



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GERRY FELICIO SILVA PINTO

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS AGREGADOS GRAÚDOS, BRITAS CALCÁRIA E
GRANÍTICA, PARA UTILIZAÇÃO EM CONCRETO**

MOSSORÓ/RN

2019

GERRY FELICIO SILVA PINTO

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS AGREGADOS GRAÚDOS, BRITAS CALCÁRIA E
GRANÍTICA, PARA UTILIZAÇÃO EM CONCRETO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, Departamento de Engenharia e Ciências Ambientais – DECAM, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia 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.

P659a Pinto, Gerry Felício.

ANÁLISE COMPARATIVA DOS AGREGADOS GRAÚDOS,
BRITAS CALCÁRIA E GRANÍTICA, PARA UTILIZAÇÃO EM
CONCRETO / Gerry Felício Pinto. - 2019.
51 f. : il.

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

1. Concreto. 2. Agregado. 3. Resistência à
compressão. 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.

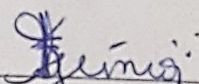
GERRY FELICIO SILVA PINTO

ANÁLISE COMPARATIVA DOS AGREGADOS GRAÚDOS, BRITAS CALCÁRIA E
GRANÍTICA, PARA UTILIZAÇÃO EM CONCRETO

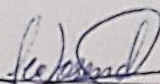
Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Mossoró, Departamento de Engenharia e
Ciências Ambientais – DECAM como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

APROVADO EM 24/03/2019

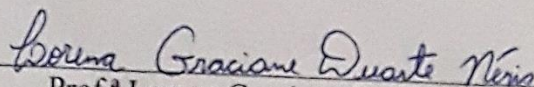
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Francisco Alves da Silva Júnior – UFERSA
Orientador – Presidente



Prof. Me. Francisco Rosendo Sobrinho – UFERSA
Primeiro Membro



Prof.ª Lorena Graciane Duarte Neris – UFERSA
Segundo Membro

*A Deus, a minha família e a Auricélia Pereira,
dedico este trabalho, que é fruto de muito
esforço e dedicação, ele é minha retribuição
por tudo.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as maravilhas que realiza em minha vida, por ser o meu suporte, sem Ele eu não conseguiria.

Agradeço ao meu Orientador pela disponibilidade e pelos conselhos, eles foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Agradeço a Banca Examinadora pela disponibilidade e por auxiliar na melhoria do trabalho.

Agradeço a minha família e a minha namorada por depositarem toda confiança em mim, o suporte emocional que me deram foi extremamente importante.

Agradeço aos meus amigos por compartilharem suas experiências comigo, aprendi muito com vocês.

“Se eu enxerguei mais longe que Descartes é porque me sustentei sobre os ombros de gigantes.”

Isaac Newton

RESUMO

Na produção de concreto, o agregado graúdo utilizado, majoritariamente, vem de rochas graníticas, devido a sua alta resistência e pouca alteração de suas propriedades. Também se utiliza brita calcária, mas em escala bastante menor devido a resultados insatisfatórios. Em contra partida, a disponibilidade de calcário é vasta. Os estados do Rio Grande do Norte e do Ceará possuem a maior reserva de calcário do Brasil, explorado principalmente para fabricação de cimentos. Todavia, nem todo o calcário disponível nesta região serve para a fabricação de cimentos, sendo classificado como material de segundo plano que não possui ainda uma destinação amplamente conhecida. Uma alternativa seria sua utilização como pedra a ser britada, porém sua alta absorção de água e o teor de finos, acarretam no aumento da relação água/cimento na dosagem do concreto, provocando queda da resistência e excessiva fluidez. Caso comprovado que a brita calcária alcance resultados tão satisfatórios quanto os da brita granítica, o material de segundo plano do calcário explorado para fabricação de cimento teria um destino, o que pode contribuir para a sustentabilidade do processo. Desta forma, o objetivo deste trabalho é analisar comparativamente as características das britas granítica e calcária para utilização em concreto como agregado graúdo, analisando a resistência à compressão dos concretos. Para tanto, procedeu-se a caracterização das britas e avaliou-se as características dos concretos nos estados fresco e endurecido. De acordo com a caracterização, observou-se que a brita granítica se enquadra melhor nas especificações da norma referente a agregados graúdos para concreto. O concreto com brita calcária alcançou valores de resistência à compressão bastante superiores aos do concreto com brita granítica. Porém, a comparação destes resultados foi prejudicada, pois a não utilização do plastificante nos traços com brita granítica tornou o fator água/cimento destes traços insuficientes, afetando a mistura e moldagem do concreto.

Palavras-chave: Concreto. Agregado. Resistência à compressão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma dos ensaios realizados.....	26
Figura 2 – Medida do comprimento da brita	27
Figura 3 – Medida da espessura da brita	28
Figura 4 – Amostra submergida em água.....	30
Figura 5 – Pesagem hidrostática.....	30
Figura 6 – Abatimento do tronco de cone	32
Figura 7 – Moldagem dos corpos de prova	33
Figura 8 – Ensaio de compressão axial	34
Figura 9 – Curva granulométrica do agregado miúdo utilizado.....	36
Figura 10 – Curvas granulométricas das britas granítica e calcária e limites estabelecidos pela ABNT NBR 7211:2009 para a zona 9,5/25.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Traços utilizados.....	32
Tabela 2 – Resultados de massa específica, massa unitária e material pulverulento	35
Tabela 3 – Composição granulométrica do agregado miúdo	35
Tabela 4 – Análise granulométrica da brita granítica.....	37
Tabela 5 – Análise granulométrica da brita calcária	37
Tabela 6 – Comparação entre os limites da composição granulométrica da ABNT NBR 7211/2009 e os obtidos nos ensaios.....	38
Tabela 7 – Abrasão “Los Angeles” dos agregados graúdos.....	39
Tabela 8 – Massas unitárias das britas granítica e calcária	40
Tabela 9 – Massas específicas e absorção de água das britas granítica e calcária	40
Tabela 10 – Teor de material pulverulento das britas granítica e calcária	41
Tabela 11 – Resistência à compressão para concreto com brita granítica, em MPa	41
Tabela 12 – Resistência à compressão para concreto com brita calcária, em MPa.....	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Limites da composição granulométrica do agregado graúdo	19
Quadro 2 – Classes de consistência.....	23
Quadro 3 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova ^a	24

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Objetivo geral.....	13
1.2	Objetivos específicos.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Concreto	14
2.1.1	<i>Concreto no estado fresco.....</i>	<i>14</i>
2.1.2	<i>Concreto no estado endurecido.....</i>	<i>15</i>
2.2	Agregado graúdo	16
2.2.1	<i>Brita calcária.....</i>	<i>17</i>
2.2.2	<i>Brita granítica</i>	<i>17</i>
2.3	Caracterização dos agregados	18
2.3.1	<i>Análise granulométrica</i>	<i>18</i>
2.3.2	<i>Índice de forma.....</i>	<i>20</i>
2.3.3	<i>Desgaste por abrasão “Los Angeles”</i>	<i>21</i>
2.3.4	<i>Massa unitária.....</i>	<i>21</i>
2.3.5	<i>Massas específicas e absorção de água</i>	<i>21</i>
2.3.6	<i>Teor de material pulverulento.....</i>	<i>22</i>
2.4	Moldagem e cura dos corpos de prova	23
2.5	Ensaio de resistência à compressão axial	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1	Materiais.....	25
3.2	Métodos	25
3.2.1	<i>Análise granulométrica</i>	<i>26</i>
3.2.2	<i>Índice de forma.....</i>	<i>27</i>
3.2.3	<i>Desgaste por abrasão “Los Angeles”</i>	<i>28</i>
3.2.4	<i>Massa unitária.....</i>	<i>29</i>

3.2.5	<i>Massas específicas e absorção de água</i>	29
3.2.6	<i>Teor de material pulverulento</i>	31
3.2.7	<i>Moldagem e cura dos corpos de prova</i>	31
3.2.8	<i>Ensaio de resistência à compressão axial</i>	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1	Agregado miúdo	35
4.2	Agregados graúdos	36
4.2.1	<i>Análise granulométrica</i>	36
4.2.2	<i>Índice de forma</i>	39
4.2.3	<i>Desgaste por abrasão “Los Angeles”</i>	39
4.2.4	<i>Massa unitária</i>	39
4.2.5	<i>Massas específicas e absorção de água</i>	40
4.2.6	<i>Teor de material pulverulento</i>	41
4.3	Resistência à compressão	41
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICE	48

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Portal do Concreto (2016), os agregados representam cerca de 80% do peso do concreto e são eles que, além de influenciarem benéficamente na retração e na resistência, podem definir várias características em um concreto, que variam com o tamanho, a densidade e a forma dos grãos dos agregados.

No Brasil, cerca de 85% da brita produzida vem de granito/gnaiss, 10% de calcário/dolomito e 5% de basalto/diabásio (QUARESMA, 2009). A larga utilização da brita granítica está fundamentada na credibilidade atribuída pelos consumidores, pois a brita granítica possui, relativamente, alta resistência e pouca alteração de suas características mineralógicas. Já a brita calcária possui características diferentes, o que requer estudos detalhados para averiguar a viabilidade ou não de utilizá-la como agregado graúdo. O baixo índice de utilização de brita calcária como agregado graúdo pode ser visto como um indicativo do pouco conhecimento de sua utilização como agregado.

A brita granítica, historicamente, apresenta resultados mais satisfatórios se comparados aos da brita calcária. Porém, diante da disponibilidade de calcário no Brasil, estudar a possibilidade de utilizar a brita calcária como agregado graúdo torna-se justificável. Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (2011), os estados do Rio Grande do Norte e do Ceará têm aflorando mais de 20 mil quilômetros quadrados de rocha calcária e profundidade que varia de 50 a 400 metros. A rocha calcária explorada nessas regiões é utilizada como matéria-prima para diversos produtos da construção civil, indústria química, açucareira, entre vários outros segmentos industriais.

