



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CARLA MABEL MEDEIROS DE ALBUQUERQUE E SILVA

**INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO**

CARAÚBAS - RN
2016

CARLA MABEL MEDEIROS DE ALBUQUERQUE E SILVA

**INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Erica Natasche de Medeiros Gurgel Pinto (UFERSA).

© 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.

S586i Silva, Carla Mabel Medeiros de Albuquerque e .
Influência da granulometria do agregado miúdo
nas propriedades do concreto / Carla Mabel Medeiros
de Albuquerque e Silva. - 2016.
61 f. : il.

Orientadora: Erica Natasche de Medeiros Gurgel
Pinto.

Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2016.

1. Composição Granulométrica. 2. Pó de Pedra. 3.
Concreto. 4. Resistência à compressão. I. Pinto,
Erica Natasche de Medeiros Gurgel, orient. II.
Título.

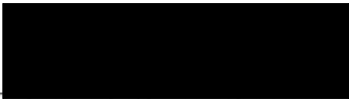
CARLA MABEL MEDEIROS DE ALBUQUERQUE E SILVA

**INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO**

Monografia apresentada à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência
final para obtenção do título de Engenheira Civil.

APROVADO EM 24/05/2016

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a. Dr.^a. Erica Natasché de Medeiros Gurgel Pinto - UFERSA
Orientadora - Presidente



Prof. Dr. Kleber Cavalcanti Cabral - UFERSA
Primeiro Membro



Prof.^a. Ma. Cibele Gouveia Costa Chianca - UFERSA
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

À Deus, por seu amor sublime capaz de compreender cada gesto meu, e não me deixar cair diante às dificuldades, por está comigo a todo momento.

Aos meus pais, Carlos José e Maria José por todo esse amor inexplicável, por me apoiarem e acompanharem todos os dias de minha vida, por terem sido meus primeiros mestres e acreditado em mim até quando eu mesmo desacreditei. Amo vocês!

Aos meus avós Lindolfo Abel e Maria do Céu, que mesmo não estando mais presente fisicamente, foram as pessoas que desde o meu nascimento sempre me incentivaram a correr atrás de meus sonhos, foram o meu porto seguro e sempre estiveram dispostos a fazer o que fosse preciso para o meu bem.

À todos os familiares, meus irmãos Cláudio José e Cláudia Mabelly, avós maternos Genésio Araújo e Maria de Lourdes, tias e primos, sempre presentes desde o início de minha trajetória. Obrigada pelo carinho e torcida de todos.

Às minhas amigas e companheiras de batalhas ao longo desses anos, Maria Aparecida, Narawilka Cardoso e Adna Lúcia. Obrigada por sempre estarem ao meu lado, pelo companheirismo e apoio para que esse trabalho fosse realizado.

À minha orientadora e amiga Erica Natasche, por todo o apoio, paciência e dedicação ao longo desses anos. Obrigada por ajudar a ampliar meus conhecimentos.

Aos meus professores e amigos, que durante todo o curso contribuíram para meu aprendizado, em especial à Kleber Cabral, Cíbele Gouveia e Luís Henrique pela disponibilidade em ajudar sempre que precisei.

Aos meus amores Livia e Gustavo por esse amor imensurável.

À todas as minhas amigas, que mesmo distante em alguns momentos, sempre me apoiaram e acreditaram no meu potencial.

Aos meus companheiros, Mara Monaliza, Ilg Dantas, Felipe Oliveira e Aline Ribeiro, por todo o esforço para a realização desse trabalho.

Obrigada a todos que mesmo não tendo citado, contribuíram de alguma forma para que essa formação pessoal e profissional se realizasse.

Aos meus avós Lindolfo Abel e Maria do Céu
(in memoriam) que mesmo não estando
presentes em vida, estão em espírito e foram
meus maiores incentivadores, me ensinaram a
ter persistência e dedicação para correr atrás
dos meus sonhos.

Aos meus pais Carlos José e Maria José, não
há como descrever meu sentimento. Minhas
palavras não são suficientes para agradecer
tudo que fizeram e fazem por mim.

DEDICO!

“Mil cairão ao teu lado, e dez mil à tua direita, mas não chegará a ti. Somente com os teus olhos contemplarás, e verás a recompensa dos ímpios. Porque tu, ó Senhor, és o meu refúgio.”

(Salmos 91: 7-9)

RESUMO

O concreto é um dos materiais mais antigos da construção civil. É composto por um aglomerante hidráulico – cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Devido ao crescimento intenso na construção civil, e consequentemente o alto valor de consumo de concreto, há uma crescente demanda por insumos, entre eles da areia natural, que é o agregado miúdo tradicionalmente utilizado. Porém, a exploração desse recurso natural trás impactos à natureza, com isso, alguns estudos apontam o uso de pó de pedra, para substituir a utilização desse agregado na produção do concreto, considerando que o pó de pedra na maioria das vezes é descartado pelos centros de britagens. Para utilizar de forma adequada essa areia artificial é importante desenvolver uma série de estudos teórico-científicos que se possa otimizá-la. Assim, o impasse principal do concreto que é a resistência à compressão pode ser superado, já que em muitos casos é reduzida por causa do elevado número de vazios existentes na pasta. Para que o número de vazios na pasta do concreto seja reduzido, é importante estudar a granulometria dos grãos do agregado miúdo e estabelecer composições granulométricas que melhor atendam a resistência requerida. Esse trabalho possui como objetivo estudar a otimização dos grãos do pó de pedra para obter uma melhor resistência à compressão do concreto. Foram produzidos e analisados três traços com diferentes tipos de areias artificiais, formadas a partir de combinações de granulometrias de pó de pedra pré-selecionadas, em porcentagens diferentes em cada traço. Para a caracterização dos agregados, realizou-se os ensaios de composição granulométrica, massa específica, massa unitária e determinação da umidade. Para a análise do concreto em seu estado fresco, foi realizado o ensaio de consistência através do *slump test* e para o concreto em seu estado endurecido, realizou-se o ensaio de resistência à compressão. Os resultados do trabalho permitiram verificar que a substituição da areia natural pelo pó de pedra, assim como as composições granulométricas analisadas, não interferiram nas propriedades do concreto, principalmente no que se refere à resistência à compressão. Portanto, se torna uma alternativa viável a substituição da areia natural pelo pó de pedra, considerando esta como uma solução econômica e que atende os mesmos requisitos que a areia natural, em relação às propriedades estudadas.

Palavras-chave: Composição granulométrica. Pó de Pedra. Resistência à compressão.

ABSTRACT

The concrete is one of the materials older of the civil construction. It is compost for a hydraulic binder – cement Portland, thin aggregate, coarse aggregate and water. Due the intense growth in the civil construction, and consequently the high value of consume of concrete, there is a growing demand for inputs, among them of the natural sand, which is the thin aggregate traditionally used. However, the exploration of this natural resource brings impacts to nature, thereby; some studies point the use of stone powder to replace the utilization of this aggregate in the production of the concrete, considering that the stone powder in the major of the times is discarded by center of crushing. For using appropriately this artificial sand is important to develop a series of studies theoretical and scientific that can optimize it. Thus, the main impasse of the concrete, which is the compressive strength can be overcome, as in many cases is reduced for cause of the elevated number of empty existing in the paste. For that the number of empty in the paste of the concrete be reduced, it is important to study the granulometry of the grains of the thin aggregate and establish granulometric compositions that better attend the strength required. This study has as aim to study the optimization of the grains of the stone powder to get a better compressive strength of the concrete. It were produced and analyzed three traces with different types of artificial sands, formed from of the combinations of granulometry of stone powder preselected, in different percentages in each trace. For the characterization of the aggregates, it was accomplished the tests of granulometric composition, specific mass, unit mass, and determination of moisture. For the analyze of the concrete in its fresh state, it was accomplished the test of consistency through of the slump test, and for the concrete in its hardened state was accomplished the test of compressive strength. The results of the study allow to verify that the replacement of the natural sand by the stone powder, thus as the granulometric compositions analyzed, did not interfered in the proprieties of the concrete, principally regarding to compressive strength. Therefore, becomes it a viable alternative the replacement of the natural sand by the stone powder, considering this as an economic solution and that attends the same requirements that the natural sand, in relation to proprieties studied.

Keywords: Composition granulometric. Stone powder. Compressive strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cimento Portland utilizado nos traços.	28
Figura 2: Areia natural utilizada no traço referência.	30
Figura 3: Pó de pedra utilizado nos traços.	31
Figura 4: Brita 0 utilizada nos traços.	31
Figura 5: Conjunto de peneiras utilizado no ensaio de composição granulométrica.	33
Figura 6: Frascos Chapman com areia natural e pó de pedra durante os ensaios de massa específica dos agregados miúdos.	35
Figura 7: Equipamentos utilizados na determinação da massa específica do agregado graúdo.	36
Figura 8: Cesto de arame utilizado no ensaio de determinação da massa específica do agregado graúdo.	36
Figura 9: Recipiente utilizado no ensaio de determinação da massa unitária.	37
Figura 10: Recipiente- agregado utilizado no ensaio de determinação da massa unitária.	38
Figura 11: Dispositivo "speedy" utilizado no ensaio de determinação da umidade.	39
Figura 12: Composição granulométrica do pó de pedra selecionada para compor os traços. ...	40
Figura 13: Exemplo de medição do abatimento no <i>Slump test</i>	44
Figura 14: Corpos-de-prova moldados.	45
Figura 15: Corpos-de-prova desmoldados e identificados.	45
Figura 16: Corpos-de-prova em cura úmida.	46
Figura 17: Máquina utilizada no processo de retificação dos corpos-de-prova.	46
Figura 18: Máquina EMIC SSH300 -utilizada no ensaio de resistência à compressão	47
Figura 19: Determinação da consistência do concreto através do abatimento do tronco de cone.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:Características químicas do CP II Z- 32.	28
Tabela 2: Ensaio físicos e mecânicos do CP II Z - 32.	29
Tabela 3: Resistência à compressão (Mpa) do CP II Z - 32.	29
Tabela 4: Caracterização do agregado miúdo.....	34
Tabela 5: Dimensão e composição dos agregados do pó de pedra que compõem as areias artificiais.	41
Tabela 6: Composição unitária do traço tomado como base para a análise.	42
Tabela 7: Quantidade de material (kg) utilizado para cada traço de concreto.	42
Tabela 8: Composição granulométrica da areia natural.	48
Tabela 9: Composição granulométrica do pó de pedra.	49
Tabela 10: Resistência à compressão obtida pelos corpos-de-prova aos 7 dias de idade.	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva granulométrica da areia natural.	49
Gráfico 2: Curva granulométrica do pó de pedra.	50
Gráfico 3: Tensão x Deformação dos corpos-de-prova referência (utilizando areia natural). .	53
Gráfico 4: Tensão x Deformação dos corpos-de-prova "T1".	54
Gráfico 5: Tensão x Deformação dos corpos-de-prova "T2".....	54
Gráfico 6: Tensão x Deformação dos corpos-de-prova "T3".	55

