP4	31,62	28,12	32,26	29,47	31,03	27,06	26,47	31,99	26,44	29,51
Med	29,15	27,67	31,26	27,99	28,78	25,08	26,80	30,25	26,45	27,98
Med. F	30,22	26,67	31,26	27,99	28,78	25,08	26,80	30,25	25,43	27,98
Os resultados descartados estão marcados com *										

Fonte: Autoria Própria

Figura 14 – Comparativo da resistência à compressão aos 7 dias, em MPa



Fonte: Autoria Própria

Ao compararmos T1, T2, T3, T4 e T4 com os traços A1, A2, A3, A4 e A5, respectivamente, observamos que aos 7 dias a resistência a compressão basicamente se manteve a mesma, mostrando que a mudança na distribuição granulométrica pouco influenciou nesse parâmetro.

Aos 28 dias foi realizado outro ensaio, seguindo o mesmo padrão utilizado no ensaio aos 7 dias. Para melhor determinar esse parâmetro, os resultados que divergiram mais de 10% da média (Med) foram descartados para cálculo de resistência e foi considerado apenas a

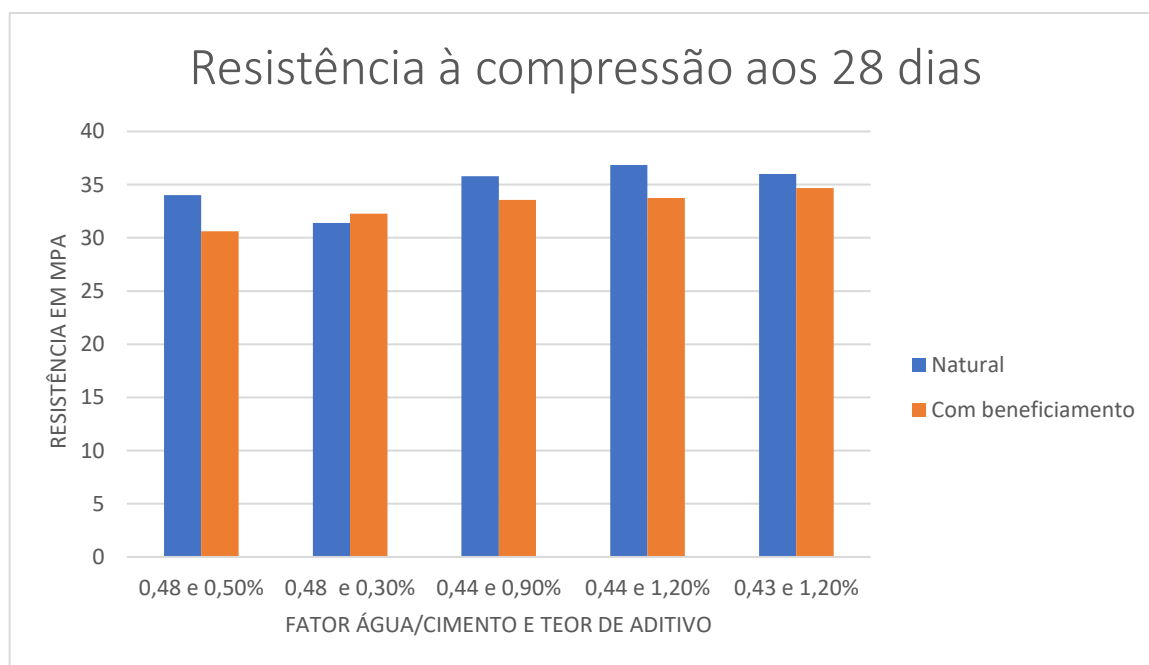
média final (Média F.) dos resultados que atenderam essa condição. Os resultados estão descritos na Tabela 23, expressos em Mpa. Na Figura 15 foi realizado um comparativo da resistência à compressão aos 28 dias entre os traços de concreto moldados com a brita calcária natural e a brita beneficiada granulometricamente.