De acordo com Silva Júnior (2014), nem todo o calcário disponível nesta região serve para a fabricação de cimentos (que é a principal utilização do calcário explorado na região), sendo classificado como material de segundo plano. Este material não possui ainda uma destinação amplamente conhecida, e sua utilização como pedra a ser britada ainda necessita de investigações. Caso comprovado que a brita calcária alcança resultados tão satisfatórios quanto a brita granítica, teríamos um destino amplo para o material de segundo plano do calcário explorado para fabricação de cimento, o que contribuiria para a sustentabilidade do processo.

A grande disponibilidade de calcário na região sem destinação certa deve ser entendida como o principal fator impulsionador de estudos que melhor definam e caracterizem a rocha calcária como agregado graúdo utilizado na formulação de concreto. O foco principal desses estudos é vencer as barreiras nas quais se sustentam as justificativas da não utilização deste material, que são a alta absorção de água por parte da brita calcária e o teor de finos, o que

acarreta o aumento da relação água/cimento na dosagem do concreto, provocando queda da resistência e excessiva fluidez. Portanto, é preciso determinar traços de concreto utilizando brita calcária que resultem em padrões tão aceitáveis quanto os padrões do concreto utilizando brita granítica.

1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar comparativamente as características das britas granítica e calcária para utilização em concreto como agregado graúdo, de acordo com as determinações da ABNT NBR 7211/2009: Agregados para concreto – Especificação. E também, comparar os resultados de resistência à compressão dos concretos utilizando os dois tipos de brita como agregado graúdo.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar ensaios de caracterização com a brita granítica;
- Verificar se os resultados de distribuição granulométrica estão dentro dos limites estabelecidos pela ABNT NBR 7211/2009 para agregados graúdos, através da elaboração das curvas granulométricas;
- Verificar se o índice de forma, o desgaste por abrasão, a absorção de água e o teor de material pulverulento, estão dentro dos limites estabelecidos pela ABNT NBR 7211/2009 para agregados graúdos;
- Verificar se a massa unitária e a massa específica estão de acordo com recomendações;
- Comparar os resultados dos ensaios de caracterização da brita granítica com os resultados da caracterização da brita calcária cedidos por Dantas (2018), bem como verificar se estes últimos estão em conformidade com as especificações;
- Realizar ensaios de resistência à compressão axial com os corpos de prova de concreto utilizando brita granítica;
- Comparar os resultados de resistência à compressão do concreto utilizando brita granítica com os resultados do concreto utilizando brita calcária cedidos por Dantas (2018).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), o concreto é o material mais utilizado na construção civil, obtido, na maioria das vezes, por meio da mistura de cimento Portland, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita) e água.

Referindo-se aos componentes constituintes do concreto, Bastos (2006) explica que a pasta é o cimento misturado com a água. Já a argamassa é a pasta misturada com a areia (agregado miúdo). Por fim, o concreto é a argamassa misturada com a brita (agregado graúdo), também chamado concreto simples (concreto sem armaduras).

Andolfato (2002), afirma que o concreto em seu estado fresco tem consistência plástica, podendo ser moldado, na forma e dimensões desejadas, bastando lançar a massa fresca no interior de formas. Já o concreto no estado endurecido tem elevada resistência à compressão, mas baixa resistência à tração. De acordo com Almeida (2002), para se obter um concreto resistente, durável, econômico e de bom aspecto, deve-se estudar:

- As propriedades de cada um dos materiais componentes;
- As propriedades do concreto e os fatores que podem alterá-las;
- O correto proporcionamento de materiais constituintes do concreto e a execução cuidadosa da mistura;
- O modo de executar o controle do concreto durante a fabricação e após o endurecimento.

As principais propriedades mecânicas do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios, executados em condições específicas. Geralmente, os ensaios são realizados para controle da qualidade e atendimento às especificações. (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004. p. 1)

2.1.1 Concreto no estado fresco

Segundo Araújo, Rodrigues e Freitas (2000, p. 51), “O concreto fresco é assim considerado até o momento em que tem início a pega do aglomerante” e suas propriedades desejáveis devem garantir uma mistura fácil de transportar, lançar e adensar, sem segregação. As características fundamentais do concreto nesse estado são:

- **Consistência:** é o grau de fluidez do concreto fresco, ou seja, está relacionada com a mobilidade da massa, principalmente influenciada pela relação entre teor de água e materiais secos. O concreto pode ser classificado em seco ou úmido, plástico e fluido, dependendo da consistência. Em geral, nas obras são utilizados concretos de consistência plástica por apresentarem facilidade de serem moldados e de deslizar entre as armaduras, sem que haja separação de seus componentes. No Brasil, o procedimento mais utilizado para determinar a consistência é o ensaio de abatimento de tronco de cone.
- **Plasticidade:** é o grau de facilidade do concreto fresco ser moldado sem se romper. Está intimamente ligada a consistência e ao grau de coesão entre os componentes do concreto. Sem coesão ocorre segregação, que pode ser durante o transporte, lançamento, adensamento ou por ação da gravidade. O grau de plasticidade correto é extremamente importante para que não apareçam vazios na peça depois de concretada. Os agregados miúdos influenciam de forma preponderante sobre a plasticidade do concreto por possuírem área específica maior.
- **Poder de retenção de água:** pode ser definido como o oposto da exsudação, que é o fenômeno em que a água se separa da massa e sobe para a superfície da peça concretada. Como consequência da exsudação tem-se um concreto poroso e menos resistente. Esse fenômeno ocorre quando no lançamento do concreto a parte sólida não consegue reter a água de amassamento, isso é devido à pouca porcentagem de finos. Para aumentar o poder de retenção de água deve-se alterar a dosagem do concreto, aumentando-se a proporção de finos e o teor de cimento
- **Trabalhabilidade:** maior ou menor facilidade do concreto fresco atender a determinado fim. Para que o concreto seja considerado trabalhável, este deve apresentar consistência e dimensões máximas dos agregados adequadas ao tipo da obra a que se destina.

2.1.2 Concreto no estado endurecido

De acordo com Araújo, Rodrigues e Freitas (2000, p. 51), “O concreto endurecido é o material que se obtém pela mistura dos componentes, após o fim da pega do aglomerante” e as propriedades que o concreto endurecido deve possuir são:

- **Resistência mecânica:** destaca-se a resistência à compressão, à tração, à flexão e ao cisalhamento. A mais conhecida e amplamente discutida é a resistência à compressão, pois é a maneira que o concreto melhor resiste. Toma-se como base a resistência característica à compressão (f_{ck}), adotada para o cálculo, em que se admite a probabilidade da ocorrência de apenas 5% de resistência à compressão menor do que ela. O concreto demora para completar seu processo de endurecimento, porém, para o cálculo, considera-se a resistência do concreto na idade de 28 dias. A resistência do concreto está altamente ligada com o fator água/cimento, quanto menor este, maior será a resistência. Porém, deve haver um mínimo de água para reagir com todo o cimento e dar a trabalhabilidade necessária.
- **Durabilidade:** é a capacidade que o concreto possui de resistir à ação do tempo, aos ataques químicos, à abrasão ou a qualquer outra ação de deterioração. Depende, entretanto, do tipo de ataque, físico ou químico, que o concreto, depois de endurecido, será submetido, devendo ser analisado criteriosamente antes da escolha dos materiais e da dosagem. Quanto a abrasão ou a erosão, a durabilidade está diretamente ligada a resistência do concreto.
- **Impermeabilidade:** está relacionada com a durabilidade. Um concreto impermeável impede o acesso de agentes agressivos.
- **Aparência:** depois de endurecido o concreto deve apresentar aspecto visual em conformidade com os padrões estabelecidos em projeto.

2.2 Agregado graúdo

A ABNT NBR 9935/2011: Agregados – Terminologia, define agregado como “material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto”.

Os agregados constituem um componente importante no concreto, contribuindo com cerca de 80% do peso e 20% do custo de concreto estrutural sem aditivos, de f_{ck} da ordem de 15 MPa. Suas características apresentam larga gama de variação, o que os leva, na tecnologia do concreto, a ser submetidos a acurado estudo e a controle de qualidade tanto antes como durante a execução da obra. (BAUER, 2008. p. 104)

Em se tratando de concreto, a ABNT NBR 7211/2009: Agregados para concreto – Especificação define agregado graúdo como “agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 4,75 mm”.

A classificação comercial para os agregados graúdos de acordo com as dimensões, classifica os agregados em faixas com dimensões limites e cada faixa tem função específica na construção civil. De acordo com Quaresma (2009) a classificação é feita da seguinte forma, em que o parâmetro considerado é o diâmetro médio geométrico (DMG) que é a média das dimensões do agregado:

- Brita 0 ou pedrisco: granulometria variando de 4,8 mm a 9,5 mm;
- Brita 1: granulometria variando de 9,5 mm a 19 mm;
- Brita 2: granulometria variando de 19 mm a 25 mm;
- Brita 3: granulometria variando de 25 mm a 50 mm;
- Brita 4: granulometria variando de 50 mm a 76 mm;
- Brita 5: granulometria variando de 76 mm a 100 mm.

2.2.1 Brita calcária

De acordo com Aoki (2007), o calcário é composto principalmente por Carbonato de Cálcio ($CaCO_3$) e encontra-se distribuído de forma abundante na superfície terrestre sob diversas formas, de acordo com a época e tipo de formação. Recebendo diversos nomes, como marga ou calcita. O calcário é classificado segundo esse teor de óxido de magnésio, em três tipos: Calcítico, teor de Óxido de Magnésio (MgO) inferior a 4%; Dolomítico, teor de MgO entre 4% e 18%; e Magnesiano, teor de MgO superior a 18%. Ainda segundo o autor supracitado, assim como em outros minerais, o calcário possui elementos indesejáveis. No caso do calcário para a fabricação de cimento, a impureza mais indesejável é o óxido de magnésio (MgO), e sua presença aumenta a cautela na exploração de jazidas.