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVO GERAL.....	14
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. CONCRETO.....	16
2.2. PROPRIEDADES DO CONCRETO	17
2.2.1. Propriedades do Concreto Fresco	17
2.2.1.1. Consistência	18
2.2.1.2. Plasticidade.....	18
2.2.1.3. Poder de retenção de água.....	18
2.2.1.4. Trabalhabilidade.....	19
2.2.2. Propriedades do Concreto Endurecido	19
2.2.2.1. Resistência Mecânica	20
2.2.2.1.1. Resistência à compressão	20
2.2.2.1.2. Resistência à tração	20
2.2.2.2. Durabilidade	21
2.2.2.3. Impermeabilidade.....	21
2.3. INFLUENCIA DOS AGREGADOS NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO	22
2.4. ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS MIÚDOS NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO.....	25
3. MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1. MATERIAIS	27
3.1.1. Cimento	27
3.1.2. Agregado miúdo.....	30
3.1.2.1. Areia	30
3.1.2.2. Pó de pedra.....	30
3.1.3. Agregado graúdo	31
3.1.4. Água.....	32
3.2. MÉTODOS.....	32
3.2.1. Ensaio de determinação da composição granulométrica	32

3.2.2. Ensaio de determinação da massa específica dos agregados miúdos.....	34
3.2.3. Ensaio de determinação da massa específica do agregado graúdo	36
3.2.4. Ensaio de determinação da massa unitária	37
3.2.5. Ensaio de determinação da umidade com o emprego do “speedy”	39
3.2.6. Preparação da areia artificial.....	40
3.2.7. Dosagem do concreto.....	41
3.2.8. Mistura do traço	43
3.2.9. Determinação da consistência do concreto.....	43
3.2.10. Ensaio de resistência à compressão	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	48
4.2. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS MIÚDOS	50
4.3. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS GRAÚDOS.....	51
4.4. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA	51
4.5. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA UMIDADE COM O EMPREGO DO “SPEEDY”	52
4.6. DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DO CONCRETO	52
4.7. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	53
5. CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS	58

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais de construção mais antigos da construção civil. É composto por um aglomerante hidráulico – cimento Portland, agregado miúdo, sendo comumente utilizado a areia natural, agregado graúdo e água, podendo ainda conter adições e aditivos químicos.

Esse material é aplicado nos mais diversos campos, como na construção de edifícios, casas, pontes, torres, rodovias, estádios de futebol, usinas hidrelétricas e nucleares, em obras de saneamento, plataformas petrolíferas entre outras.

O concreto possui um uso amplamente disseminado. De acordo com Bastos (2002), isso é resultado de suas propriedades técnicas, como boa resistência à compressão, excelente resistência à água, possibilidade de produzir peças de diferentes geometrias e capacidade de incorporar reforços para resistir à tração e ao cisalhamento, contando ainda com as vantagens de seu baixo custo, em relação aos demais materiais empregados para produzir estruturas. Porém, todas essas características dependem da qualidade dos materiais empregados.

Devido ao uso progressivo do concreto, acarretado pelo crescimento intenso na construção civil, há uma crescente demanda por insumos, entre eles da areia natural, que é o agregado miúdo tradicionalmente utilizado.

Entretanto, a exploração desse recurso natural trás impactos à natureza, o que gera uma série de restrições estipuladas pelos órgãos ambientais, tendo em vista que a extração desacerbada de jazidas agride as calhas naturais dos rios, levando a um aumento da vazão de água e acelerando o processo de erosão das margens, assim como a retirada da cobertura vegetal dessas áreas, o que torna o solo estéril, sem crescimento de vegetação e sem possibilidade de recomposição do ambiente explorado (TEODORO, 2013).

Diante desse fato, a atual legislação vem obrigando os produtores a buscar técnicas de gerenciamento de extração e até de interdição de jazidas que está fora dos padrões estabelecidos, o que torna necessária a busca por materiais que possam vir a substituir a areia.

Diversos estudos apontam o uso de materiais alternativos para que possam substituir o uso desse agregado natural total ou parcialmente, na produção do concreto, onde um desses materiais é o pó de pedra.

O pó de pedra, que é a areia artificial obtida a partir da britagem de rochas, mostra-se ser uma alternativa viável para a substituição da areia natural na fabricação do concreto. Além de ser encontrado facilmente em grandes proporções nos centros de britagens, na maioria das vezes não possuem outra destinação além do descarte, o que o torna economicamente viável para sua utilização.

De acordo com Almeida (2005) e Valverde (2001), nos grandes centros urbanos brasileiros essa alternativa já vem sendo colocada em prática, embora que notoriamente em poucas proporções. Ainda de acordo com os autores, no estado de São Paulo, por exemplo, apenas 9% das areias utilizadas no concreto são dessa origem.

Porém, para fazer a utilização adequada dessa areia artificial é importante desenvolver uma série de estudos teórico-científicos para que se possa otimizá-la, podendo dessa forma superar o impasse principal do concreto que é a resistência à compressão, onde em muitos casos é reduzida por causa do elevado número de vazios existentes na pasta.

Para que o número de vazios na pasta do concreto seja reduzido e com isso se consiga desenvolver elevadas resistências à compressão, é importante estudar o empacotamento das partículas do pó de pedra, ou seja, analisar a granulometria dos grãos do agregado miúdo e estabelecer composições granulométricas que melhor atendam a resistência requerida.

1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é estudar a otimização dos grãos do pó de pedra para que se obtenha uma melhor resistência à compressão do concreto.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Têm-se como objetivos específicos para que possa alcançar o objetivo geral:

- Determinar as características dos precursores;

- Determinar a composição granulométrica do pó de pedra a ser utilizado no concreto;
- Determinar a proporção a ser utilizada no traço de cada granulometria selecionada;
- Analisar as propriedades no estado fresco e endurecido dos concretos produzidos;
- Indicar a composição granulométrica que melhor atendeu às propriedades requeridas pelo concreto.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. CONCRETO

A indústria da construção civil vem sendo alvo de crescimento em todo o mundo, o que traz um aumento da necessidade dos insumos utilizados na construção das obras. O concreto é um dos materiais mais utilizados nos processos construtivos. De acordo com Mehta e Monteiro (2009), em muitos países, a proporção de consumo de concreto sobre o consumo de aço é de dez para um.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), em 1993 o consumo mundial total de concreto foi estimado em três bilhões de toneladas, correspondendo a uma tonelada por ser humano vivo. Calaes (2005), em dados mais recentes indica que o patamar de consumo anual de concreto por habitante se manteve. De acordo com Sbrighi Neto (2000), a produção anual de concreto é da ordem de 6,5 milhões de toneladas, ou seja, pode ser considerado como um dos produtos mais consumidos pela humanidade.

Para Romano (2004), o concreto é um material de construção heterogêneo resultante da mistura de um aglomerante hidráulico com materiais inertes e água.

A ASTM C 125 (1991), diz que o concreto é um material compósito que consiste de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas de diferente natureza, sendo que o aglomerante é o cimento em presença de água, o agregado é qualquer material granular como areia, pedregulho, seixos, rocha britada, escória de alto forno e resíduos de construção e de demolição.

Tartuce e Giovannetti(1999) definem o concreto como uma mistura de cimento Portland, agregados miúdos, agregados graúdos e água, no qual reunidos e bem misturados, formam uma massa plástica que endurece ao fim de algumas horas, transformando-se em pedra artificial com o decorrer do tempo.

Farinha e Souza (2011) reforçam a definição dizendo que o concreto pode ainda possuir eventuais aditivos em sua composição. Afirmam que um bom concreto deve ser durável, resistente, econômico e de bom aspecto. Eles ainda listam suas qualidades essenciais como sendo: trabalhabilidade, resistência mecânica, durabilidade, impermeabilidade e

constância de volume após ser endurecido. Estas dependem da qualidade dos materiais empregados, da proporcionalidade, da maneira como é misturado, transportado, lançado, adensado e curado.

De acordo com Figueiredo (2000), uma das vantagens do concreto é a capacidade de produzir estruturas com infinitas variações de formas. Também é capaz de apresentar uma grande variação de suas propriedades em função do tipo de componentes principais e de suas proporções, bem como de utilização ou não de uma grande variedade de aditivos e adições.

2.2. PROPRIEDADES DO CONCRETO

O concreto possui inúmeras propriedades, tanto em seu estado fresco quanto endurecido. De acordo com Rodrigues (2011), o concreto é considerado como fresco até o momento em que tem início a pega do aglomerante, após a finalização desse processo o material é considerado concreto endurecido. Para efeitos de propriedades, o concreto deve ser analisado em suas duas condições.

2.2.1. Propriedades do Concreto Fresco

Segundo Araújo, Rodrigues e Freitas (2010), as propriedades desejáveis são as que possibilitam a obtenção de uma mistura fácil de transportar, lançar e adensar, sem segregação. No estado fresco suas principais propriedades são: consistência, plasticidade, poder de retenção de água e trabalhabilidade.

2.2.1.1. Consistência

Consistência é o maior ou menor grau de fluidez da mistura fresca, relacionada com a mobilidade da massa. O fator que influencia na consistência é o teor água/ materiais secos (ARAÚJO, RODRIGUES e FREITAS, 2010).

De acordo com Almeida (2002), a consistência traduz as propriedades intrínsecas da mistura fresca relacionadas com a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos componentes, visando a uniformidade e a compactidade do concreto.

Segundo Araújo, Rodrigues e Freitas (2010), um concreto de consistência plástica pode oferecer em função do grau de sua mobilidade, maior ou menor facilidade para ser moldado e deslizar entre os ferros da armadura, sem ocorrer separação de seus componentes.

2.2.1.2. Plasticidade

A plasticidade pode ser definida como a propriedade que permite o concreto fresco ser moldado sem que ocorra o rompimento. Depende da consistência e do grau de coesão entre os componentes do concreto. Quando há ausência de coesão os elementos se separam, isto é, ocorre a segregação-separação dos grãos do agregado da pasta de cimento (ARAÚJO, RODRIGUES e FREITAS, 2010).

2.2.1.3. Poder de Retenção de Água

O poder de retenção de água é o oposto à exsudação.