Tabela 23 - Resistência à compressão dos traços de concreto estudados aos 28 dias, em MPa

28 DIAS	T1	T2	T3	T4	T5	A1	A2	A3	A4	A5
CP1	30,59*	31,69	37,18	33,46	33,09	29,22	30,93	36,45	37,11	34,11
CP2	33,06	30,98	30,78*	39,21	35,71	28,91	32,82	31,76	30,43	34,59
CP3	38,38*	31,34	33,30	36,96	37,71	32,63	32,91	34,93	31,41	34,77
CP4	34,97	31,55	36,88	37,83	37,46	31,71	32,37	31,13	36,01	35,25
Med	34,25	31,39	34,54	36,86	35,99	30,62	32,26	33,57	33,74	34,68
Med. F	34,01	31,39	35,79	36,86	35,99	30,62	32,26	33,57	33,74	34,68
Os resultados descartados estão marcados com *										

Fonte: Autoria Própria

Figura 15 - Comparativo da resistência à compressão aos 28 dias, em MPa



Fonte: Autoria Própria

Ao compararmos T1, T2, T3, T4 e T4 com os traços A1, A2, A3, A4 e A5, respectivamente, observamos que aos 7 e 28 dias a resistência à compressão diminuiu, mostrando que a mudança na distribuição granulométrica influenciou negativamente nesse parâmetro.

Lenz (2016) afirma que ao alterar o teor de agregados dos concretos com estrutura granular modificada (mistura de faixas granulométricas), percebeu-se que, à medida que se aumenta a quantidade dos agregados com essa característica, mesmo com a redução de cimento, a resistência aumenta até um certo limite. Isso deve-se ao fato de que, até um certo limite, o travamento dos agregados consegue aumentar a resistência mecânica à compressão, pois as partículas do agregado se aproximam mais umas das outras.

Pode-se observar a relação direta entre ocupação de vazios e granulometria. No ensaio granulométrico da brita natural, foi observado que a curva representativa da brita calcária analisada se enquadrava entre os limites ótimos da brita 0 e da brita 1. Logo, a brita em questão pode ser caracterizada como uma mistura das duas britas. Nos traços de concreto em que a brita foi utilizada com essa característica, a resistência à compressão se apresentou com valores melhores do que quando a brita já não se apresentava como uma mistura.

Monson *et al.* (2018) em sua pesquisa mostra que quando misturamos a brita 0 com a brita 1, percentualmente quanto mais essa mistura se aproxima de 50% de brita 0 e 50% de brita 1, na composição, tende-se a diminuir os vazios na mistura.

Nos estudos acima citados, observamos que a distribuição das partículas de modo a obter uma maior taxa de ocupação de vazios (maior fator de empacotamento) é fator determinante para ganho na resistência mecânica do concreto.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho conclui-se que a distribuição granulométrica da mistura possui grande influência na resistência mecânica nos traços utilizados. Observou-se que com a correta seleção das quantidades dos materiais a serem utilizados em cada traço é possível otimizar significativamente o empacotamento de partículas no concreto. O beneficiamento granulométrico nos traços dosados (A1, A2, A3, A4 e A5) acarretou na diminuição da resistência à compressão (de 4 a 11%) em relação aos traços feitos (T1, T2, T3, T4 e T5) com a brita em seu estado natural.

Este fato é devido ao fator de empacotamento das partículas, nos traços T1, T2, T3, T4 e T5 se apresentam com maior densidade de empacotamento em relação aos traços comparativos, já que a brita em seu estado natural se apresenta como uma mistura de britas 0 e 1.

Nos traços de referência (T1, T2, T3, T4 e T5) utilizamos a brita no estado natural, onde sua granulometria se apresentou como uma mistura da brita 0 (4,8 mm a 9,5 mm) e brita 1 (de 9,5 mm a 19 mm). Já nos traços comparativos (A1, A2, A3, A4 e A5), quando a brita foi colocada dentro da zona granulométrica ótima, a ocupação dos espaços não foi tão eficiente quanto no primeiro caso, com isso, a taxa de empacotamento dos agregados graúdos foi menor, influenciando negativamente o parâmetro de resistência à compressão do concreto.

Ainda assim, todos os traços estudados apresentaram um ótimo desempenho tendo em vista os concretos convencionais, devido a dosagem do concreto de forma a proporcionar uma baixa porosidade, com o uso de plastificante e menor fator água cimento. Fazendo com que todos os traços estejam aptos a serem utilizados para elementos estruturais. Pois, de acordo com a ABNT NBR 6118/2014, a resistência característica do concreto para elementos estruturais está compreendida entre 20 a 50 MPa. Logo, comparando os resultados obtidos com a norma, todos os traços produzidos são indicados para elementos estruturais, já que adquiram resistência superior a 20 MPa aos 28 dias. Os traços também podem ser utilizados para fundações e demais usos, pois obtiveram resistência superior a 15 MPa, segundo a ABNT NBR 6118/2014 e ABNT NBR 6122/2010.