2.2.2 Brita granítica

Segundo La Serna e Rezende (2013, p. 603), “granitos são rochas plutônicas ácidas constituídas por cristais de feldspatos potássicos, plagioclásio, quartzo e mica”. Em suas variedades, os granitos apresentam coloração avermelhada, cinza, amarela, rosada, entre outras.

A resistência mecânica das rochas granítica é relativamente alta e, além disso, são pouco alteradas, o que as credenciam para serem utilizadas como pedra britada.

Como já mencionado anteriormente, a brita granítica é amplamente utilizada pra formulação de concretos no Brasil. A sua pronta disponibilidade, somada a sua boa resistência e pouca alteração de suas características mineralógicas, se traduz em excelentes resultados com relação a mistura de concreto, o que não facilita a concorrência para outros tipos de brita.

2.3 Caracterização dos agregados

Segundo Tecnosil (2018), as características dos agregados, tais como porosidade, distribuição granulométrica, absorção de água, fôrma, resistência à compressão e tipo de substâncias presentes, resultam da composição mineralógica da rocha, das condições de exposição às quais a rocha foi submetida antes de produzir o agregado e o tipo de equipamento para a produção do agregado. Sendo tais características relevantes para a composição do concreto e daí a importância de se realizar ensaios que caracterizem o agregado e quantifiquem essas características, a fim de determinar se o agregado está apto ou não para ser utilizado na composição do concreto.

A ABNT NBR 7211 (2009, p. 4) estabelece que os agregados para concreto “devem ser compostos grãos de minerais duros, compactos estáveis, duráveis e limpos”. A norma citada anteriormente estabelece requisitos que definem se os agregados devem ou não ser utilizados na formulação de concretos. Estes requisitos estão relacionados com a distribuição granulométrica, com a forma dos grãos, com o desgaste, com as substâncias nocivas presentes e com a durabilidade.

2.3.1 Análise granulométrica

Segundo Varela ([2018] data provável, p. 2), a granulometria dos agregados pode ser definida como “a distribuição, em porcentagem, dos diversos tamanhos de grãos. É a determinação das dimensões das partículas do agregado e de suas respectivas porcentagens de ocorrência”. E o motivo pelo qual se determina a composição granulométrica dos agregados é devido a granulometria ter grande influência nas propriedades dos concretos. A sua determinação é dada por meio de peneiramento, cujo objetivo é conhecer a distribuição granulométrica do agregado e representá-la através de uma curva, possibilitando a determinação de suas características físicas.

No Brasil, a análise granulométrica dos agregados deve ser realizada conforme ABNT NBR NM 248/2003: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Além da curva granulométrica, outros dois parâmetros obtidos são:

- Módulo de finura: é a soma dos percentuais acumulados em todas as peneiras da série normal, dividida por 100. Quanto maior o módulo de finura, maiores são os grãos do agregado;
- Diâmetro máximo do agregado: corresponde à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

A ABNT NBR 7211/2009 estabelece os limites para cada fração da distribuição granulométrica dos agregados graúdos, apresentados no Quadro 1. Essa mesma norma estabelece também a seguinte classificação para módulo de finura do agregado miúdo:

- 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.

Quadro 1 – Limites da composição granulométrica do agregado graúdo

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

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

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

Fonte: ABNT NBR 7211/2009

2.3.2 Índice de forma

De acordo com a ABNT NBR 7809/2006: Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio, o índice de forma pode ser definido como a média da relação entre o comprimento e a espessura dos grãos do agregado, ponderada pela quantidade de grãos de cada fração granulométrica que o compõe.

A forma diz respeito às características geométricas, tais como arredondada, angulosa ou achatada. Partículas formadas por atrito tendem a ser arredondadas, pela perda de vértices e arestas, como por exemplo, areias de depósitos eólicos, assim como areias e pedregulhos de zonas marítimas ou leitos de rio. Agregados de rochas intrusivas britadas, como calcários estratificados e folhelho, possuem vértices e arestas bem definidos e são chamados de angulosos. Aquelas partículas cuja espessura é relativamente pequena em relação a outras dimensões, são chamadas de lamelares ou achatadas, enquanto aquelas cujo comprimento é consideravelmente maior do que as outras duas dimensões são chamadas de alongada (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

As partículas alongadas, em forma de lâmina, devem ser evitadas ou limitadas a no máximo 15%, em massa, do total do agregado. A forma e a textura das partículas dos agregados influenciam mais as propriedades no concreto fresco do que no endurecido; comparadas às partículas lisas e arredondadas, as partículas de textura áspera, angulosas e alongadas requerem mais pasta de cimento para produzir misturas trabalháveis e, portanto, aumentam o custo do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A norma que descreve o ensaio para determinação do índice forma, ABNT NBR 7809/2006, estabelece que devem ser analisados 200 grãos e a quantidade de grãos para cada fração deve ser calculada conforme a seguinte equação:

$$N_i = \frac{200}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

200, é número total de grãos necessários para o ensaio;

N_i , é número de grãos para medição da fração i ;

F_i , é a porcentagem retida individual da fração i .

2.3.3 Desgaste por abrasão “Los Angeles”

Segundo o Clube do Concreto (2018), “resistência à abrasão é a resistência ao desgaste superficial dos grãos de agregado quando é submetido ao atrito. Mede, portanto a capacidade do agregado não se alterar (quebrar) quando manuseado”. O ensaio para determinar o desgaste por abrasão é realizado conforme a ABNT NBR NM 51/2001: Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”.

A resistência à abrasão é medida em uma máquina chamada “Los Angeles”, composta por um tambor cilíndrico que gira durante um tempo estabelecido com agregado juntamente com bolas de ferro fundido no seu interior, o impacto das bolas com o agregado provoca o desgaste dos grãos. Inicialmente, a amostra possui uma granulometria e massa definidas. Depois do atrito, a amostra é peneirada e lavada para medir o desgaste. A ABNT NBR 7211/2009 estabelece que o índice de desgaste por abrasão não deve ser superior a 50% em massa do material inicial.

2.3.4 Massa unitária

Segundo o Clube do Concreto (2013), “massa unitária de um agregado é a relação entre sua massa e seu volume sem compactar, considerando-se também os vazios entre os grãos. É utilizada para transformar massa em volume e vice-versa”. A principal utilização da massa unitária é a aplicação em concreto dosado em volume. Utiliza-se, também, a massa unitária para controle de recebimento e estocagem de agregados em volumes e como parâmetro para classificação do agregado quanto à densidade.

2.3.5 Massas específicas e absorção de água

Propriedades dos agregados como massa específica, massa específica aparente e absorção de água são muito importantes para a dosagem do concreto. A ABNT NBR NM 53/2009: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água apresenta as definições e equações para o cálculo das seguintes propriedades:

- Massa específica do agregado seco (d): é a relação entre massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis. É calculada conforme a equação seguinte:

$$d = \frac{m}{m - m_a} \quad \text{Equação (2)}$$

- Massa específica do agregado na condição saturado superfície seca (d_s): é a relação entre a massa do agregado saturado com superfície seca e o seu volume, excluindo os poros permeáveis. É calculada conforme a equação seguinte:

$$d_s = \frac{m_s}{m_s - m_a} \quad \text{Equação (3)}$$

- Massa específica aparente (d_a): é a relação entre massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis. É calculada conforme a equação seguinte:

$$d_a = \frac{m}{m_s - m_a} \quad \text{Equação (4)}$$

- Absorção de água (A): é o aumento de massa do agregado devido ao preenchimento de seus poros permeáveis por água, expressa em porcentagem de sua massa seca. É calculada conforme a equação seguinte:

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

m é a massa do agregado seco;

m_a é a massa em água;

m_s é a massa do agregado saturado com superfície seca.

Lembrando que as diferenças ($m - m_a$) e ($m_s - m_a$) são numericamente iguais ao volume do agregado com e sem os vazios permeáveis, respectivamente. Os valores das massas específicas são dadas em g/cm^3 .

2.3.6 Teor de material pulverulento

De acordo com a ABNT NBR NM 46/2003: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira $75 \mu m$, por lavagem, material pulverulento equivale as partículas com dimensões inferiores a $75 \mu m$, inclusive os materiais solúveis em água, presentes nos agregados. O material pulverulento é separado das partículas maiores de forma mais eficiente por peneiramento úmido do que por peneiramento seco, por isso utiliza-se o processo por lavagem.

O material pulverulento pode modificar as características físicas e mecânicas do concreto. Esse material pode ser: inerte, cimentante, pozolante ou agente de cristalização. Os efeitos da aplicação de materiais classificáveis entre os tipos mencionados acima variam com

sua natureza característica, bem como, com o proporcionamento e ainda, em relação ao concreto que está sendo adicionado (BAUER, 1982).

A presença de finos na constituição do concreto é indesejável. Pois, um agregado com alto teor de materiais pulverulentos diminui a aderência do agregado à argamassa aumentando a relação água/cimento e prejudicando, assim, a resistência mecânica e a trabalhabilidade do concreto, além de conferir uma excessiva fluidez ao concreto.

A ABNT NBR 7211:2009 estabelece os limites máximos para o teor de material pulverulento. Para agregado miúdo, o limite é de 3%, em massa do agregado, para concreto submetido a desgaste superficial, e 5% para concretos protegidos do desgaste superficial. Para agregado graúdo, o limite é de 1%, porém, quando se tratar de finos originados pela britagem de rocha com absorção de água inferior a 1%, este limite passa para 2%.