Almeida (2002) define exsudação como a tendência da água de amassamento vir até a superfície do concreto recém-lançado. Assim, a parte superior torna-se excessivamente úmida, tornando o concreto poroso e menos resistente.

Araújo, Rodrigues e Freitas (2010), dizem que para diminuir a exsudação é preciso alterar a dosagem do concreto, aumentando-se a proporção de finos (material passante pela peneira com abertura de malha igual a 0,15 mm) e o teor de cimento. Além disso, pode-se optar por um concreto trabalhável, evitando-se o emprego de água além do limite necessário.

2.2.1.4. Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é definida como a aptidão para o manuseio e é influenciada pelos fatores como: tipo de mistura, transporte, lançamento, adensamento, dimensões de peças e afastamento das armaduras (RABELO e GARCIA, 2013).

É a propriedade do concreto fresco identificada pela maior ou menor facilidade de seu emprego para atender a determinado fim (ARAÚJO, RODRIGUES e FREITAS, 2010). Ou seja, essa propriedade não depende somente do material, mas também das características da obra a que se destina.

Almeida (2002) afirma que a trabalhabilidade não é apenas uma característica inerente ao próprio concreto, mas envolve também as considerações relativas à natureza da obra e aos métodos de execução adotados.

2.2.2. Propriedades do Concreto Endurecido

A fase do concreto endurecido refere-se ao processo do início da hidratação do cimento e está em constante evolução, prolongando-se por toda a vida útil do concreto (HELENE; ANDRADE, 2012).

Segundo Araújo, Rodrigues e Freitas (2010), as características principais que um concreto depois de endurecido deve possuir são: resistência mecânica, durabilidade e impermeabilidade.

2.2.2.1. Resistência Mecânica

O concreto possui a necessidade de resistir a diversos esforços quando colocado sob condições de carregamento, essa capacidade de resistir é denominada como resistência mecânica, onde destacam-se a resistência à compressão, à tração, à flexão e ao cisalhamento. Vários fatores interferem na resistência mecânica do concreto, dentre eles o fator água/cimento, idade, forma e granulometria dos agregados, tipo de cimento e condições de cura (ARAÚJO, RODRIGUES e FREITAS, 2010).

2.2.2.1.1. Resistência à Compressão

A resistência à compressão simples é considerada a propriedade mais importante do concreto, pois além dele trabalhar predominantemente à compressão, ele fornece outros parâmetros físicos que podem ser relacionados empiricamente à resistência à compressão. Essa resistência é determinada através de corpos de prova moldados e preparados de acordo com a NBR 5738:2008 e ensaiada como estabelece a NBR 5739/2007 (ANDOLFATO, 2002).

No Brasil, usa-se para esse ensaio corpos de prova cilíndrico com 10 ou 15 cm de diâmetro e 20 ou 30 cm de altura, e a idade de referência é 28 dias, pois com o aumento da idade o concreto endurecido vai aumentando a resistência a esforços mecânicos e aos 28 dias de idade já adquiriu cerca de 75 a 90% de sua resistência total (FREITAS, 2012).

2.2.2.1.2. Resistência à Tração

De acordo com Almeida (2002), a resistência à tração é dependente de vários fatores, principalmente da aderência dos grãos dos agregados com a argamassa.

A resistência à tração na flexão equivale, aproximadamente, à quinta parte da resistência à compressão do concreto. Já a resistência à tração simples é igual à décima parte da resistência à compressão (PIMENTA, 2012).

2.2.2.2. Durabilidade

De acordo com Araujo, Rodrigues e Freitas (2010), a durabilidade é definida como sendo a capacidade que o concreto possui de resistir à ação do tempo, aos ataques químicos, à abrasão ou a qualquer outra ação de deterioração.

Rabelo e Garcia (2013) concordam com a idéia de que a durabilidade das estruturas de concreto está diretamente ligada ao grau de exposição à deterioração.

A durabilidade do concreto caracteriza a resistência ao ataque de agentes agressivos físicos e químicos. Os agentes agressivos que atacam o concreto podem ser classificados em duas categorias: externos e internos. Os agentes externos são os íons cloreto, o dióxido de carbono, os sulfatos, os ciclos de congelamento e degelo, as bactérias e os abrasivos. Já como agentes internos, podem ser citados os íons de cloreto incorporados, quando são usados certos aceleradores, e os álcalis do cimento, quando são usados com agregados potencialmente reativos (AÏTCIN, 2000).

2.2.2.3. Impermeabilidade

Araujo, Rodrigues e Freitas (2010) argumentam que a impermeabilidade do concreto está relacionada com a durabilidade. Um concreto impermeável impede o acesso de agentes agressivos. A impermeabilidade é influenciada por fatores como porosidade da pasta, quanto menos porosa mais impermeável será o concreto. A porosidade por sua vez depende da relação água/cimento e do grau de hidratação da pasta.

2.3. INFLUENCIA DOS AGREGADOS NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

Por possuírem relativamente um baixo custo e por não reagirem significativamente com os aglomerantes e com a água, os agregados, de maneira geral, tem sido tratado como material inerte de preenchimento do concreto de cimento Portland (MEHTA & MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1997; AİTCIN, 2000).

No entanto, devido à crescente compreensão do papel desempenhado pelos agregados na determinação de muitas propriedades no concreto, a definição de agregado como material inerte vem sendo questionado (SIQUEIRA, 2008).

Segundo Mehta e Monteiro (1994) e Neville (1997), as características dos agregados grãos e miúdos afetam principalmente a estabilidade dimensional, resistência, durabilidade e trabalhabilidade dos concretos de cimento Portland, o que carece de cuidado na sua escolha.

As principais características dos agregados que são importantes para a tecnologia do concreto são: porosidade, composição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial das partículas, resistência à compressão, módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias presentes. Tais características derivam da composição mineralógica da rocha matriz, das condições de exposição às quais a rocha foi submetida antes de gerar o agregado, e dos tipos de operação e equipamentos usados para a produção do agregado (SIQUEIRA, 2008).

Os agregados são classificados de acordo com o tamanho dos grãos em agregado miúdo e agregado grão, cuja separação é dada pela peneira de malha 4,75mm.

Segundo a NBR 7211/2005, agregado miúdo é aquele cujos grãos passam pela peneira de malha 4,75mm e ficam retidos na malha de 0,15 mm em ensaio de peneiramento. Já agregado grão, os grãos passam pela peneira de malha 75 mm e ficam retidos na malha de 4,75mm em ensaio de peneiramento.

Durante toda a história, os agregados miúdos mais utilizados de maneira geral, foram as areias naturais de rio e de cava. Estas tiveram preferência sobre as de britagem na produção de concretos, principalmente por apresentarem grãos mais arredondados e baixo teor de material pulverulento. A forma arredondada proporciona menor desgaste de equipamentos, como betoneiras, tubulações e bombas de concreto, e as duas características juntas conduzem a menor demanda de água no concreto, implicando em menor consumo de cimento para mesma consistência e resistência (MEHTA e MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1997).

Porém, ultimamente a utilização de agregados miúdos de britagem em concretos de cimento Portland tem crescido bastante no Brasil e no mundo. Pode-se destacar como motivos a implantação de leis ambientais mais restritivas, a maior fiscalização sobre a exploração de areias naturais, principalmente as extraídas de rios, e a escassez de jazidas de areias naturais de boa qualidade próximas aos grandes centros consumidores, o que acarretou em aumento no custo de transporte e conseqüentemente no preço final do produto (SBRIGHI NETO, 2005).

De acordo com Weidmann (2008), a utilização parcial de agregados miúdos naturais e de britagem tem sido vistos freqüentemente, pois minimizam os possíveis inconvenientes. Por este motivo, muitos estudos contemplando o uso de areias de britagem e pó de pedra na produção de concretos de cimento Portland têm sido desenvolvidos com a finalidade de avaliar algumas propriedades do concreto contendo substituições de areia por esse agregado artificial.

Para mostrar um pouco sobre esses estudos, a seguir serão mencionados alguns trabalhos desenvolvidos com a utilização de pó de pedra ou areia de britagem e suas respectivas influências nas propriedades do concreto.

Nugent (1979) e Cabrera e Irassar (1991) avaliaram a possibilidade de emprego de composições de areia natural e areia de britagem na produção de concretos visando à redução de custos. Obtiveram como resultados que as composições de areias de britagem e natural apresentaram resistências geralmente melhores que a utilização de 100% de areia natural, além de melhor trabalhabilidade e redução de custos. Porém, surgiram divergências quanto à demanda de água das misturas.

Silva, Costa e Bastos (2005) avaliaram a substituição de areia natural por areia de britagem basáltica (teor de material pulverulento de 3,5%) e também por pedrisco (teor de material pulverulento de 2,4%) na produção de concreto. Para os dois materiais, foram avaliados teores de 15 a 50% de substituição. O teor de 40% de areia de britagem proporcionou a menor relação de custo do concreto por resistência, dentre todas as misturas avaliadas. Para o pedrisco, a proporção mais econômica ficou em torno de 15% deste material.

Bastos (2005) substituiu entre 15 e 70%, em massa, de areia natural por areia de britagem basáltica na produção de concretos convencionais com duas faixas de resistência. Para ambos, quanto maior o teor de areia de britagem empregado menor foi a demanda de água e maior foi a resistência obtida, sendo que o melhor desempenho foi observado para a

substituição de 70% da areia natural, principalmente para o traço de maior consumo de cimento.

Menossi (2004) constatou que concretos com adição de pó de pedra com cerca de 13% de material pulverulento apresentaram crescimento de resistência com o tempo superior a um concreto contendo apenas areia natural. Além disso, ele avaliou a atividade pozolânica dos microfinos deste pó de pedra, que apesar de não ter atingido o limite de 75% exigido pela NBR, obteve índice considerável de 61,3%. Menossi constatou ainda que, apesar de prejudicar a trabalhabilidade, a utilização de pó de pedra em concreto melhorou a durabilidade e a resistência à compressão tanto de concretos com igual relação água/cimento quanto de igual abatimento.

Com a finalidade de estudar as composições do próprio material britado, Prudêncio Jr *et al.* (1995) dividiram o pó de pedra em duas frações, uma passante e outra retida na malha 600 μm , e compuseram estas duas frações em diferentes proporções avaliando a massa unitária compactada e a consistência de argamassas. Foi obtida a melhor fluidez com a composição de 30% de material passante e 70% de material retido na referida malha. Esta mistura correspondeu a um valor intermediário de massa unitária compactada, não caracterizando uma relação direta com a fluidez. A referida composição foi ainda empregada na confecção de concreto e comparada a soluções que contemplavam, entre outras, o uso total de uma areia natural, uso de maior teor de material passante na malha 600 μm (40%) e o uso desta última composição (40% passante na malha 600 μm) retirando-se a fração retida na malha 2,4 mm. Dentre estas, a composição 70%-30% apresentou maior resistência, porém esse concreto apresentou menor coesão e plasticidade (baixa trabalhabilidade), além de maior grau de exsudação. A mistura sem a fração 2,4mm, apesar de aumentar sensivelmente a demanda de água, melhorou substancialmente a trabalhabilidade e acarretou em um pequeno acréscimo na resistência.