Em relação a trabalhabilidade, os traços A2, A3 e A5, sendo estes concretos produzidos com a brita beneficiada granulometricamente, apresentaram maiores valores de abatimento em relação aos traços comparativos T1, T3 e T5, sendo estes últimos produzidos com a brita com sua granulometria natural. Esse resultado é devido ao processo de

beneficiamento granulométrico do agregado graúdo, onde separamos cada fração da brita pelo processo de peneiramento, com isto, foi retirado de forma mais eficiente o teor de finos presentes na brita calcária.

Em suma, a trabalhabilidade em 60% dos traços de concretos com beneficiamento do agregado graúdo melhorou. Este fato pode ser explicado pelo peneiramento realizado em cada fração da brita utilizada na moldagem dos traços A1, A2, A3, A4 e A5, como houve a necessidade de separar cada fração, o beneficiamento para eliminação do teor de finos foi executado de maneira mais eficiente, visto que a brita foi peneirada por mais tempo.

Apesar disto, a utilização da brita beneficiada granulometricamente na confecção dos traços de concreto utilizados neste trabalho resultou na perda de resistência à compressão na ordem de 4 a 11%. O que nos leva a observar que para obtenção deste resultado foi devido a ocupação dos vazios, ou seja, relação direta entre o fator de empacotamento e resistência à compressão do concreto para esses traços.

5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Verificar a resistência a flexão dos traços produzidos neste trabalho;
- Verificar a resistência a fadiga dos traços produzidos;
- Verificar a zona granulométrica ideal para maior resistência à compressão do concreto;
- Verificar e quantificar os vazios do concreto confeccionado;
- Confeccionar corpos de prova com traços diferentes dos realizados neste trabalho, para análise da resistência à compressão;

REFERÊNCIAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia Básico de Utilização do Cimento Portland. 7ªed. São Paulo: ABCP, 2002. 28p.

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. 2013. Disponível em < <http://www.abcp.org.br/> >. Acesso em 08 de Agosto de 2018.

ABESC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL. **Manual do concreto dosado em central**. 2007. 35 f. São Paulo.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768 – Aditivos químicos para cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro: 2011. 19p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655 – Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015. 23p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900 – Água para amassamento do concreto**. Rio de Janeiro, 2009. 11p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 – Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016. 6p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007. 9p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014. 256p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211 – Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2009. 9p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7225- Materiais de pedra e agregados naturais**. Rio de Janeiro, 1993. 4p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7809 – Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2006. 3p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776 – Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro, 1987. 3p.

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006. 8p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46 - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 51 - Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles"**. Rio de Janeiro, 2001. 6p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009. 6p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53 - Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009. 8p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998. 8p.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de Construção**. São Paulo: Pini, 2012. 459 p.

ANDOLFATO, R. P. **Controle tecnológico básico do concreto**. Universidade Estadual Paulista. Nepae. Ilha Solteira, 2002.

BARDELLA, P. S. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com os cimentos Portland de alta resistência inicial e de alto-forno aditivados com sílica ativa curados termicamente**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

BARANHUK, A.D.. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO EMPACOTAMENTO DOS AGREGADOS NA POROSIDADE DO CONCRETO**. 2014. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BASTOS, P. S. S. **Fundamento do Concreto Armado: notas de aula**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2006. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTOS.pdf>> Acesso em: 07 de Janeiro de 2019.

BAUER, F. **Materiais de Construção**. 5º Ed. São Paulo: LTC, 2015.

BUEST, G. T. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CARVALHO, R. C. FILHO, J. R. F. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014. 4ª ed. São Carlos, EdUFSCar, 2016. 415p.

FERREIRA, G. E. ; SILVA, V. S. **Estudo do mercado nacional de agregados**, 2003. P.1-15 (Relatório de pesquisa).

FONSECA, J. G. **Uso de brita calcária em concreto**. Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Mossoró/RN, 2016.