2.4 Moldagem e cura dos corpos de prova

Segundo a Téchné (2003), a qualidade do concreto na obra deve ser acompanhada periodicamente e por isso que se fazem testes com corpos-de-prova representativos do concreto, cuja moldagem e acondicionamento são tão importantes quanto a execução dos ensaios em si. Portanto, todos os procedimentos para moldagem e cura dos corpos de prova estabelecidos na ABNT NBR 5738/2015: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova devem ser respeitados.

Antes de iniciar a moldagem dos corpos de prova, é necessário realizar o ensaio de abatimento do tronco de cone conforme a ABNT NBR NM 67/1998: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. O abatimento do concreto permite determinar o método de adensamento, conforme o Quadro 2. Consequentemente, definido o tipo de adensamento e o tipo de corpo de prova, determina-se o número de camadas e número de golpes por camada (se for o caso), conforme o Quadro 3.

Quadro 2 – Classes de consistência

Classe	Abatimento mm	Método de adensamento
S10	$10 \leq A < 50$	Mecânico
S50	$50 \leq A < 100$	Mecânico ou manual
S100	$100 \leq A < 160$	
S160	$160 \leq A < 220$	Manual
S220	$A \geq 220$	

Fonte: ABNT NBR 5738/2015

Quadro 3 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova ^a

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 ^b	3	-	-

^a Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta Tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

^b No caso de dimensão básica de 450 mm, somente é permitido adensamento mecânico.

Fonte: ABNT NBR 5738/2015

Determinados os parâmetros conforme os Quadros acima, realiza-se a moldagem dos corpos de prova respeitando os procedimentos da norma. Em seguida, inicia-se a cura dos corpos de prova até que os mesmos atinjam a idade para o ensaio de compressão axial, geralmente realizado para a idade de 28 dias.

2.5 Ensaio de resistência à compressão axial

De acordo com o Mapa da Obra (2017), a resistência à compressão é a propriedade do concreto diretamente ligada à segurança e à estabilidade estrutural, pois é capaz de indicar eventuais variações da qualidade de um concreto, seja com relação à dosagem, seja quanto a seus insumos. É importante realizar testes laboratoriais para confirmar se a resistência do concreto é a mesma prevista em projeto. Tal controle de qualidade é fundamental para garantir a vida-útil da estrutura, bem como a segurança dos funcionários da obra e de todas as outras pessoas, proprietárias ou não, que irão usufruir do empreendimento no futuro.

O ensaio de resistência à compressão deve ser realizado respeitando os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 5739/2018: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Geralmente realiza-se esse ensaio para a idades dos corpos de prova de 28 dias, que é a resistência considerada nos projetos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho concentra-se em realizar uma análise comparativa entre os agregados graúdos brita calcária e brita granítica para utilização em concreto. De forma mais específica, foram comparados os resultados de resistência à compressão axial.

Os resultados referentes a utilização de brita calcária foram cedidos por Dantas (2018), membro do projeto de pesquisa *Avaliação da utilização de brita calcária na formulação de concretos*, realizado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus Mossoró/RN, e coordenado pelo professor Dr. Francisco Alves da Silva Júnior.

Dessa forma, este trabalho realizou a caracterização da brita granítica, moldagem dos corpos de prova e ensaio de resistência à compressão axial. Destaca-se que foram mantidos os mesmos traços utilizados no trabalho de Dantas (2018) para efeito de comparação, com exceção do plastificante que não foi utilizado.

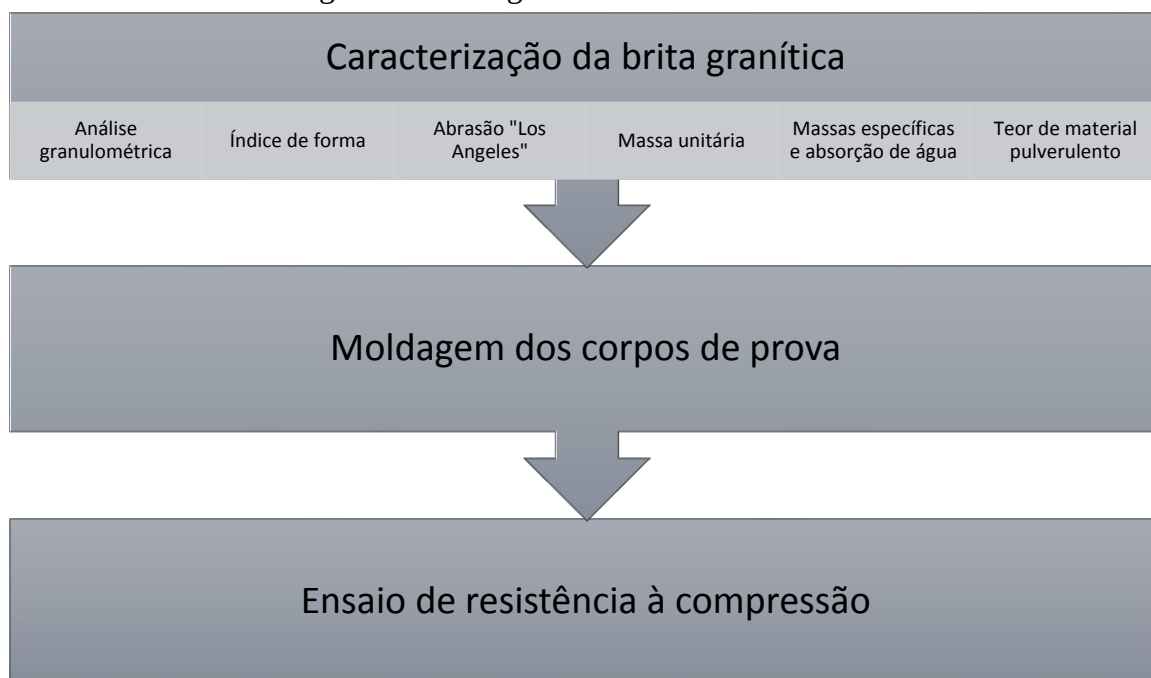
3.1 Materiais

Os materiais utilizados para esta análise foram brita granítica N° 1 (classificação comercial) com dimensão máxima característica de *19 mm*, areia lavada e cimento Portland *CP IV 32 - RS*.

3.2 Métodos

Primeiramente, realizou-se a caracterização da brita granítica através de determinação da distribuição granulométrica; abrasão “Los Angeles”; índice de forma; massa unitária; massa específica, massa específica aparente e absorção de água; teor de material pulverulento. Concluída a caracterização, procedeu-se a moldagem dos corpos de prova para três traços distintos e depois os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial para as idades de 7 e 28 dias. A Figura 1 resume em um fluxograma os ensaios realizados.

Figura 1 – Fluxograma dos ensaios realizados



Fonte: Autoria própria

Vale ressaltar novamente que a caracterização da areia e os ensaios referentes a brita calcária, caracterização (com exceção do desgaste por abrasão “Los Angeles”), moldagem dos corpos e ensaio de resistência à compressão axial, foram realizados por Dantas (2018) em seu trabalho e os resultados cedidos para esta pesquisa, para que se efetue a análise comparativa entre a utilização das britas.

3.2.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica da brita granítica procedeu-se de acordo com a ABNT NBR NM 248/2003. Inicialmente foram separadas duas amostras com *10 kg* de massa (apesar de a norma só exigir um mínimo de *5 kg*). Depois, as amostras foram agitadas e classificadas na sequência de peneiras das séries normal e intermediária, conforme estabelece a norma. Uma observação importante a se fazer é que devido o laboratório não possuir a peneira com abertura de *12,5 mm* foi utilizada a peneira com abertura de *11,2 mm* em seu lugar.

Prosseguindo o ensaio, realizou-se a verificação da massa de material retida em cada peneira em uma balança com precisão de *1g*. Feito isso, com as médias de cada peneira, determinou-se a porcentagem de massa retida acumulada em cada peneira e identificou-se o diâmetro máximo do agregado. Calculou-se ainda o módulo de finura.

3.2.2 Índice de forma

O ensaio para determinar o índice de forma da brita granítica foi realizado de acordo com a ABNT NBR 7809/2006. Primeiramente, o material foi seco em estufa mantida a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até massa constante, com amostra mínima de 5 kg (para abertura da malha da peneira menor ou igual a 19 mm). Em seguida determinou-se a composição granulométrica de acordo com a ABNT NBR NM 248 com o intuito de dividir a amostra em frações. Desprezou-se as frações passantes pela peneira 9,5 mm e aquelas cujas porcentagens, em massa, retidas individuais foram iguais ou menores que 5%.

Para cada fração obtida conforme descrito anteriormente, foi feito o quarteamento até a obtenção do número de grãos determinados de acordo com a *Equação 1*. Em seguida, com um paquímetro de resolução de 0,01 mm, determinou-se as dimensões do comprimento e da espessura de cada grão, cujos procedimentos são ilustrados nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

Figura 2 – Medida do comprimento da brita



Fonte: Autoria própria

Figura 3 – Medida da espessura da brita



Fonte: Autoria própria

3.2.3 Desgaste por abrasão “Los Angeles”

O desgaste por abrasão do agregado na máquina “Los Angeles” realizou-se conforme a ABNT NBR NM 51/2001. Inicialmente, cada fração do material passou por lavagem e secagem em estufa até massa constante. Depois, verificou-se que o material estudado está mais próximo da graduação B (material em que cerca de 50% dos seus grãos estão entre 12,5 mm e 19 mm e os outros 50% estão entre 9,5 mm e 12,5 mm), de acordo com a tabela 2 da ABNT NBR NM 51/2001.