Donza, Cabrera e Irassar (2002) avaliaram a utilização de agregados de britagem nas propriedades de concretos de alta resistência e concluíram que aqueles oriundos de britagem, apesar de necessitarem de uma dosagem um pouco maior de superplastificante para a mesma trabalhabilidade, proporcionaram resistências mecânicas iguais ou maiores que agregados naturais. Eles atribuem este fato a um efeito da forma e textura dos grãos britados que proporcionaram melhor inter-travamento com a pasta de cimento.

Como foi observado, em todos os trabalhos mencionados anteriormente, os agregados interferiram de alguma forma nas propriedades do concreto, seja positivamente ou negativamente.

2.4. ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS MIÚDOS NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

Composição granulométrica é definida como sendo a distribuição do tamanho de partículas de determinado agregado, expressa em termos de porcentagens acumuladas das frações retidas ou passantes em uma série de peneiras com aberturas distintas. É determinada por meio do peneiramento de uma amostra em uma seqüência de peneiras dispostas da maior abertura para a menor (WEIDMANN, 2008).

Carneiro (1999) afirma que em relação à distribuição granulométrica do agregado miúdo, quanto maior a sua continuidade, maiores serão as resistências mecânicas. Isso ocorre devido à melhoria no empacotamento da mistura.

De acordo com CARNEIRO *et al.* (1997), uma areia de granulometria muito uniforme, independentemente do formato dos grãos, compromete a trabalhabilidade da argamassa. Ele acredita ser fator positivo a heterogeneidade granulométrica, pois permite o preenchimento completo dos vazios refletindo assim na compacidade e na resistência final do concreto.

Segundo McGeary (1961) *apud* Oliveira (2013), a correta seleção da proporção e tamanho adequado dos materiais particulados, refere-se ao estudo de empacotamento de partículas. Esse estudo visa proporcionar um arranjo, de forma que os vazios maiores sejam preenchidos com partículas menores, cujos vazios serão novamente preenchidos com partículas ainda menores e assim sucessivamente.

Mehta e Monteiro (2008), dizem que com a redução do índice de vazios, obtém-se um concreto com maior compacidade, o que dificulta o transporte de agentes agressivos para o interior da massa de concreto e conseqüentemente melhora a resistência aos esforços a que este está sujeito.

Desta forma, o estudo da influência da composição granulométrica dos agregados miúdos nas propriedades do concreto é de suma importância, considerando que esta interfere na resistência requerida.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Metodologia é a orientação do pensamento e da prática exercida na abordagem da realidade. É de suma importância e necessária para a pesquisa, pois é a indicadora de todos os meios percorridos para a realização da pesquisa e responsável pela compreensão das relações de causa do objeto de estudo (MINAYO, 1999).

A metodologia utilizada nesse trabalho foi experimental e ainda com métodos comparativos, com o objetivo de selecionar três granulometrias distintas de pó de pedra e através destas formar três combinações de areia artificial com porcentagens diferentes de cada dimensão de grão. A partir disso, verificou-se qual foi a areia artificial que proporcionou melhor resistência à compressão do concreto.

Serão apresentados a seguir a caracterização dos materiais utilizados e os métodos empregados para tal, bem como as dosagens utilizadas e os ensaios realizados para o desenvolvimento do trabalho.

3.1. MATERIAIS

3.1.1. Cimento

O concreto utilizado para moldar os corpos-de-prova foi traçado com o Cimento CP II Z -32 (Cimento Portland Composto com Pozolana) da marca Apodi (figura 1), o qual é fabricado conforme a NBR 11.578/1991. Este foi adquirido no comércio do município de Caraúbas e teve todo o acompanhamento do lote quanto ao prazo de validade, absorção de umidade, condições de armazenamento, afim de que fosse utilizado um cimento de boa qualidade, que não comprometesse os resultados dos ensaios.

Figura 1: Cimento Portland utilizado nos traços.



Fonte: Autor, 2016.

As tabelas 1, 2 e 3 apresentam as características químicas, físicas e mecânicas do cimento, assim como a resistência à compressão alcançada ao longo dos dias. De acordo com os resultados presentes nas tabelas, pode-se dizer que o cimento está apto para sua utilização na produção do concreto.

Tabela 1: Características químicas do CP II Z- 32.

ENSAIOS QUÍMICOS				
Ensaio	NBR nº	Unidade	Resultados	Especificação norma 11578/91
Perda de fogo – PF	NM18/12	%	4,98	≤ 6,5
Óxido de Magnésio –MgO	NM11-2/04	%	5,14	≤ 6,5
Anidrido Sulfúrico - SO ₃	NM16/12	%	2,78	≤ 4,0
Resíduo Insolúvel - RI	NM15/12	%	9,78	≤ 16,0
Anidrido Carbonico - CO ₂	NBR 11578	%	5,00	≤ 5,0

Fonte: Relatório de Ensaio fornecido pelo fabricante, período abril/2016.

Tabela 2: Ensaios físicos e mecânicos do CP II Z - 32.

ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS				
ENSAIO	NBR Nº	UNIDADE	RESULTADOS	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 11578/91
Área específica (Blaine)	NM76/98	Cm ² /g	4435	≥ 2600 cm ² /g
Massa específica	NM23/01	g/cm ³	2,98	Não aplicável
Finura – Resíduo na peneira de 0,075 mm (#200)	11579/91	%	1,50	≤12,0
Finura – Resíduo na peneira de 0,044 mm (#325)	12826/93	%	8,40	Não aplicável
Início de pega	NM65/03	h:min	1:47	≥1
Fim de pega	NM65/03	h:min	2:57	≤10
Expansibilidade de Le Chatelier – a Quente	11582/91	mm	0,00	≤5

Fonte: Relatório de Ensaio fornecido pelo fabricante, período abril/2016.

Tabela 3: Resistência à compressão (Mpa) do CP II Z - 32.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (Mpa) - NBR 7215/96		
Idade (Dias)	Média	ESPECIFICAÇÕES NORMA NBR 5735/91
3	20,49	≥ 10,0 MPa
7	31,4	≥ 20,0 MPa
28	42,7	≥ 32,0 Mpa

Fonte: Relatório de Ensaio fornecido pelo fabricante, período abril/2016.

3.1.2. Agregado Miúdo

3.1.2.1. Areia

A areia natural utilizada na dosagem do concreto foi proveniente da zona rural de Caraúbas - RN e depositada no laboratório de materiais e processos construtivos da UFERSA - Caraúbas. A figura 2 ilustra o agregado miúdo natural armazenado no local.

Figura 2: Areia natural utilizada no traço referência.



Fonte: Autor, 2016.

3.1.2.2. Pó de Pedra

O pó de pedra utilizado para substituir o agregado miúdo natural no concreto, foi de origem granítica, (figura 3), sendo este proveniente da Pedreira Potiguar, localizada no município de Caraúbas – RN. O material foi armazenado no laboratório de materiais e processos construtivos da UFERSA - Caraúbas até o momento do traço.

Figura 3: Pó de pedra utilizado nos traços.



Fonte: Autor, 2016.

3.1.3. Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado no traço foi a brita granítica de 12 mm, denominada brita 0 de acordo com a NBR 7211/ 2009. A brita foi proveniente da Pedreira Potiguar, localizada no município de Caraúbas – RN, após sua aquisição foi depositada no laboratório de materiais e processos construtivos da UFERSA- Caraúbas, ressaltando que o ambiente de depósito é coberto e seco. A figura 4 mostra a brita 0 utilizada nos traços.

Figura 4: Brita 0 utilizada nos traços.



Fonte: Autor, 2016.

3.1.4. Água

A água potável utilizada na produção do concreto foi proveniente da rede pública de abastecimento do município de Caraúbas – CAERN.

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Ensaio de determinação da composição granulométrica

O ensaio de granulometria dos agregados miúdos naturais e artificiais, foram realizados no laboratório de materiais e processos construtivos da UFERSA – Caraúbas e conforme a NBR 7217/1987. Este visou classificar as partículas do agregado pelos seus respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes a cada tamanho.

O ensaio de granulometria é um método de análise que classifica as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos e mede as frações correspondentes a cada tamanho, onde através destes dados pode-se determinar o módulo de finura e a dimensão máxima característica do agregado (NBR 7217, 1987).

Baseado na norma referente, selecionou-se as peneiras de malha 4,75 mm – 2,36 mm – 1,18 mm – 0,600 mm – 0,300 mm – 0,150 mm e fundo, para a execução do ensaio.

As peneiras foram previamente limpas e encaixadas, formando um conjunto, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo, encaixando ainda o fundo na base do conjunto de peneiras, conforme a figura 5.

Figura 5: Conjunto de peneiras utilizado no ensaio de composição granulométrica.



Fonte: Autor, 2016.

A NBR 7217/1987 diz que para ensaios com agregado de diâmetro máximo menor que 4,8 mm utiliza-se uma amostra mínima de 500 g. Assim, com o uso de uma balança analítica pesou-se uma amostra de 500 g para cada um dos agregados.

Em seguida, a amostra foi colocada na parte superior do conjunto, evitando sempre a formação de uma camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras. Como não foi possível a agitação mecânica do conjunto, classificou-se manualmente toda a amostra, agitando o conjunto de peneiras por tempo não inferior a 3 minutos.

Após a agitação, o material retido em cada peneira foi removido para uma bandeja identificada, escovou-se as peneiras dos dois lados e colocou-se o resíduo interno, considerado como retido, nessa bandeja.

Depois de serem realizados todos os procedimentos de peneiramento, pesou-se a amostra retida em cada peneira e determinou-se as porcentagens retidas e acumuladas do material em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto.

A determinação da dimensão máxima característica do agregado ($D_{m\acute{a}x}$), foi realizado através da análise das porcentagens retidas acumuladas de cada peneira. O valor de $D_{m\acute{a}x}$ é o definido como sendo a diâmetro da malha que retém um percentual acumulado igual ou imediatamente inferior a 5% da amostra.

Para se obter o módulo de finura do agregado (MF), realizou-se a soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras e dividiu esse valor por 100. Assim, o valor encontrado é definido como o módulo de finura. A partir do valor do MF caracterizou-se cada agregado miúdo de acordo com a tabela 4.