HAGEMANN, S. E. **Apostila de Materiais de Construção Básicos**. Universidade Aberta do Brasil e Instituto Federal Sul-rio-grandense, 2011. Disponível em:< http://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/_pdf/apostila_mcb.pdf>, acesso em 07 de janeiro de 2019.

HELENE, P.; ANDRADE, T.. **Concreto de Cimento Portland**. Capítulo 29. In: ISAIA, Geraldo (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2 ed. IBRACON, 2010. v.1 & v.2. p. 945-984.

HEMETO BUENO, C.F. **Tecnologia de materiais de construção**. 2000. 193 f. Dissertação (Mestrado em minerais industriais) - Universidade Federal de Viçosa, Mato Grosso, 2000.

LENZ, L.A. **AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO EMPACOTAMENTO DO ESQUELETO GRANULAR NO MÓDULO DE ELASTICIDADE DE CONCRETOS CONVENCIONAIS**. 2016. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MONSON, A.R. et al. Influência do Empacotamento da Estrutura Granular na Resistência à Compressão de Concretos Utilizados Para a Fabricação de Postes Duplo T. **Revista Eletrônica Multidisciplinar Unifacear**, Araucária, v. 2317, n. 2316, p.6-13, ago. 2018.

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

MAMLOUK, M. S.; ZANIEWSKI, John P.. **Materials for Civil and Construction Engineers**. Santo Antonio: Pearson, 2011.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448p.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**. 2ª Edição, Ed. Pini. São Paulo. 1997.

PAIVA FILHO, J. C. **ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E CONSISTÊNCIA DE CONCRETO PRODUZIDO COM BRITA CALCÁRIA E ADITIVO PLASTIFICANTE**. 2017. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2017.

PEREIRA, D. D. **Avaliação da influência de plastificante na trabalhabilidade do concreto com brita calcária beneficiada para eliminar o material pulverulento**. Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Mossoró/RN, 2016.

QUARESMA, L. F.. Agregados para construção civil. **Perfil de brita para construção civil**. MME. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA Contrato N° 48000.003155/2007-17: Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodecenal (2010-20130) de geologia, mineração e transformação mineral. Bando Internacional para a reconstrução e desenvolvimento. 2009. Disponível em <
http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P22_RT30_Perfil_de_brita_para_const_ruxo_civil.pdf/01c75ac7-ecd2-4d85-a127-3ecddecba2a31 >. Acesso em 04 de Agosto de 2018.

REALMIX. Tecnologia do Concreto: Informativo técnico. Ano 2, N° 2, Julho de 2006.

RIPPER, E. **Manual Prático de Materiais de Construção**. São Paulo: PINI, 1995.
RODRIGUES, P.

ROMANO, R. C. de O.; CARDOSO, F. A.; PILLEGGI, R. G. **Propriedades do Concreto no Estado Fresco**. in ISAIA G. C., **Concreto: ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011. 931 p.

ROSENDO SOBRINHO, F. **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO COM BRITA CALCÁRIA E ADITIVO ATRAVÉS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL UTILIZANDO A CORRELAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS**. 2015. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi Árido, Mossoró, 2015.

SAMPAIO, J. A. e ALMEIDA, S. L. M. de. Calcário e Dolomito. CETEM -Centro de Tecnologia Mineral. 2008. Disponível em:
<<http://www.cetem.gov.br/agrominerais/livros/16-agrominerais-calcario-dolomito.pdf>>
Acesso em: 08 de Janeiro de 2019.

SILVA JÚNIOR, F.A. **Avaliação do efeito da adição do resíduo de borracha de pneu e brita calcária na formação de compósito cimentícios**. 2014. 183 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2015.

SILVA, M. R.. **Materiais de Construção**. São Paulo: Pini, 1985. 266 p.

SILVA, N. G. **Argamassas de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, 2006, Curitiba.