Pesou-se, com precisão de 1 g, as frações obtidas pela tabela 2 da norma. Para a graduação B, as frações da amostra são 2500 ± 10 g para a peneira 11,2 mm (não havia a peneira 12,5 mm no laboratório) e 2500 ± 10 g para a peneira 9,5 mm. Misturou-se as frações entre si. Em seguida, colocou-se a amostra dentro do tambor juntamente com a carga abrasiva definida na tabela 1 da norma em questão, que para a graduação B corresponde a 11 esferas, totalizando uma massa de 4584 ± 25 g.

Prosseguindo com o ensaio, fez-se o tambor girar a uma velocidade compreendida entre 30 rpm e 33 rpm, até completar 500 rotações. Depois, o material foi retirado do tambor e passado na peneira com abertura de malha de 1,7 mm. Em seguida, o material retido na peneira referida anteriormente passou por lavagem e secagem em estufa. Depois, efetuou-se a pesagem desse material com precisão de 1 g. Realizou-se o mesmo procedimento para brita calcária.

3.2.4 Massa unitária

Para determinar a massa unitária da brita granítica procedeu-se de acordo com a ABNT NBR NM 45/2006: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Inicialmente, foi tomada uma amostra com aproximadamente 150% da quantidade necessária para encher o recipiente e depois colocou-se a amostra na estufa mantida a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até massa constante.

Devido ao laboratório não possuir um recipiente de forma cilíndrica, utilizou-se um recipiente de base retangular que teve suas medidas internas determinadas e seu volume calculado, assim como, também, sua massa foi determinada. Dando continuidade ao ensaio, o procedimento selecionado foi o método C, que trata-se do método utilizado para determinar a massa unitária do material no estado solto.

O método consistiu em encher o recipiente até que o mesmo transbordasse, utilizando uma concha, despejando o agregado de uma altura não superior a 50 mm acima da borda superior do recipiente. Feito isso, nivelou-se a camada superficial do agregado com o auxílio de uma haste metálica cilíndrica e depois determinou-se a massa do recipiente mais agregado. Repetiu-se o procedimento por mais duas vezes.

3.2.5 Massas específicas e absorção de água

Este ensaio procedeu-se em conformidade com a ABNT NBR NM 53/2009. O material foi passado na peneira de abertura de malha de $4,75\text{ mm}$ e todo material passante por via seca na referida peneira foi descartado. Na mesma peneira, o material foi lavado e depois seco em estufa até massa constante e resfriado à temperatura ambiente.

Foi tomada a amostra conforme a tabela 1 da ABNT NBR NM 53/2009, 3 kg para o diâmetro máximo do agregado igual a 19 mm . Em seguida, a amostra foi submergida em água à temperatura ambiente, conforme a Figura 4, por um período de $(24 \pm 4)\text{ h}$. Findado esse período, a amostra foi retirada da água, envolvida em um pano absorvente e enxugada. Imediatamente após ser enxugada, a amostra foi pesada com precisão de 1 g (está é a massa do agregado saturado com superfície seca, m_s).

Figura 4 – Amostra submergida em água



Fonte: Autoria própria

Prosseguindo o ensaio, colocou-se a amostra em um recipiente adequado, definido pela norma que rege o ensaio, depois submergida em água e em seguida foi realizada a pesagem hidrostática, conforme a Figura 5, com precisão de 1 g (está é a massa em água, m_a). Por fim, a amostra foi seca até massa constante, resfriada à temperatura ambiente e pesada com precisão de 1 g (está é a massa do agregado seco, m).

Figura 5 – Pesagem hidrostática



Fonte: Autoria própria

Os cálculos foram realizados utilizando as *Equações (2) a (5)*.

3.2.6 Teor de material pulverulento

O teor de material pulverulento foi determinado de acordo com a ABNT NBR NM 46/2003. Foi tomada uma amostra mínima de 2500 g, conforme a tabela 1 da referida norma, obtida por redução e previamente seca. Foi utilizado o procedimento A, que trata-se da lavagem com água.

Em seguida, a amostra foi colocada em um recipiente, coberta com água e agitada vigorosamente. Imediatamente, verteu-se a água de lavagem contendo os sólidos suspensos e dissolvidos sobre as peneiras. Adicionou-se uma segunda quantidade de água à amostra no recipiente, novamente foi agitada e passada pelas peneiras como descrito anteriormente. Esta operação foi repetida até que a água da lavagem ficasse clara. Todo o material retido nas peneiras foi retornado para um recipiente com fluxo contínuo de água, secado em estufa até massa constante e por fim foi determinada a sua massa.

3.2.7 Moldagem e cura dos corpos de prova

A moldagem e cura dos corpos de prova seguiu os procedimentos estabelecidos em ABNT NBR 5738/2015. Os moldes utilizados foram cilíndricos, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. A amostra para moldagem dos corpos de prova foi obtida de acordo com a ABNT NBR NM 33/1998: Concreto – Amostragem de concreto fresco.

Os traços definidos foram os mesmos utilizados para o concreto com brita calcária. Dantas (2018), em sua pesquisa utilizando brita calcária, fixou as proporções de areia e brita em relação ao cimento e variou o fator água/cimento e a porcentagem de aditivo. Este trabalho fez o mesmo, com exceção do aditivo que não foi utilizado. Pois acredita-se que devido os traços utilizando brita calcária necessitarem de um fator água/cimento maior, a não utilização de plastificante e fixação do mesmo fator água/cimento resultará em traços compatíveis.

Sendo assim, os traços utilizando brita granítica resumem-se em três, que correspondem aos traços T1, T3 e T5 com brita calcária. Para diferenciar a nomenclatura, os traços com brita granítica receberam a terminação G. A Tabela 1 contém os traços em volume utilizados.

Tabela 1 – Traços utilizados

Brita calcária				Brita granítica		
Nome	Traço	a/c	Aditivo	Nome	Traço	a/c
T1	1 : 1,5 : 1,5	0,48	0,50%	T1G	1 : 1,5 : 1,5	0,48
T2	1 : 1,5 : 1,5	0,48	0,30%			
T3	1 : 1,5 : 1,5	0,44	0,90%	T3G	1 : 1,5 : 1,5	0,44
T4	1 : 1,5 : 1,5	0,44	1,20%			
T5	1 : 1,5 : 1,5	0,43	1,20%	T5G	1 : 1,5 : 1,5	0,43

Fonte: Autoria própria

Definiu-se neste trabalho que para cada traço seriam moldados 10 corpos de prova, 5 para serem testados quanto a resistência à compressão na idade de 7 dias e os outros 5 na idade de 28 dias. Os traços foram convertidos de volume para massa utilizando as propriedades dos materiais obtidas nos ensaios de caracterização. Feito isso, iniciou-se a preparação das amostras, um traço de cada vez.

Depois da amostra preparada, realizou-se o ensaio de abatimento do tronco de cone de acordo com a ABNT NBR NM 67/1998, conforme ilustra a Figura 6.

Figura 6 – Abatimento do tronco de cone



Fonte: Autoria própria

Antes de iniciar a moldagem dos corpos de prova, os moldes e suas bases foram revestidos internamente com uma fina camada de óleo lubrificante. Procedeu-se com uma prévia remistura da amostra e, em seguida, colocou-se o concreto dentro dos moldes em camada única, conforme o Quadro 3. Prosseguindo, realizou-se o adensamento mecânico, conforme o

Quadro 2, e depois o rasamento da superfície com a borda do molde. Na Figura 7, são apresentados corpos de prova já moldados.

Figura 7 – Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Autoria própria

Depois de moldados, os corpos de prova iniciaram o processo de cura. Nas primeiras 24 horas, os moldes foram colocados sobre uma superfície horizontal rígida e protegidos de intempéries. Finalizado o período de cura inicial, os corpos de prova foram desmoldados e identificados. Depois de identificados, os corpos de prova foram colocados em recipientes com água até completarem as idades para o ensaio de compressão axial (7 e 28 dias).

3.2.8 Ensaio de resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado em conformidade com a ABNT NBR 5739/2018. A preparação dos corpos de prova já foi realizada conforme descrito no ensaio anterior. As faces dos pratos e dos corpos de prova foram limpas e secas, antes destes serem colocados em posição de ensaio. O corpo de prova foi centralizado e a máquina ajustada para um carregamento a velocidade constante de $(0,45 \pm 0,15) \text{ MPa/s}$. O carregamento foi mantido até que houvesse uma queda de força, indicando a ruptura. Ao final do ensaio, a máquina utilizada mostra os valores da força e tensão de ruptura. A Figura 8 ilustra o ensaio.

Figura 8 – Ensaio de compressão axial



Fonte: Autoria própria

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Agregado miúdo

A caracterização referente ao agregado miúdo foi realizada e cedida por Dantas (2018), tendo em vista que o agregado miúdo utilizado em sua pesquisa foi o mesmo utilizado neste trabalho. Os resultados de massa específica, massa unitária e teor de material pulverulento do agregado miúdo estão contidos na Tabela 2. E a Tabela 3 contém o resultado da análise granulométrica do agregado miúdo.

Tabela 2 – Resultados de massa específica, massa unitária e material pulverulento

Ensaio	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: DANTAS (2018)

De acordo com 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 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.