Tabela 4: Caracterização do agregado miúdo.

Muito grossa (pedrisco)	M.F > 3,90
Grossa	3,90 > M.F. > 3.30
Média	3,30 > M.F. > 2.40
Fina	2,40 > M.F.

Fonte: NBR 7211 (2009).

3.2.2. Ensaio de determinação da massa específica dos agregados miúdos

Segundo a NBR 9776/1987, massa específica é a relação entre a massa do agregado seco em estufa (100°C a 110°C) até a constância de massa e o volume igual do sólido, incluído os poros impermeáveis.

A determinação da massa específica do agregado miúdo foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção – LMC do IFRN/ Mossoró e de acordo com a NBR 9776/1987 – “Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman”.

Inicialmente foi pesado 500 g da amostra do agregado miúdo natural e artificial. Posteriormente foi adicionada ao frasco Chapman 200 cm³ de água destilada até atingir o menisco indicado no frasco, deixando o frasco em repouso por alguns minutos para que a água das faces internas fosse toda escorrida. Em seguida, adicionou-se lentamente o agregado miúdo ao frasco, evitando o acúmulo de bolhas de ar, para isso foram realizados movimentos giratórios periódicos com o frasco para eliminar as mesmas. Posteriormente, esperou-se alguns minutos para ocorrer a sedimentação completa de todos os grãos e partículas finas. Por fim, mediu-se a leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco, sendo este em centímetros cúbicos. A figura 6 ilustra os frascos Chapman com suas respectivas amostras.

Figura 6: Frascos Chapman com areia natural e pó de pedra durante os ensaios de massa específica dos agregados miúdos.



Fonte: Autor, 2016.

Com o valor conhecido do nível atingido pela água no gargalo do frasco, pode-se então determinar a massa específica de acordo com a Equação 1:

$$\gamma' = \frac{500}{L-200} \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

γ' : massa específica do agregado miúdo (g/cm^3);

L : leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo)

3.2.3. Ensaio de determinação da massa específica do agregado graúdo

O ensaio para a determinação da massa específica do agregado graúdo foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção – LMC do IFRN/ Mossoró e conforme a NBR NM 53/2009 que trata da “Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água do agregado graúdo”.

Agregado graúdo é definido como aquele cuja maior parte de suas partículas ficam retidas na peneira com abertura de malha de 4,75 mm (NBR NM 53, 2009).

Primeiramente coletou-se a amostra e pesou-a conforme as massas mínimas definidas pela norma referente. Em seguida determinou-se a massa seca do material (m) e com o auxílio de uma espátula de ferro, imergiu a amostra em um cesto de arame (visto na figura 8) submerso em um recipiente maior com água (figura 7). Posteriormente, determinou-se a massa do material submerso (m_a).

Figura 7: Equipamentos utilizados na determinação da massa específica do agregado graúdo.



Fonte: Autor, 2016.

Figura 8: Cesto de arame utilizado no ensaio de determinação da massa específica do agregado graúdo.



Fonte: Autor, 2016.

E por fim, calculou-se a massa específica do agregado graúdo através da equação 2:

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

Onde:

d- massa específica do agregado seco (g/cm^3)

m- massa ao ar da amostra seca (g)

m_a - massa em água da amostra (g)

3.2.4. Ensaio de determinação da massa unitária

Massa unitária é a relação entre a massa do agregado lançado no recipiente e o volume desse recipiente (NBR NM 45, 2006).

Os ensaios para a determinação da massa unitária dos agregados miúdos e graúdo, foram realizados de acordo com a NBR NM 45/2006 no Laboratório de Materiais de Construção – LMC do IFRN/ Mossoró.

Selecionou-se o procedimento de ensaio conforme a norma de referência, pois esta determina três métodos (A,B,C), sendo que nesse caso foi selecionado o método C : “Determinação da massa unitária de material no estado solto”.

Inicialmente foi determinada a massa do recipiente vazio, sendo este com dimensões de 151,75 mm de diâmetro e 185, 7 mm de altura, possuindo alças laterais que auxiliam na execução dos ensaios, conforme ilustra a figura 9.

Figura 9: Recipiente utilizado no ensaio de determinação da massa unitária.



Fonte: Autor, 2016.

Em seguida, encheu-se o recipiente até transbordar com os agregados a serem ensaiados (miúdos e graúdos) com o auxílio de uma concha, despejando-os de uma altura de aproximadamente 5 cm acima da borda superior do recipiente. Posteriormente, foi executado o nivelamento da camada superficial do agregado usando uma régua metálica e pesou-se o conjunto recipiente-agregado, obtendo dessa forma sua massa (figura 10).

Figura 10: Recipiente- agregado utilizado no ensaio de determinação da massa unitária.



Fonte: Autor, 2016.

A massa unitária foi calculada através da equação 3:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar}-m_r}{V} \text{(Equação 3)}$$

Onde:

ρ_{ap} - massa unitária do agregado (Kg/m³);

m_{ar} - massa do recipiente mais agregado (Kg);

m_r - massa do recipiente vazio (Kg);

V - volume do recipiente (m³);

3.2.5. Ensaio de determinação da umidade com o emprego do “speedy”

Para a determinação da umidade, baseou-se na norma técnica DNER-ME 052/94 a qual trata da determinação da umidade com o emprego do “Speedy”, que é um dispositivo medidor de pressão de gás, que determina o teor de umidade de solos e agregados miúdos pelo uso em mistura com carbureto de cálcio, conforme a figura 11. O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção – LMC do IFRN/ Mossoró.

Figura 11: Dispositivo "speedy" utilizado no ensaio de determinação da umidade.



Fonte: Autor, 2016.

O peso da amostra a ser utilizada é estimado pela umidade que se admite a amostra possuir, de acordo com a norma de referência. No caso desse ensaio, pesou-se 12 g do agregado miúdo e colocou-a na câmara do aparelho “Speedy”. Junto com a amostra, introduziu-se na câmara duas esferas de aço, seguidas da ampola de carbureto de cálcio, deixando esta deslizar com cuidado pelas paredes da câmara, a fim de evitar sua quebra.

Em seguida, o aparelho foi fechado e agitado várias vezes até que houvesse a quebra da ampola, o que de acordo com a norma, seria verificado com o surgimento de pressão marcado no manômetro.

Posteriormente, entrou-se na tabela de aferição própria do aparelho com a leitura manométrica e o peso da amostra utilizada no ensaio e obteve-se a percentagem de umidade em relação à amostra total úmida.

Para determinar a umidade em relação ao peso do solo seco, utilizou-se a equação 4:

$$h = \frac{h_1}{100-h_1} \times 100 \text{ (Equação 4)}$$

Onde:

h – teor de umidade em relação ao peso do solo seco, em percentagem.

h₁- umidade dada pelo aparelho “Speedy” em relação à amostra total úmida, em percentagem.

3.2.6.Preparação da areia artificial

A granulometria do pó de pedra a ser utilizado no concreto foi definida através de uma seleção, onde pesou-se 10 kg desse agregado e realizou-se uma análise granulométrica com essa quantidade. A partir desses dados, foram selecionadas para compor areias artificiais para serem utilizadas no concreto, as três quantidades maiores de pó de pedra que ficaram retidas nas peneiras analisadas.

As areias artificiais foram compostas por agregados de pó de pedra com dimensões de 1,18 mm, 600 µm e 125 µm (figura 12). Porém o que variou em cada areia foi a concentração de cada dimensão presente.

Figura 12: Composição granulométrica do pó de pedra selecionada para compor os traços.



Fonte: Autor, 2016.

Para facilitar a identificação das areias artificiais utilizadas, denominou-se uma nomenclatura para cada uma. A tabela 5 apresenta as dimensões dos agregados de cada areia artificial, suas respectivas composições e nomenclatura.

Tabela 5: Dimensão e composição dos agregados do pó de pedra que compõem as areias artificiais.

NOMENCLATURA	PÓ DE PEDRA – GRANULOMETRIA		
	1,18 mm	600 μ m	125 μ m
Areia artificial – T1	34%	33%	33%
Areia artificial – T2	50%	30%	20%
Areia artificial – T3	30%	30%	40%

Fonte: Autor, 2016.

3.2.7. Dosagem do concreto

O estudo de dosagem deve ser realizado visando a obtenção ideal da mistura, sendo esta econômica, e de acordo com os materiais disponíveis numa determinada região, para atender uma série de requisitos. Essa série será maior ou menor, segundo a complexidade do trabalho a ser realizado e segundo o grau de esclarecimento técnico e prático do usuário do concreto que demandou o estudo (TUTIKIAN e HELENE, 2011).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), qualquer estudo de dosagem dos concretos tem fundamentos científicos e tecnológicos fortes, mas envolve procedimentos experimentais em laboratório e/ou campo. Com isso, alguns pesquisadores e profissionais consideram a dosagem do concreto mais como uma arte do que uma ciência.

Silva (1975) estabelece em seu livro alguns traços, o mesmo possui 120 traços diferentes, onde são preparados com os agregados como a brita e a areia natural, sendo as dosagens testadas para várias finalidades. O traço escolhido para a realização desse trabalho, teoricamente apresenta uma resistência de 15 MPa à 45 MPa, brita 1 e sem aditivo plastificante. Porém, nesse caso não foi possível utilizar a brita 1 em função do tamanho dos corpos-de-prova, sendo substituída pela brita 0. De acordo com essa dosagem, fixou-se a relação água/cimento e a quantidade de brita, variando apenas a substituição da areia pelo pó de pedra com granulometria pré-definida. Os valores de composição unitária em peso de cada material são apresentados na tabela 6.

Tabela 6: Composição unitária do traço tomado como base para a análise.

Material	Composição unitária em peso (kg/m ³)
Brita 0	1038
Areia seca / pó de pedra	791
Cimento	302
Água	211
Fator A/C	0,70

Fonte: SILVA, 1975.

Foram analisadas quatro dosagens de concreto, sendo uma com areia natural (traço referência) e três com pó de pedra substituindo a areia natural. Os três traços contendo pó de pedra foram compostos por uma areia artificial formada por três granulometrias distintas, com porcentagens diferentes de cada dimensão de grão.

A tabela 7, mostra a quantidade utilizada de cada material em kg, com base no cálculo do traço correspondente à moldagem de quatro corpos-de-prova, sendo três utilizados para o ensaio de resistência à compressão aos 7 dias e a quantidade de concreto correspondente a um molde de corpo-de-prova, colocado como sobra para prevenir a falta de material no momento da moldagem.