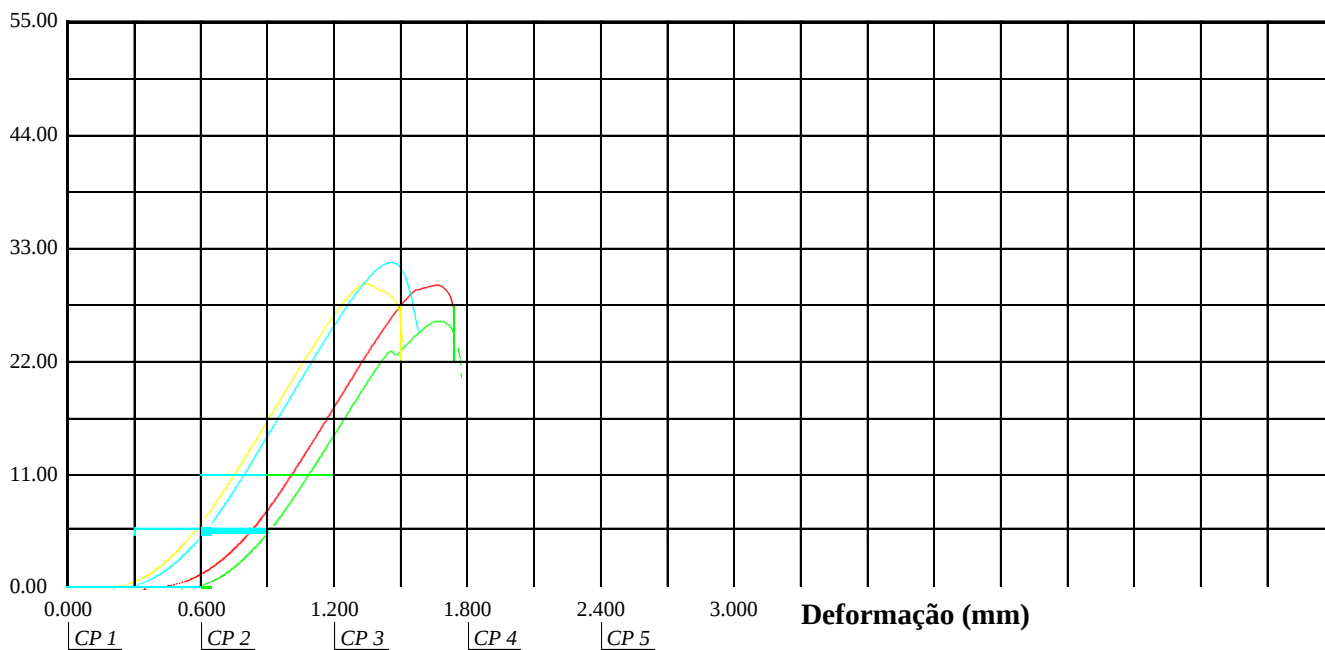
SOBRAL, E. S.. **Propriedades do Concreto Fresco**. Rio de Janeiro: LTC –Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A., 2000. 447 p. (Materiais de Construção, v. 1).

SOUZA, F. B.; NETTO, A. L. R.; SILVA, D. S.; SILVA, B. V. Análise comparativa das propriedades de concretos convencionais com substituição parcial do cimento Portland por cinza da casca de arroz. **Revista Iniciação Científica**, v. 12, n. 1, 2014, Criciúma, Santa Catarina.

TAYLOR, H.F.W. **Enciclopedia de la química industrial - la química de los cementos.** v. 1. Bilbao-Espanha: URMO, 1967.

TUTIKIAN, B.; HELENE, Paulo. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland.** In: Geraldo C. Isaia. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** 1 ed. São Paulo: Ibracon, 2011, v. 1, p. 415-451.

ANEXOS



IFRN - Laboratório de Materiais de Construção (LMC)