Tabela 3 – 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	128,50	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

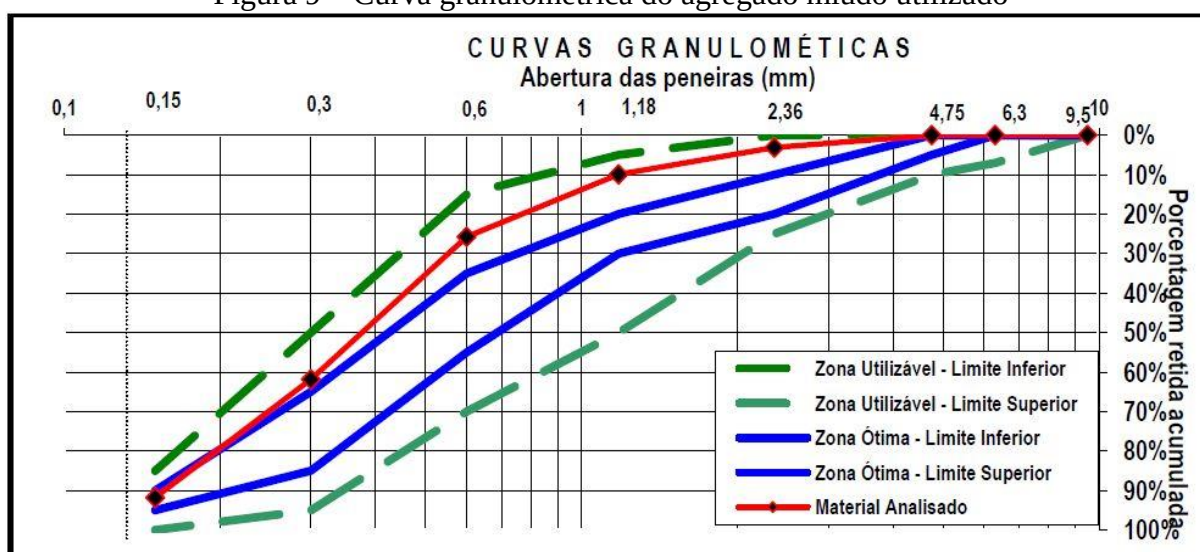
Fonte: DANTAS (2018)

O diâmetro máximo do agregado, que corresponde à abertura da peneira que possui porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5,0 %, é de 4,75 mm, sendo classificado como agregado miúdo.

O módulo de finura da areia, que representa a soma das proporções acumuladas em todas as peneiras, é 1,92. De acordo com a classificação apresentada no referencial teórico, o módulo de finura da areia utilizada pode ser enquadrado como pertencente ao limite utilizável inferior.

A Figura 9 apresenta um gráfico representativo da variação granulométrica, comparando os limites utilizáveis e ótimos, segundo a norma ABNT NBR 7211/2009, com a curva da areia. No eixo das abscissas, em escala logarítmica, representa-se a abertura das peneiras e no eixo das ordenadas os valores das porcentagens retidas nessas.

Figura 9 – Curva granulométrica do agregado miúdo utilizado



Fonte: DANTAS (2018)

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. Pode-se classificá-la como um material apto a ser usado na confecção dos traços de concreto.

4.2 Agregados graúdos

4.2.1 Análise granulométrica

Os resultados obtidos no ensaio de distribuição granulométrica dos agregados graúdos, brita granítica e brita calcária, são apresentados nas Tabelas 4 e 5, respectivamente. Onde os valores de porcentagem retida individualmente não diferiram mais de 4% entre peneiras da mesma abertura de malha.

Tabela 4 – Análise granulométrica da brita granítica

Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)		% retida		Média	% retida acumulada
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2		
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	8,1	0,0	0,1	0,0	0,0
11,2	6230,2	6198,1	62,3	62,0	62,2	62,2
9,5	1452,7	1650,5	14,5	16,5	15,5	77,7
6,3	2094,4	1984,7	21,0	19,9	20,4	98,2
4,75	152,5	109,5	1,5	1,1	1,3	99,5
2,36	56,8	33,1	0,6	0,3	0,4	99,9
1,18	1,5	0,7	0,0	0,0	0,0	99,9
0,6	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	99,9
0,3	0,9	0,7	0,0	0,0	0,0	99,9
0,15	1,8	1,3	0,0	0,0	0,0	100,0
Fundo	5,0	3,9	0,1	0,0	0,0	100,0
Total	9996,4	9991,0	100,0	100,0	100,0	-

Fonte: Autoria própria

Tabela 5 – Análise granulométrica da brita calcária

Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)		% retida		Média	% retida acumulada
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2		
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	1024,3	1137,9	20,5	22,8	21,6	21,6
9,5	1883,1	2105,1	37,7	42,1	39,9	61,5
6,3	1977,8	1667,5	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	100,0
Total	5000,1	5000,0	100,0	100,0	100,0	-

Fonte: DANTAS (2018)

Conforme pode-se observar os resultados apresentados no trabalho de Dantas (2018) e na Tabela 4, os dois agregados apresentaram dimensão máxima característica igual a 19 mm. Os módulos de finura obtidos foram: 6,77 para a brita granítica e 6,57 para a brita calcária. Na Tabela 6, observa-se a comparação dos limites apresentados no Quadro 1 para limites granulométricos da zona 9,5/25 com os resultados obtidos dos ensaios de granulometria das britas granítica e calcária.

Tabela 6 – Comparação entre os limites da composição granulométrica da ABNT NBR 7211/2009 e os obtidos nos ensaios

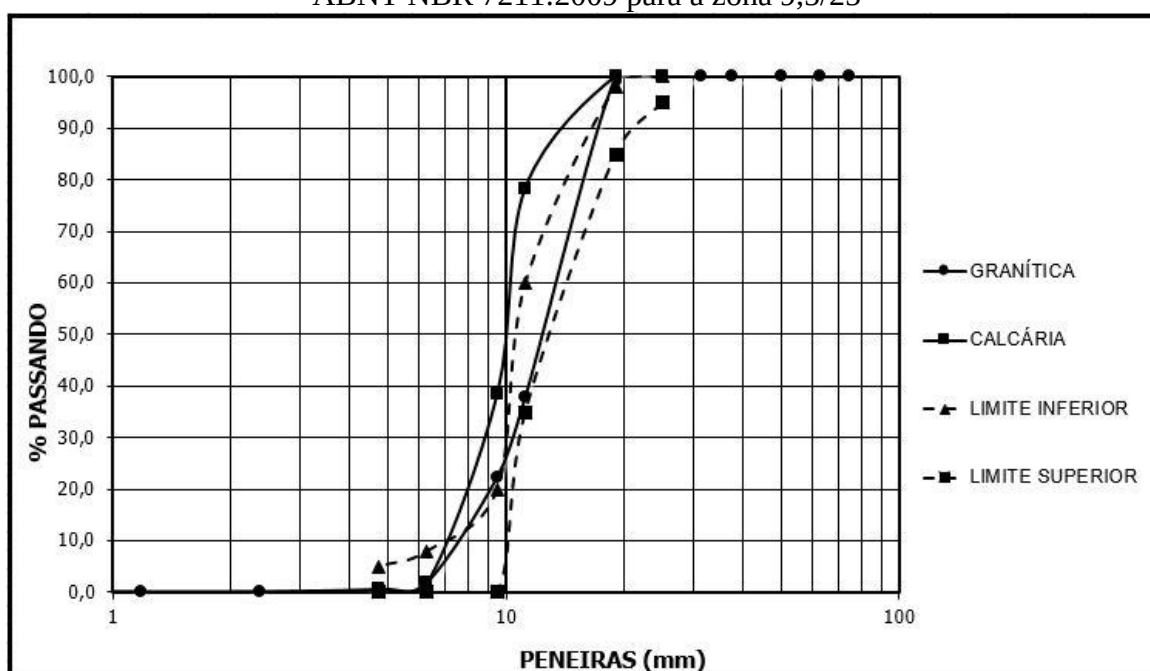
Abertura da peneira (mm)	Brita granítica	Porcentagem retida acumulada (%)		
		Brita calcária (DANTAS 2018)	Limite inferior	Limite superior
25	0,0	0,0	0,0	5,0
19	0,0	0,0	2,0	15,0*
12,5	62,2	21,6	40,0*	65,0*
9,5	77,7	61,5	80,0*	100,0
6,3	98,2	98,0	92,0	100,0
4,75	99,5	99,2	95,0	100,0

Fonte: Autoria própria

* Pode-se variar os limites em até cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados. Essa variação pode também ser distribuída em vários limites.

Analisando a Tabela 6, verifica-se que para a brita granítica os valores obtidos nas peneiras 19 mm e 9,5 mm estão abaixo do limite inferior. Já para a brita calcária, os valores obtidos nas peneiras 19 mm, 12,5 mm e 9,5 mm estão abaixo do limite inferior. A Figura 10 ilustra as curvas granulométricas dos agregados graúdos e dos limites estabelecidos pela norma. Observa-se que a brita granítica está melhor compreendida entre os limites inferior e superior, quase totalmente, enquanto a brita calcária apresenta curva quase toda abaixo do limite inferior. Logo, tem-se que a brita granítica adequa-se melhor aos limites estabelecidos na norma.

Figura 10 – Curvas granulométricas das britas granítica e calcária e limites estabelecidos pela ABNT NBR 7211:2009 para a zona 9,5/25



Fonte: Autoria própria

4.2.2 Índice de forma

A partir das análises granulométricas das britas foram calculadas as quantidades de grãos a serem analisados por fração granulométrica. Para a brita granítica, foram 160 grãos na fração 11,2 mm e 40 grãos na fração 9,5 mm. Para a brita calcária, foram 147 grãos na fração 12,5 mm e 53 na fração 9,5 mm. Os índices de forma obtidos foram de 2,52 para a brita granítica e 2,46 para a brita calcária. Ambos os índices obedecem a ABNT NBR 7211/2009, que estabelece que o índice de forma não deve ser superior a 3.

Além dos índices de forma das duas britas obedecerem o estabelecido pela norma, observa-se que os valores obtidos diferem pouco, o que caracteriza que as duas britas possuem formatos parecidos. Os resultados individuais dos 200 grãos ensaiados da brita granítica se encontram no Apêndice deste trabalho.

4.2.3 Desgaste por abrasão “Los Angeles”

Na Tabela 7 são apresentados os resultados do ensaio de desgaste por abrasão “Los Angeles” das britas granítica e calcária. Apenas a brita granítica está aprovada quanto ao desgaste por abrasão “Los Angeles”, cujo limite máximo do índice de desgaste estabelecido pela ABNT NBR 7211/2009 é de 50%.