Tabela 7: Quantidade de material (kg) utilizado para cada traço de concreto.

Traço	Materiais							
	Areia	Pó de pedra			Brita 0	Cimento	Água	A/C
	Natural	1,18 mm	600 µm	125 µm				
T	4,97 kg	-	-	-	6,52 kg	1,89 kg	1,32 kg	0,70
T1	-	1,69 kg	1,64 kg	1,64 kg	6,52 kg	1,89 kg	1,32 kg	0,70
T2	-	2,49 kg	1,49 kg	0,99 kg	6,52 kg	1,89 kg	1,32 kg	0,70
T3	-	1,49 kg	1,49 kg	1,99 kg	6,52 kg	1,89 kg	1,32 kg	0,70

Fonte: Autor, 2016.

3.2.8.Mistura do traço

Foram produzidos quatro traços de concreto, um traço referência (utilizando areia natural como agregado miúdo) e outros três traços utilizando pó de pedra em substituição da areia natural, sendo que cada traço contava com três granulometrias distintas de pó de pedra em porcentagens diferentes de cada dimensão de agregado.

Os materiais utilizados foram pesados em balança eletrônica de punho com capacidade de carga de 40 kg, sendo a pesagem dos agregados miúdos e graúdos, cimento e areia, auxiliada por sacos plásticos. Já a água foi pesada com o uso de um balde com capacidade de 3 litros.

Foi utilizada uma betoneira de eixo inclinado, com capacidade de 150 litros. A sequência de introdução dos materiais na betoneira aconteceu de acordo com os seguintes passos:

- Com a betoneira parada, foi introduzido o agregado graúdo (brita) e 1/3 da água;
- Em seguida, acionou-se a betoneira e após 1 minuto introduziu-se o agregado miúdo (areia ou pó de pedra), cimento e o restante da água.
- Após a finalização da colocação de todos os materiais, a betoneira ficou em rotação por 5 minutos para ocorrer a mistura dos materiais.
- O concreto foi depositado em um recipiente grande, como superfície limpa e não absorvente.

Em seguida iniciou-se o ensaio de consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone conforme a NBR NM 67/1998.

3.2.9.Determinação da Consistência do Concreto

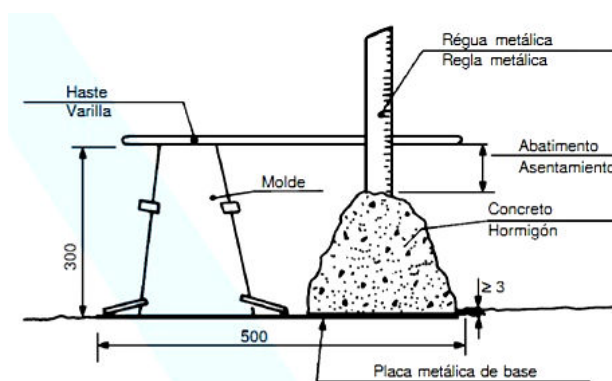
Para a determinação da consistência do concreto fresco foi utilizado o ensaio de abatimento do tronco de cone, através da NBR NM 67/1998. O ensaio aconteceu após o

preparo dos traços no laboratório de materiais e processos construtivos da UFERSA – Caraúbas.

Na execução desse ensaio, o molde e a placa base foram umedecidos e em seguida o molde foi colocado sobre a placa base. Manteve-se o molde firme à base metálica colocando os pés sobre as aletas, preencheu-o com três camadas de concreto, apiloando cada uma com 25 golpes da haste de socamento.

Em seguida o excesso do concreto foi removido com uma régua metálica, limpou a placa base e retirou o molde num intervalo de 5s a 10s, levantando-o verticalmente, o que provocou o abatimento do concreto. Posteriormente foi medido o abatimento do concreto, determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo-de-prova desmoldado, conforme a figura 13.

Figura 13: Exemplo de medição do abatimento no *Slump test*.



Fonte: NBR NM 67, 1998.

3.2.10. Ensaio de resistência à compressão

Os procedimentos para moldagem e cura dos corpos de prova foram baseados na NBR 5738/2015, sendo complementados de acordo a NBR NM 33/1998, que trata da “Amostragem de concreto fresco”.

Inicialmente foram moldados corpos-de-prova utilizando areia natural, com o objetivo de comparar os resultados dos ensaios destes, com os resultados obtidos pelos corpos-de-prova moldados com o pó de pedra, servindo o primeiro como referência.

Utilizaram-se moldes com dimensões de 100 x 200 mm. Estes foram previamente lubrificados internamente com uma fina camada de desmoldante, oriundos da empresa SUPERMIX, sendo este inerte em relação às reações com os materiais do concreto. Os moldes foram apoiados sobre uma superfície rígida, horizontal e livre de vibrações, a fim de evitar danos nos corpos-de-prova.

A amostra teve uma prévia remistura para garantir sua uniformidade, em seguida, de acordo com a tabela “Número de camadas para moldagem dos corpos-de-prova”, presente na NBR 5738/2003, foram adicionadas 2 camadas de concreto para preencher o molde, sendo que após cada camada foram executados 12 golpes por adensamento manual através de uma haste de adensamento. Ao final do adensamento da última camada (esta sendo colocada em excesso), foi realizado o rasamento, eliminando o material em excesso.

Posteriormente, os moldes com concreto ficaram sobre a superfície em que foram moldados por 24 horas, sendo protegidos de intempéries (figura 14).

Figura 14: Corpos-de-prova moldados.



Fonte: Autor, 2016.

Após as 24 horas, os corpos-de-prova foram desmoldados e colocados em cura úmida até a idade dos ensaios de resistência à compressão, ou seja, por 7 dias. As figuras 15 e 16 mostram os corpos-de-prova desmoldados e colocados na condição de cura úmida.

Figura 15: Corpos-de-prova desmoldados e identificados.



Fonte: Autor, 2016.

Figura 16: Corpos-de-prova em cura úmida.



Fonte: Autor, 2016.

O ensaio de resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos foi realizado de acordo com a NBR 5739/2007. Este se realizou no Instituto Federal do Rio Grande do Norte – IFRN, localizado no município de Mossoró – RN, para a idade de 7 dias.

Para sua realização foram moldados doze corpos-de-prova, com dimensões de 100 x 200 mm, sendo três para cada tipo de traço, dessa forma o resultado da resistência obtida foi a média aritmética dos valores alcançados por cada traço. Após o processo de cura úmida por 7 dias, os corpos-de-prova passaram pelo processo de retificação na máquina do IFRN. A figura 17 ilustra o processo de retificação dos corpos-de-prova.

Figura 17: Máquina utilizada no processo de retificação dos corpos-de-prova.



Fonte: Autor, 2016.

O ensaio de resistência à compressão foi executado na máquina EMIC SSH300 - prensa servo-hidráulica e informatizada para ensaio de concreto (figura 18), a qual possui capacidade máxima de 200 toneladas e sua resolução de leitura é de 0,1 kN.

Figura 18: Máquina EMIC SSH300 -utilizada no ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autor, 2016.

Antes de ser iniciado, as faces dos pratos e do corpo-de-prova passaram por um processo de limpeza e secagem. Posteriormente, o corpo-de-prova foi colocado no centro do prato inferior, com o auxílio dos círculos concêntricos de referência, observando o sentido da moldagem.

A velocidade de carregamento foi de 0,414 MPa/s e durante todo o ensaio se manteve constante. O carregamento foi finalizado quando ocorreu uma queda de força indicando a ruptura do corpo de prova.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os ensaios realizados, serão apresentados a seguir os resultados obtidos, levando em consideração a análise das variáveis estudadas, observando a influência da composição granulométrica do pó de pedra nas propriedades do concreto, em especial na resistência à compressão.

4.1. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Os dados obtidos pelo ensaio de composição granulométrica da areia natural (utilizada no traço referência) são apresentados na tabela 8.

Tabela 8: Composição granulométrica da areia natural.

Abertura das peneiras ABNT (mm)	Pesos (g)	Porcentagens retidas			
		Ensaio			
		Simples (g)	Acumulado (g)	% Simples	% Acumulado
4,750	500	0	0	0	0
2,360	500	1,9854	1,9854	0,403	0,403
1,180	498,0146	22,3416	24,327	4,533	4,936
0,600	475,673	240,9596	265,2866	48,891	53,827
0,300	234,7134	129,4992	394,7858	26,275	80,102
0,150	105,2142	73,9804	468,7662	15,011	95,113
Fundo	31,2338	24,0856	492,8518	4,887	100
Total		492,8518			

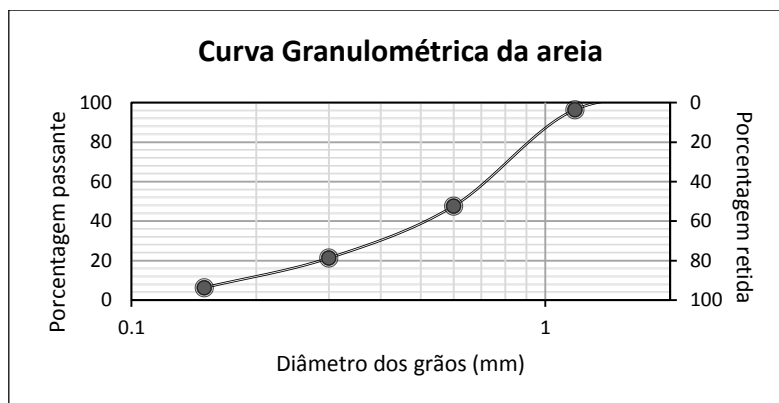
Fonte: Autor, 2016.

Ao analisar os dados obtidos pelo ensaio de composição granulométrica da areia natural, indicados na tabela 8, é possível determinar o módulo de finura (MF) desse agregado,

sendo seu valor correspondente a 2,34. Já a dimensão máxima característica ($D_{m\acute{a}x}$) da areia natural foi equivalente a 1,18 mm.

O gráfico 1 apresenta a curva granulométrica adquirida através dos dados da tabela 6, representando a composição granulométrica da areia natural, sendo indicados no gráfico a porcentagem de areia natural passante e retida em cada peneira.

Gráfico 1: Curva granulométrica da areia natural.



Fonte: Autor, 2016.

Já os resultados obtidos pelo ensaio de granulometria do agregado miúdo artificial – pó de pedra pode ser observado na tabela 9.

Tabela 9: Composição granulométrica do pó de pedra.