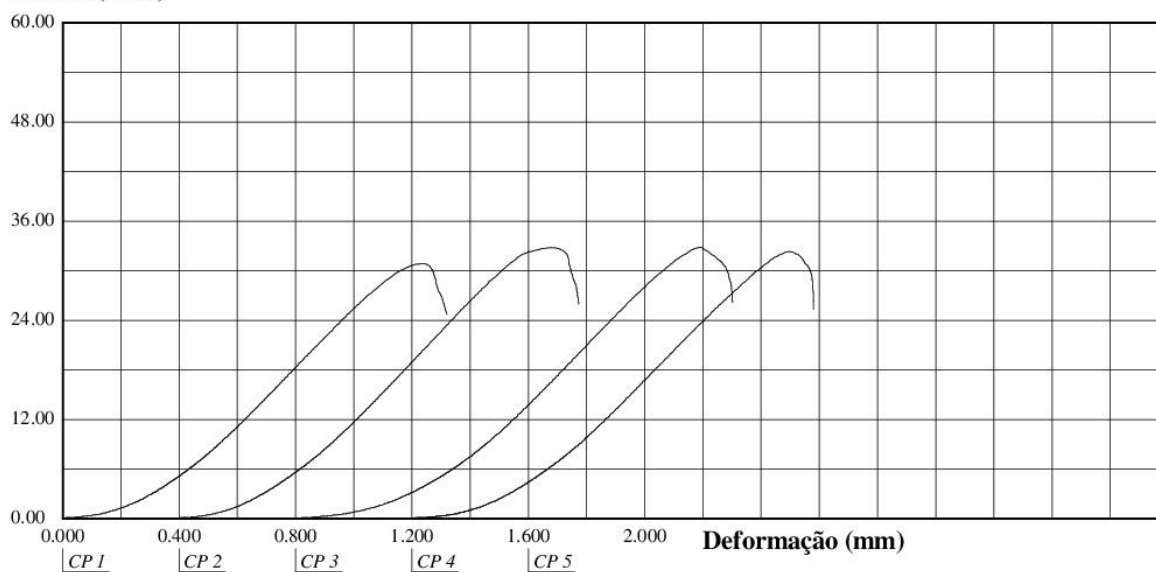
Determinação da Resistência à Compressão de corpos-de-prova de concreto

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic SSH300** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **12/03/2018** Hora: **00:24:38** Trabalho n° **1521**
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CP 10x20 MET LUIZ AILTON Ruptura**
 Ident. Amostra: >>>>>>>> Identificação da Amostra: **ALISSON RUAN** Número do Pedido: **TRAÇO A2** Produto: **28 dias**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Força Máxima (kN)	Força Ruptura (kN)	Tensão Máxima (MPa)	Tensão Ruptura (MPa)	Módulo Elástico (MPa)	Deformação Máxima (mm)
CP 1	100.00	242.95	*	30.93	*	7270	1.24
CP 2	100.00	257.78	*	32.82	*	7438	1.28
CP 3	100.00	258.48	*	32.91	*	7281	1.39
CP 4	100.00	254.27	*	32.37	*	7163	1.30
Número CPs	4	4	0	4	0	4	4
Média	100.0	253.4	*	32.26	*	7288	1.305
Mediana	100.0	256.0	*	32.60	*	7275	1.291
Desv.Padrão	0.0000	7.187	*	0.9150	*	113.2	0.06403
Coef.Var.(%)	0.0000	2.836	*	2.836	*	1.553	4.908
Mínimo	100.0	243.0	*	30.93	*	7163	1.243
Máximo	100.0	258.5	*	32.91	*	7438	1.393

Tensão (MPa)



IFRN - Laboratório de Materiais de Construção (LMC)

Determinação da Resistência à Compressão de corpos-de-prova de concreto

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic SSH300** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **12/03/2018** Hora: **00:39:58** Trabalho n° **1522**
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **CP 10x20 MET LUIZ AILTON Ruptura**
 Ident. Amostra: >>>>>>>> Identificação da Amostra: **ALISSON RUAN** Número do Pedido: **TRAÇO A3** Produto: **28 dias**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Força Máxima (kN)	Força Ruptura (kN)	Tensão Máxima (MPa)	Tensão Ruptura (MPa)	Módulo Elástico (MPa)	Deformação Máxima (mm)
CP 1	100.00	286.31	*	36.45	*	7629	1.48
CP 2	100.00	249.42	*	31.76	*	7079	1.47
CP 3	100.00	274.37	*	34.93	*	7636	1.37
CP 4	100.00	244.50	*	31.13	*	7436	1.32
Número CPs	4	4	0	4	0	4	4
Média	100.0	263.6	*	33.57	*	7445	1.410
Mediana	100.0	261.9	*	33.35	*	7533	1.418
Desv. Padrão	0.0000	19.98	*	2.544	*	260.9	0.07546
Coef. Var. (%)	0.0000	7.579	*	7.579	*	3.505	5.353
Mínimo	100.0	244.5	*	31.13	*	7079	1.324
Máximo	100.0	286.3	*	36.45	*	7636	1.479

Tensão (MPa)