Tabela 7 – Abrasão “Los Angeles” dos agregados graúdos

Agregado	Massa inicial (g)	Massa final retida na peneira 1,7 mm (g)	Perda (%)
Brita granítica	5001,0	3529,4	29,43
Brita calcária	5000,0	2250,0	55,00

Fonte: Autoria própria

4.2.4 Massa unitária

Os resultados obtidos nas três amostras e o valor médio das britas granítica e calcária estão apresentados na Tabela 8. As massas unitárias dos agregados soltos obtidas foram 1,44 g/cm³ para a brita granítica e 1,75 g/cm³ para a brita calcária. Dessa forma, pode-se classificar ambas as britas como normal, já que os seus resultados estão compreendidos entre 1,0 g/cm³ e 2,0 g/cm³.

Tabela 8 – Massas unitárias das britas granítica e calcária

Amostra	Brita granítica			Brita calcária (DANTAS 2018)		
	1	2	3	1	2	3
Massa unitária individual (g/cm ³)	1,43	1,44	1,45	1,73	1,74	1,77
Massa unitária do agregado (g/cm ³)	1,44			1,75		

Fonte: Autoria própria

Comparando os resultados, percebe-se que a brita granítica possui massa unitária menor que a brita calcária, em valor considerável. Ou seja, a brita granítica é mais leve, pelo menos em termos de massa específica. Para se ter uma ideia, para o volume de 1 m^3 , a brita granítica é 310 kg mais leve que a brita calcária.

4.2.5 Massas específicas e absorção de água

A Tabela 9 apresenta os resultados de massas específicas e absorção de água para os dois agregados graúdos. Ambas as britas podem ser classificadas, quanto a massa específica do agregado seco, como agregado de densidade normal, visto que os valores obtidos estão compreendidos entre $2,0 \text{ g/cm}^3$ e $3,0 \text{ g/cm}^3$. Quanto a absorção de água, nota-se que a brita calcária é capaz de absorver mais água do que a brita granítica.

Tabela 9 – Massas específicas e absorção de água das britas granítica e calcária

Resultados	Brita granítica	Brita calcária (DANTAS 2018)
Massa específica do agregado seco (g/cm ³)	2,69	2,76
Massa esp. agreg. na cond. sat. superf. seca (g/cm ³)	2,66	2,57
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,64	2,46
Absorção de água	0,70%	4,39%

Fonte: Autoria própria

Analisando os resultados, tem-se que a brita calcária é mais densa que a brita granítica, visto que a sua massa específica do agregado seco é superior. Já considerando a massa específica do agregado na condição saturado com superfície seca e a massa específica aparente, a brita granítica apresentou valores superiores. A diferença entre as massas específicas dos agregados reflete em concretos com densidades diferentes.

4.2.6 Teor de material pulverulento

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de determinação do teor de material pulverulento para as britas granítica e calcária.

Tabela 10 – Teor de material pulverulento das britas granítica e calcária

Resultados	Brita granítica	Brita calcária (DANTAS 2018)
Massa original da amostra (g)	2500,0	3000,0
Massa da amostra seca após lavagem (g)	2497,5	2918,6
Porcentagem de finos	0,10%	2,72%

Fonte: Autoria própria

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. Sendo assim, ambos os agregados estão de acordo com o limite permitido pela norma. Nota-se que a brita calcária possui um teor de material pulverulento consideravelmente superior ao da brita granítica.

4.3 Resistência à compressão

As Tabelas 11 e 12 apresentam os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial para idades de 7 e 28 dias dos corpos de prova de concreto utilizando como agregado graúdo brita granítica e calcária, respectivamente. Os valores marcados com * são os valores descartados por divergirem da média mais de 15% para brita granítica e mais de 10% para a brita calcária. Foi considerado apenas a média final (Média F.).

Tabela 11 – Resistência à compressão para concreto com brita granítica, em MPa

Corpo de prova	7 dias			28 dias		
	T1G	T3G	T5G	T1G	T3G	T5G
CP1	3,84*	5,35*	13,95*	5,29	4,26*	6,08*
CP2	4,46	4,93	23,78*	7,03*	6,06	17,78*
CP3	4,77	2,97*	17,17	8,51*	4,82	8,58*
CP4	2,84*	4,69	15,94	2,07*	5,95	14,90*
CP5	8,48*	3,54*	14,93	7,67*	5,81	11,35
Média	4,88	4,30	17,15	6,11	5,38	11,74
Média F.	4,62	4,81	16,01	5,29	5,66	11,35

Fonte: Autoria própria

Tabela 12 – Resistência à compressão para concreto com brita calcária, em MPa

Corpo de prova	7 dias					28 dias				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
CP1	29,43	26,84	33,61	29,99	27,42	30,59*	31,69	37,18	33,46	33,09
CP2	29,61	26,10	30,28	28,20	28,48	33,06	30,98	30,78*	39,21	35,71
CP3	25,95*	29,60	28,88	24,29	28,18	38,38*	31,34	33,30	36,96	37,71
CP4	31,62	28,12	32,26	29,47	31,03	34,97	31,55	36,88	37,83	37,46
Média	29,15	27,67	31,26	27,99	28,78	34,25	31,39	34,54	36,86	35,99
Média F.	30,22	27,67	31,26	27,99	28,78	34,01	31,39	35,79	36,86	35,99

Fonte: DANTAS (2018)

Analisando os resultados, nota-se que os valores de resistência à compressão dos corpos de prova de concreto utilizando brita granítica variou bastante. Essa variação acentuada pode estar relacionada com erros durante a realização do ensaio, tendo em vista que o laboratório não possui retifica, e/ou durante a moldagem dos corpos de prova. Ainda sobre esses corpos de prova (com brita granítica), destaca-se que as médias finais do traço T5G apresentam valores inconsistentes, pois a resistência à compressão aos 28 dias é menor que aos 7 dias e espera-se o contrário.

Com relação a magnitude das médias finais das resistências à compressão, tem-se que os corpos de prova de concreto utilizando brita calcária apresentam valores de resistência muito superiores aos valores de resistência dos corpos de prova de concreto utilizando brita granítica. Essa diferença pode estar relacionada com o fato de não ter sido usado o aditivo plastificante para os corpos de prova com brita granítica. Como os traços foram os mesmos dos corpos de prova com brita calcária, a ausência do plastificante tornou o fator água/cimento insuficiente e que refletiu em uma moldagem precária, pois o abatimento do tronco de cone foi zero para os três traços. Consequentemente, obteve-se uma baixa resistência à compressão.

Os valores de resistência à compressão dos corpos de prova utilizando brita calcária permitem classificar esse concreto como estrutural, visto que o mínimo para tal classificação é 20 MPa. Já o concreto utilizando brita granítica fica classificado como não estrutural, pois os valores de resistência à compressão obtidos estão muito abaixo do valor mínimo estabelecido.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a caracterização dos agregados e análise da resistência à compressão, realizados segundo as normas vigentes, pode-se considerar:

- Os resultados dos ensaios de análise granulométrica dos agregados graúdos apontaram que a brita granítica se enquadra melhor na zona utilizável para concreto, de acordo com a ABNT NBR 7211/2009, estando sua curva granulométrica praticamente toda dentro dos limites especificados. Enquanto isso, a brita calcária, quase totalmente, não atende aos limites. A brita granítica também apresenta o maior módulo de finura.
- As britas granítica e calcária foram aprovados quanto ao índice de forma, possuindo valores próximos.
- Com relação a perda por abrasão, apenas a brita granítica é classificada como adequada para formulação de concretos segundo esse quesito. Quanto ao limite de absorção de água, as duas britas atendem a este limite, porém, a brita calcária absorve, consideravelmente, mais água que a brita granítica. Tem-se também que as duas britas possuem teor de material pulverulento abaixo do limite tolerado, com a ressalva de que a brita calcária possui bem mais material pulverulento que a brita granítica.
- A respeito da determinação das massas unitárias dos agregados graúdos, tem-se que a brita granítica se mostrou mais leve. Ou seja, no estado solto, existem menos grãos e partículas finas ocupando os seus espaços vazios. Com relação as massas específicas dos agregados secos, os valores obtidos são normais.
- De maneira geral, a brita granítica se mostra mais adequada para utilização em concreto como agregado graúdo segundo os critérios estabelecidos na ABNT NBR 7211/2009. Apenas na análise granulométrica a brita granítica, em uma faixa, não está de acordo com a especificação da norma. Já a brita calcária deixa a desejar tanto na granulometria quanto em outras especificações.
- Sobre os resultados de resistência à compressão, mesmo a brita granítica se mostrando mais adequada, para os traços utilizados neste trabalho, foram os corpos de prova utilizando brita calcária que obtiveram maior resistência à compressão, em valores muito superiores. A resistência à compressão do concreto com brita granítica foi abaixo do valor mínimo para concreto estrutural.

Já o concreto com brita calcária foi classificado como estrutural, pois os seus valores de resistência à compressão são da ordem de 30 MPa.

- As diferenças nos resultados de resistência à compressão provavelmente estão ligadas ao fato de não ter sido utilizado o plastificante nos traços com brita granítica. O que tornou o fator água/cimento do concreto com brita granítica insuficiente, prejudicando a mistura e moldagem do concreto, resultando em um concreto com pouca pasta. Portanto, a comparação a respeito da resistência à compressão dos concretos com brita granítica e brita calcária foi prejudicada.