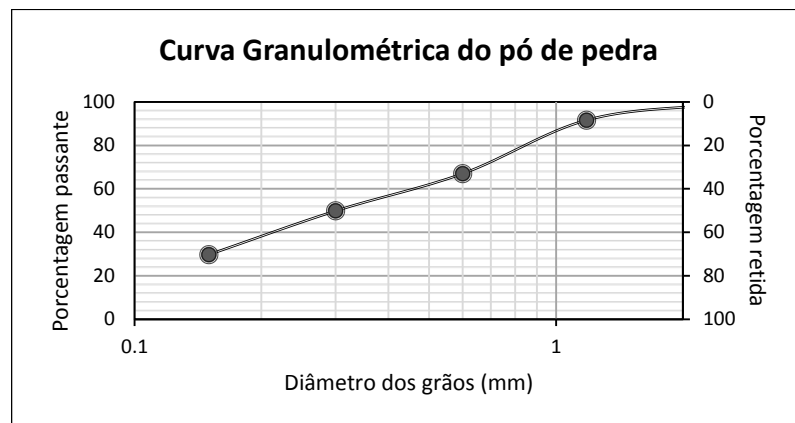
Abertura das peneiras ABNT (mm)	Pesos (g)	Porcentagens retidas			
		Ensaio			
		Simplex (g)	Acumulado (g)	% Simplex	% Acumulado
4,750	500	0,3047	0,3047	0,062	0,062
2,360	499,6953	13,1474	13,4521	2,661	2,723
1,180	486,5479	33,9884	47,4405	6,880	9,603
0,600	452,5595	121,5940	169,0345	24,613	34,216
0,300	330,9655	84,4933	253,5278	17,103	51,319
0,150	246,4722	99,6467	353,1745	20,170	71,489
Fundo	146,8255	140,8512	494,0257	28,511	100
Total		494,0257			

Fonte: Autor, 2016.

De acordo com os dados obtidos pelo ensaio de composição granulométrica e analisando seus respectivos valores, foi possível calcular o módulo de finura (MF) do pó de pedra, sendo este equivalente a 1,69. A dimensão máxima característica ($D_{m\acute{a}x}$) do pó de pedra correspondeu a 2,36 mm.

O gráfico 2 apresenta a curva granulométrica do pó de pedra, indicando as porcentagens passantes e retidas do agregado em cada peneira.

Gráfico 2: Curva granulométrica do pó de pedra.



Fonte: Autor, 2016.

Desta forma, baseando-se na tabela 4 e através do módulo de finura (MF), pode-se caracterizar os agregados miúdos. Tanto a areia natural utilizada no traço referência, como o pó de pedra foram caracterizados como agregado miúdo fino, pois o módulo de finura de ambos foi menor que 2,40. Em relação à dimensão máxima característica, a da areia foi de 1,18 mm e a do pó de pedra foi de 2,36 mm, o que significa dizer que são os maiores diâmetros presentes nas amostras.

4.2. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS MIÚDOS

O ensaio de determinação da massa específica dos agregados miúdos foi realizado de acordo com a NBR 9776/1987, utilizando o frasco Chapman. A areia natural utilizada no

traço referência obteve uma massa específica de 2,56 g/cm³, já a massa específica do pó de pedra correspondeu a 2,64 g/cm³, obtendo esses valores a partir da equação 1.

De acordo com os resultados, pode-se dizer que o pó de pedra possui uma massa superior a massa da areia, levando em consideração um mesmo volume. Assim, a massa real do pó de pedra (desconsiderando os vazios existentes) é maior por volume do que a da areia.

4.3. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS GRAÚDOS

O ensaio para a determinação da massa específica do agregado graúdo foi realizado conforme a NBR NM 53/2009, de acordo com esse ensaio determinou-se a massa seca do material ($m = 2011,76$ g), massa em água do material ($m_a = 1249,90$) e posteriormente, a partir da equação 2, obteve-se a massa específica seca da brita 0, cujo valor correspondeu a 2,64 g/cm³. Semelhante à massa específica do pó de pedra, esse valor corresponde a massa que a brita 0 vai ocupar em um volume conhecido, sem considerar os vazios existentes, ou seja, corresponde a sua massa real relacionado a um determinado volume.

4.4. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA

Os ensaios para a determinação da massa unitária dos agregados miúdos e graúdo foram baseados na NBR NM 45/2006. A massa do recipiente vazio correspondeu a 7,940 kg e seu volume é de $3,3586 \times 10^{-3}$ m³. Assim, de acordo com a equação 3, a areia natural obteve uma massa unitária de 1429,17 kg/m³, o pó de pedra de 1305,6 kg/m³ e a brita 0 chegou a uma massa unitária de 1339,8 kg/m³. De acordo com os resultados, observou-se que a areia natural foi o agregado que apresentou o maior valor de massa unitária, o que significa dizer que a areia sendo analisada com o volume de vazios incluso na sua amostra, possui uma maior massa em relação ao mesmo volume ocupado, comparado aos demais agregados.

4.5. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA UMIDADE COM O EMPREGO DO “SPEEDY”

Com relação à determinação da umidade com o uso do “speedy”, segundo a norma técnica DNER-ME 052/94, foi possível observar não houve nenhum deslocamento no marcador do manômetro no momento dos ensaios, o que significa que não houve o surgimento de pressão e conseqüentemente não havia umidade em nenhuma das amostras, tanto na areia natural como no pó de pedra. Desta forma, observou-se que os agregados miúdos estavam isentos de umidade.

4.6. DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DO CONCRETO

Se tratando da análise da consistência do concreto fresco, foi utilizado o ensaio de abatimento do tronco de cone normatizado pela NBR NM 67/1998. Observou-se neste ensaio que no traço referência (utilizando areia natural) não houve abatimento. No traço denominado como “T1” também não ocorreu abatimento, já no traço “T2” houve um abatimento de 5 mm e no “T3” não observou-se abatimento. De acordo com os resultados obtidos, notou-se que em todos os traços o concreto estava bem consistente. A figura 19 mostra a medição do abatimento no durante o ensaio.

Figura 19: Determinação da consistência do concreto através do abatimento do tronco de cone.



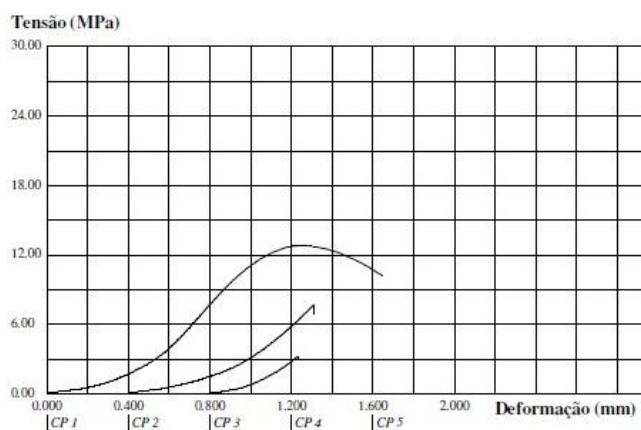
Fonte: Autor, 2016.

4.7. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O ensaio de resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos foi realizado de acordo com a NBR 5739/2007. Para a execução desse ensaio foram moldados 12 corpos-de-prova, sendo 3 corpos-de-prova para o traço referência e 3 corpos-de-prova para cada composição dos 3 traços estabelecidos. A resistência à compressão de cada traço foi obtida pela média aritmética da resistência obtida por cada um dos 3 corpos-de-prova. Estes por sua vez, foram ensaiados aos 7 dias de idade.

O gráfico 3 apresenta a relação “tensão x deformação” obtidos durante o rompimento dos corpos-de-prova com areia natural como agregado miúdo (corpos-de-prova referência).

Gráfico 3: Tensão x Deformação dos corpos-de-prova referência (utilizando areia natural).

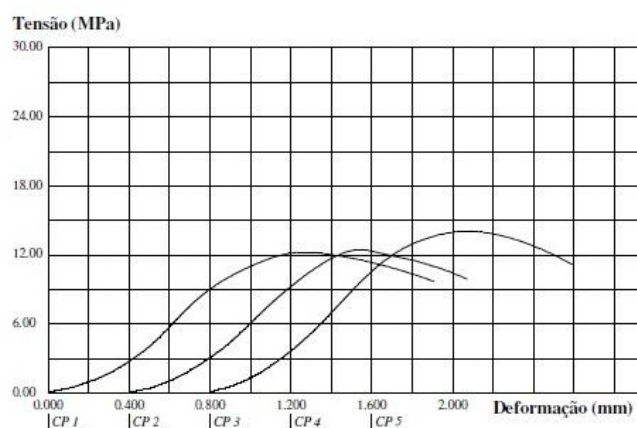


Fonte: Relatório de ensaio fornecido pela EMIC SSH300, 2016.

Como é possível notar, houve uma grande discrepância nos valores de resistência à compressão, fato esse devido à problemas com a máquina EMIC SSH300 no momento do ensaio. Por esse motivo, levou em consideração como valor da resistência à compressão apenas o valor do primeiro corpo-de-prova ensaiado, pois este foi o que chegou mais próximo dos valores das literaturas utilizadas.

O gráfico 4 mostra a “tensão x deformação” referente aos corpos-de-prova “T1”.

Gráfico 4: Tensão x Deformação dos corpos-de-prova "T1".

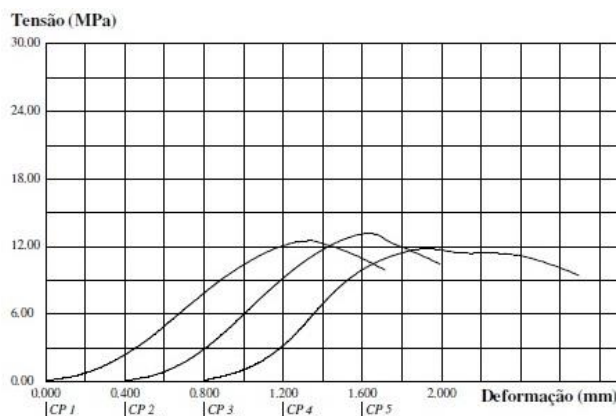


Fonte: Relatório de ensaio fornecido pela EMIC SSH300, 2016.

Este é o traço com pó de pedra melhor graduado, o que provavelmente favoreceu para a obtenção de uma maior resistência à compressão, devido ao melhor preenchimento dos vazios.

A relação “tensão x deformação” dos corpos-de-prova “T2”, é ilustrado no gráfico 5.

Gráfico 5: Tensão x Deformação dos corpos-de-prova “T2”.

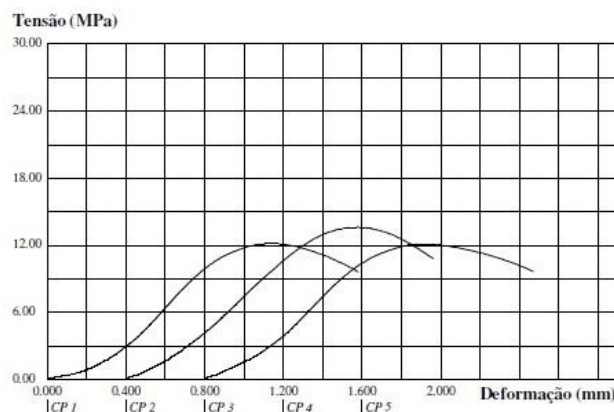


Fonte: Relatório de ensaio fornecido pela EMIC SSH300, 2016.

Os corpos-de-prova “T2” obtiveram uma resistência à compressão satisfatória em relação ao referência (utilizando areia natural). O traço utilizado na moldagem possuía uma maior quantidade de pó de pedra com a granulometria máxima (entre as granulometrias utilizadas) do que os outros corpos-de-prova. A resistência à compressão de cada corpo-de-prova nesse traço se manteve constante, estando basicamente na mesma faixa de valores.

O gráfico 6 mostra a relação “tensão x deformação” obtida pelos corpos-de-prova “T3”.

Gráfico 6: Tensão x Deformação dos corpos-de-prova "T3".



Fonte: Relatório de ensaio fornecido pela EMIC SSH300, 2016.

Os corpos-de-prova “T3” obtiveram uma média de resistência à compressão maior que “T2”. O traço utilizado para moldar os corpos-de-prova “T3” teve em sua composição pó de pedra como agregado miúdo. A composição granulométrica do pó de pedra no “T3” foi 30% de partículas com 1,18 mm, 30% com 600 μm e 40% com grãos de 125 μm . O fato da média de resistência à compressão do “T3” ter sido maior do que no “T2”, provavelmente se deu pela quantidade de partículas finas serem superiores no “T3”, o que favoreceu um melhor preenchimento nos vazios existentes.

A tabela 10 apresenta em resumo, o resultado das resistências dos corpos-de-prova de concreto aos 7 dias de idade. A apresentação dos resultados segue a seguinte seqüência: nomenclatura dos corpos-de-prova, força máxima aplicada sobre o corpo de prova (kN), resistência à compressão (MPa) (tensão máxima que o corpo-de-prova suporta sobre sua área até ocorrer a ruptura) e a média (equivalente a média aritmética obtida por 3 corpos-de-prova em cada traço).

Tabela 10: Resistência à compressão obtida pelos corpos-de-prova aos 7 dias de idade.

Corpo-de-Prova	Força Máxima (kN)	Resistência à compressão (MPa)	Média (MPa)
T	100,78	12,83	12,83 (valor da resistência do 1º corpo-de-prova)
T	60,58	7,71	
T	25,58	3,26	
T1	96,35	12,27	12,96
T1	98,32	12,52	
T1	110,76	14,10	
T2	98,46	12,54	12,52
T2	103,59	13,19	
T2	92,91	11,83	
T3	95,65	12,18	12,66
T3	107,17	13,65	
T3	95,44	12,15	

Fonte: Autor, 2016.

Como é possível observar, a maior média de resistência à compressão foi obtida pelos corpos-de-prova “T1”, que foram moldados com pó de pedra em substituição da areia natural e com a seguinte composição granulométrica: 34% de pó de pedra com 1,18 mm, 33% de grãos com 600 μm e 33% com 125 μm . Porém a diferença entre as médias de resistência à compressão obtida pelos corpos-de-prova foi mínima.

5. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

Em relação às características dos precursores, observou-se que tanto a areia natural utilizada no traço referência, como o pó de pedra foram caracterizados como agregados miúdos finos e obtiveram suas características físicas similares as encontradas em diversos trabalhos na área.

Na análise da consistência do concreto fresco, foi possível observar que todos os traços estavam bem consistentes, fato que se justificou com o mínimo de abatimento obtido pelo traço “T2” e a inexistência deste no restante dos traços.

Analisando as propriedades do concreto, notou-se que a substituição da areia pelo pó de pedra, assim como a granulométrica dos agregados miúdos não interferiram na resistência, ou seja, independentemente da composição granulométrica esse agregado artificial pode ser utilizado no concreto, pois de acordo com esse estudo todas as composições granulométricas se aproximaram bastante da resistência obtida pelo concreto convencional (com areia natural).

Desta forma, visando a redução dos impactos ambientais causado extração desacerbada de jazidas e o aproveitamento do pó de pedra provenientes dos centros de britagem (que na maioria das vezes são descartados), se ver como uma alternativa viável a substituição da areia natural pelo pó de pedra, considerando-se esta como uma solução econômica e que atende os mesmos requisitos relacionados à resistência que a areia natural no concreto.

REFERÊNCIAS

AITCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. São Paulo, ed. Pini, 2000.

ALMEIDA, L. C. **Estruturas IV– Concreto armado**. Notas de aula, 2002.

ALMEIDA, S. L. M. et al. **Produção de areia manufaturada em usina piloto**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – Ministerio da Ciencia e Tecnologia, 2005.

ANDOLFATO, R. P. **Controle tecnológico básico do concreto**. Ilha Solteira, 2002.

ARAÚJO, L.; RODRIGUES, R.; FREITAS, F. **Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: [s.n.], 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto**. Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 33: **Concreto – Amostragem de concreto fresco**. Rio de Janeiro, 1998.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.

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

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

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

ASTM - AMERICAN SOCIETY for TESTING and MATERIALS. **Ceramic Glazed Strutral Clay Facing Tile, Facing Brick, and Solid Masonry Units.** ASTM C 125. In: Annual book of ASTM Standards. Philadelphia, 1991.

BASTOS, S. R. B. **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial à areia fina para produção de concretos convencionais.** Dissertação de Mestrado UFSC, 2002.

BASTOS, S. R. B. **Uso de areia artificial basáltica em substituição parcial a areia fina para produção e concretos convencionais.** In: II SUFFIB – Seminário: O Uso da Fração Fina da Britagem, Anais. Eds. Cuchierato et al. São Paulo, 2005.

CABRERA, O. A.; IRASSAR, E. F. **Empleo de arena triturada em hormigones estructurales.** In: XXV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estructural. Anais. Vol IV – Porto Alegre, 1991.

CALAES, G. **O Planejamento Estratégico do Desenvolvimento Mineral Sustentável e Competitivo – Dois Caso de Não Metálicos no Rio de Janeiro.** 298 f. Tese de Doutorado. Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas.** 213 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A.; JOHN, VANDERLEY M. **A massa unitária da areia como parâmetro de análise das características de argamassa.** São Paulo, (1997).

DNER-ME 052: **Solos e agregados miúdos – determinação da umidade com emprego do “Speedy”.** 1994.

DONZA, H.; CABRERA, O.; IRASSAR, E.F. **High-strength concrete with different fine aggregate.** Cement and Concrete Research, n. 32. 2002.

FARINHA, A. M. P., SOUZA, F. C. **Pavimento intertravado de concreto com adição de resíduos de óxido alumínio – sínter.** Itatiba, 2011.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras de aço.** PCC USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000.

FREITAS, R. P. **Controle de qualidade em concreto endurecido: ensaios mecânicos.** Juiz de Fora, 2012.

HELENE, P.; ANDRADE. **Concreto de Cimento Portland.** In: HELENE, Paulo, et.al. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 2 ed. São Paulo-SP. Editor Geraldo C. Isaia, 2012. Capítulo 29, 945 – 984 p.

MEHTA, P.K., MONTEIRO, P. J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** Editora Pini Ltda, 1ª Edição. São Paulo, 1994.

MEHTA, P.K., MONTEIRO, P. J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. Editora Pini Ltda. Sao Paulo, 2009.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

MENOSSEI, R.T. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. Dissertação. Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2004.

MINAYO, M. C. S. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 14^a ed. Petrópolis: Vozes, 1999.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 2^a Ed. rev. atual. São Paulo: Pini, 1997.

NUGENT, F.R. **Ensaio com areia artificial – Como melhorar o concreto**. Colóquio sobre Agregados para Concreto. Anais, IBRACON. São Paulo, 1979.

OLIVEIRA, C. O. ; **Análise das Propriedades Reológicas de Materiais Cimentícios Associando o Conceito de Empacotamento de Partícula**. 2013. 142 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) –Programa de Pós-Graduação Em engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia –UNESP –Ilha Solteira, 2013.

PIMENTA, D. S. **Produção de concreto convencional com a utilização de pó de brita**. João Pessoa, 2012.

PRUDÊNCIO JR, L.R.; COELHO, A.H.; GUTSTEIN, D. **Utilização do pó-de-pedra para a produção de agregado miúdo para uso em concreto**. In: XXII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Tucumán, Argentina: setembro de 1995. Anais. PP 173-185.

RABELO, N. M. A.; GARCIA, C. R. **Comportamento do Concreto Mediante a Adição de Pozolana Artificial**. e-xacta, v.6, n.1, p. 55-66. Belo Horizonte, 2013.

RODRIGUES, E. C. **Concreto fresco e as suas propriedades**. Arte e Ciência. 2011.

ROMANO, C. A. **Apostila de tecnologia do concreto**. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. 2004.

SBRIGHI, N.C. **A importância dos conceitos tecnológicos na seleção dos agregados para argamassa e concreto**. Areia & Brita. São Paulo, n.12. p. 26-28, 2000.

SBRIGHI N.C. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. Ed. G. C. Isaías. São Paulo: IBRACON, 2005, 2v.1600p.

SILVA, C. B.; COSTA, D. W.; BASTOS, S. R. B. **Estudo de caso – Traços de concreto para uso em estruturas pré-moldadas**. In: II SUFFIB – Seminário: O Uso da Fração Fina da Britagem, São Paulo, 2005. Anais. Eds. Cuchierato et al.

SILVA, G. R.. **Manual de traços de concreto**. 3.ed. São Paulo: Ed. Nobel, 1975. 113 p
Número de Chamada: 620.136 S586m, 1975.

SIQUEIRA, L. V. M. **Laboratório de materiais de construção II**. Agregados. Joinville, 2008.

TARTUCE, R.; GIOVANNETTI, E. **Princípios básicos sobre concreto decimentoportland**. São Paulo: PINI, 1999.

TEODORO, S. B. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural**. Juiz de Fora, 2013.

TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P. **Dosagem dos concretos de cimento Portland**. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. IBRACON, Cap. 12. 2011.

VALVERDE, F. M. **Agregados para a construção civil**: Balanco Mineral Brasileiro, São Paulo: Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a Construção, 2001.

WEIDMANN, D.F. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland**. Dissertação de Pós - Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.