Para trabalhos futuros, recomenda-se refazer os estudos corrigindo os problemas na definição dos traços utilizando brita granítica. Utilizar, inicialmente, o mínimo de aditivo plastificante necessário e em seguida aumentar a porcentagem de aditivo até os valores utilizados nos traços com brita calcária.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. C. **Concreto**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002, p. 03. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2019.
- ANDOLFATO, R. P. **Controle Tecnológico Básico do Concreto**. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista, 2002. Disponível em: <<http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Controle%20tecnologico%20basico%20do%20concreto.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2019.
- AOKI, Jorge. **Calcário para cimento**. 2007. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/calcario-para-cimento/> Acesso em: 9 jan. 2019.
- ARAÚJO, R. C. L.; RODRIGUES, L. H. V.; FREITAS, E. G. A.. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: 2000. Apostila.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7809**: Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935**: Agregados - Terminologia. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 33**: Concreto – Amostragem de concreto fresco. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46**: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 51**: Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BASTOS, Paulo S. dos S. **Fundamentos do concreto armado**. 2006. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTOS.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008. 1 v.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. Rio Grande do Sul: LTC, 1982, v. 1.

CLUBE DO CONCRETO. **Ensaio de Abrasão de "Los Angeles" (NBR NM 51:2001) Revisado**. 2018. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/07/passo-passo-ensaio-de-abrasao-de-los.html>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

CLUBE DO CONCRETO. **Determinação da Massa Unitária e Volume de Vazios (NBR NM 45:2006)**. 2013. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/07/passo-passo-determinacao-da-massa.html>>. Acesso em: 28 mar. 2019.

DANTAS, A. R. S. **Avaliação da utilização de brita calcária na formulação de concretos**. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFERSA, 24., 2018, Mossoró. Anais... . Mossoró: Edufersa, 2018. p. 257 - 257.

IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **RN tem maior reserva de calcário do Brasil**. 2011. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=153706>. Acesso em: 15 nov. 2018.

LA SERNA, H. A. de; REZENDE, M. M. **Agregados para a Construção Civil**. DNPM, 2013. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>>. Acesso em: 13 de mar. 2019.

MAPA DA OBRA. **A importância dos ensaios de resistência do concreto**. 2017. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/a-importancia-dos-ensaios-de-resistencia-do-concreto/>>. Acesso em: 28 mar. 2019.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto, estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P.. **Características do Concreto**. São Paulo: USP, 2004. Apostila.

PORTAL DO CONCRETO. **Agregados para concreto**. 2016. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/agregado.html>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

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 - 2030) de geologia, mineração e transformação mineral. Banco internacional para a reconstrução e desenvolvimento. 2009. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P22_RT30_Perfil_de_brita_para_construxo_civil.pdf/01c75ac7-eed2-4d85-a127-3ecddec2a31>, Acesso em: 15 nov. 2018.

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

TÉCHNE. **Coleta de corpos-de-prova exige roteiro**. 2003. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/70/artigo287253-1.aspx>>. Acesso em: 28 mar. 2019.

TECNOSIL. **Agregados para concreto: o que são e para que servem?** 2018. Disponível em: <<https://www.tecnosilbr.com.br/agregados-para-concreto-o-que-sao-e-para-que-servem/>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

VARELA, Marcio. **Granulometria**. [S. L.]: IFRN, [2018] data provável. 34 slides, color.

APÊNDICE

A seguir, as tabelas contendo os resultados obtidos no ensaio do índice de forma pelo método do paquímetro para a brita granítica.

Índice de forma da brita granítica				Índice de forma da brita granítica			
Abertura da peneira (mm)	c (mm)	e (mm)	c/e	Abertura da peneira (mm)	c (mm)	e (mm)	c/e
11,2	22,25	7,09	3,138	11,2	22,34	10,18	2,194
	33,73	5,41	6,235		26,84	9,52	2,819
	18,67	3,91	4,775		21,53	12,68	1,698
	24,03	8,26	2,909		22,39	12,39	1,807
	22,98	8,64	2,660		21,53	7,69	2,800
	26,64	8,52	3,127		25,04	7,22	3,468
	22,49	10,24	2,196		22,83	8,17	2,794
	23,42	7,66	3,057		23,52	8,41	2,797
	26,02	10,03	2,594		18,46	10,80	1,709
	24,44	8,70	2,809		24,14	7,34	3,289
	30,01	7,53	3,985		22,98	7,25	3,170
	18,27	9,63	1,897		27,15	9,95	2,729
	21,55	10,09	2,136		19,31	12,86	1,502
	24,84	10,41	2,386		22,66	11,76	1,927
	22,58	11,65	1,938		22,31	7,46	2,991
	25,50	8,69	2,934		24,79	8,99	2,758
	22,12	14,08	1,571		20,38	6,65	3,065
	22,62	10,99	2,058		22,89	6,73	3,401
	21,29	9,31	2,287		35,13	12,17	2,887
	30,90	10,49	2,946		29,08	8,19	3,551
	27,52	9,63	2,858		22,57	9,84	2,294
	22,78	9,74	2,339		22,13	12,62	1,754
	21,16	11,27	1,878		27,12	10,11	2,682
	24,87	9,87	2,520		25,99	11,79	2,204
	26,02	9,11	2,856		20,98	10,28	2,041
	25,10	11,58	2,168		24,74	12,81	1,931
	21,64	9,25	2,339		26,71	5,64	4,736
	23,77	7,45	3,191		33,66	9,30	3,619
	19,75	8,76	2,255		25,01	6,43	3,890
	17,10	18,46	0,926		24,31	12,23	1,988
	32,76	7,16	4,575		26,24	11,05	2,375
	19,65	11,50	1,709		20,88	13,07	1,598
	20,54	6,53	3,145		26,85	9,14	2,938
	29,02	10,33	2,809		23,27	11,22	2,074
	19,22	8,87	2,167		21,56	9,69	2,225
	24,06	10,80	2,228		23,01	8,42	2,733
	25,21	12,53	2,012		21,39	13,04	1,640
	22,07	9,10	2,425		24,23	13,92	1,741

Índice de forma da brita granítica				Índice de forma da brita granítica			
Abertura da peneira (mm)	c (mm)	e (mm)	c/e	Abertura da peneira (mm)	c (mm)	e (mm)	c/e
11,2	36,34	7,86	4,623	11,2	19,39	12,88	1,505
	20,51	13,97	1,468		20,97	10,26	2,044
	26,65	10,45	2,550		21,60	14,18	1,523
	21,65	8,56	2,529		22,23	10,73	2,072
	21,95	10,36	2,119		17,79	11,24	1,583
	21,48	13,25	1,621		24,24	11,43	2,121
	21,26	11,69	1,819		25,89	9,77	2,650
	20,46	12,00	1,705		19,10	8,46	2,258
	21,37	13,51	1,582		18,44	9,62	1,917
	19,86	11,32	1,754		22,60	7,09	3,188
	21,34	8,73	2,444		21,28	8,08	2,634
	23,65	10,42	2,270		22,24	7,55	2,946
	19,04	11,51	1,654		19,47	10,11	1,926
	21,63	12,42	1,742		19,73	8,49	2,324
	21,03	13,70	1,535		24,36	9,63	2,530
	23,74	8,27	2,871		21,05	8,46	2,488
	26,55	6,74	3,939		21,92	9,75	2,248
	19,96	9,58	2,084		26,56	6,92	3,838
	22,20	11,59	1,915		16,99	11,27	1,508
	23,24	6,55	3,548		20,09	8,47	2,372
	19,99	11,95	1,673		19,34	8,24	2,347
	20,31	13,94	1,457		25,87	9,52	2,717
	21,18	10,95	1,934		19,95	14,18	1,407
	21,46	11,06	1,940		16,78	10,44	1,607
	24,48	10,22	2,395		19,28	12,81	1,505
	22,08	6,39	3,455		21,71	9,35	2,322
	18,60	9,99	1,862		22,23	8,56	2,597
	20,51	6,08	3,373		18,88	11,33	1,666
	22,17	9,17	2,418		20,35	10,43	1,951
	19,39	10,41	1,863		18,16	10,34	1,756
	23,41	10,90	2,148		22,05	10,08	2,188
	21,99	14,45	1,522		19,40	10,49	1,849
	19,30	8,95	2,156		18,01	9,49	1,898
	23,77	7,89	3,013		20,32	9,91	2,050
	22,39	8,09	2,768		16,62	9,61	1,729
	19,27	9,45	2,039		19,64	7,43	2,643
	19,00	7,16	2,654		24,85	8,00	3,106
	18,50	8,28	2,234		21,15	9,60	2,203
	20,48	8,45	2,424		21,13	6,06	3,487
	15,28	10,75	1,421		16,92	8,37	2,022
	19,85	12,99	1,528		22,58	7,69	2,936
	19,19	8,92	2,151	9,5	27,96	7,76	3,603
	18,13	9,53	1,902		33,53	5,93	5,654

Índice de forma da brita granítica			
Abertura da peneira (mm)	c (mm)	e (mm)	c/e
9,5	17,68	7,91	2,235
	20,07	6,43	3,121
	21,13	5,42	3,899
	23,32	9,52	2,450
	16,34	8,57	1,907
	27,61	5,44	5,075
	22,16	7,43	2,983
	21,92	8,12	2,700
	21,27	4,33	4,912
	16,25	7,58	2,144
	20,32	7,52	2,702
	19,55	9,71	2,013
	17,89	3,91	4,575
	18,64	4,28	4,355
	17,76	7,84	2,265
	21,42	7,49	2,860
	19,26	9,11	2,114
	17,19	6,14	2,800
	17,85	6,08	2,936
	15,70	7,21	2,178
	17,61	6,99	2,519
	18,06	6,12	2,951
	21,87	10,19	2,146
	18,14	5,80	3,128
	19,09	7,26	2,629
	14,95	7,30	2,048
	12,07	9,16	1,318
	19,12	8,53	2,242
	18,13	7,63	2,376
	17,85	8,72	2,047
	18,79	6,62	2,838
	17,47	7,03	2,485
	21,28	5,29	4,023
	24,30	5,25	4,629
	17,84	6,52	2,736
	17,21	7,34	2,345
	21,60	8,20	2,634
	15,94	6,75	2,361