



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE AGROTECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ILG PATRICK DANTAS SILVA

**UTILIZAÇÃO DO PÓ DE PEDRA COMO AGREGADO ARTIFICIAL NA PRODUÇÃO
DE CONCRETO.**

CARAÚBAS - RN
2016

ILG PATRICK DANTAS SILVA

**UTILIZAÇÃO DO PÓ DE PEDRA COMO AGREGADO ARTIFICIAL NA PRODUÇÃO
DE CONCRETO.**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural
do Semi-Árido-UFERSA, como exigência final para
obtenção do título de Bacharel em Ciência e
Tecnologia.

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

CARAÚBAS - RN
2016

© 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.

S586u Silva, Ilg Patrick Dantas .
Utilização do pó de pedra como agregado artificial
na produção de concreto / Ilg Patrick Dantas
Silva. - 2016.
52 f. : il.

Orientadora: Profª. Drª. Erica Natasche de
Medeiros Gurgel Pinto.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2016.

1. Concreto. 2. Areia Natural. 3. Pó de pedra. I.
Pinto, Profª. Drª. Erica Natasche de Medeiros
Gurgel , orient. II. Título.

ILG PATRICK DANTAS SILVA

**UTILIZAÇÃO DO PÓ DE PEDRA COMO AGREGADO ARTIFICIAL NA
PRODUÇÃO DE CONCRETO.**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do
Semi-Árido- UFERSA, como exigência final para
obtenção do título de Bacharel em Ciência e
Tecnologia.

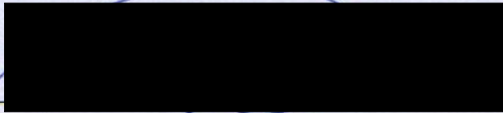
APROVADO EM 24 / 05 / 2016

BANCA EXAMINADORA



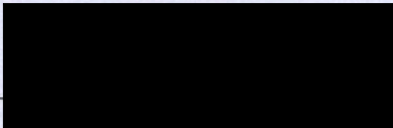
Professora Dr^a. Erica Natasche de Medeiros Gurgel Pinto - UFERSA

Orientadora – Presidente



Professor Dr. Kleber Cavalcanti Cabral – UFERSA

Examinador



Professor Ms. Luis Henrique Gonçalves Costa – UFERSA

Examinador

DEDICATORIA

Dedico esse trabalho a toda minha família que são minha base e sustento em especial aos meus pais e ao meu irmão que me deram amor e suporte em toda minha trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer ao meu bom Deus que sempre me iluminou nas horas mais difíceis nessa etapa de minha vida, me mostrando que nada é impossível se nós acreditamos e temos fé.

Aos meus amáveis pais José Ilenilson da Silva e Valteires Pires Dantas que me apoiaram em cada decisão da minha vida, me criando para ser uma pessoa justa e batalhadora.

Ao meu irmão João Antonio Dantas Neto que é minha base para todas minhas decisões e que está sempre ao meu lado haja o que houver.

A todos meus professores que me auxiliaram em toda jornada do curso em especial minha orientadora Erica Gurgel e minha professora Cibele Chianca por me dar suporte em todas as horas difíceis presentes no final do curso e por se apresentar além de excelentes professores, grandes amigas.

A todos meus primos em especial Matthauss Dantas, Micael Valtoni, Antonio Filho, Felipe Pires, Epifânio, Junior dos quais guardo muito boas lembranças e felicidade.

Aos meus familiares em especial ao meu avô Valdomiro e a minha avó Matilde que são minha fonte de aprendizagem sobre a vida e que me dão amor acima de tudo.

Aos meus tios João Antonio, Jandui, José Valdemir, Ilenilton, Ileilson, Ilenilda que me ajudaram em fases complicadas na minha carreira acadêmica me dando grande suporte.

A minha turma que me acompanhou para esse momento da chamada 2011.1 na UFERSA, que além de amigos são considerados como minha segunda família, em especial para Vinicius Gerealdo de Lima meu amigo, colega de quarto e irmão que esteve sempre comigo, e a minha parceira para todas as horas, o casal Daniel Douglas e Fernanda Carvalho pelo todo tempo de carinho e amor e a Mara Monaliza Linhares Pereira que está sendo (meu Norte) em toda a minha

trajetória final do curso, além de ser minha irmã de coração, mostrando que uma aliança de amizade dura para sempre.

A turma da chamada 127 para o Ciências sem Fronteiras que guarda todos melhores momentos vivido em minha vida junto de uma turma com as melhores pessoas possíveis, em especial para Abdallah Seoud, Flaviano Tomaz, Vinicius Barreto, Diego Siqueira, Victor Nogueira e Anderson Rocha “Os Machos”, meus Brothers para a vida toda.

RESUMO

A chegada do concreto na sociedade trouxe infinitas inovações no setor da construção civil, suas características físicas e químicas possibilitaram obras incríveis. Este material em seu estado sólido possui uma alta resistência mecânica, similar a das rochas naturais, tendo como diferencial alta impermeabilização a água. Este composto é elaborado através de um processo de mistura de um aglomerante, geralmente o cimento Portland, e aglomerados, sendo eles divididos em grãos e miúdos, dependendo de seu tamanho granulométrico. No entanto, como todos elementos são obtidos na natureza tais componentes são finitos e se retirados de maneira exacerbada pode gerar um risco ao ecossistema do meio. A areia natural por exemplo é um elemento muito utilizado como agregado miúdo, e devido sua alta extração, encontra-se cada vez mais escassa no âmbito construtivo. Em vista a esse dilema, muitos estudos voltados ao desenvolvimento sustentável, trouxeram alternativas, com intuito de reduzir tais impactos ou até mesmo substituí-los por outros métodos alternativos. Neste trabalho, elaborou-se um estudo técnico avaliativo da substituição parcial da areia natural pelo o rejeito proveniente da produção do agregado grão brita (pó de pedra), com o objetivo de avaliar as melhores formas de substituição possíveis, evitando que as características físicas e mecânicas do concreto não sofressem alterações negativas. A partir do exposto, utilizou-se quatro porcentagens diferentes de pó de pedra, sendo eles 0, 20, 40 e 60%, adicionados no traço do concreto como substituição, em peso, da areia. A partir desses resultados pode-se observar que o pó de pedra apresentava em suas características muita semelhança com os resultados da areia, apresentando, porém, características de resistência à compressão quando com 60% de pó de pedra, maiores do que o concreto com apenas areia natural, concluindo que o mesmo pode ser utilizado como um mecanismo sustentável de produção de concreto, reduzindo o uso da areia natural.

Palavras-chave: Concreto. Areia natural. Pó de pedra.

ABSTRACT

The arrival of the concrete in society brought endless innovations in the construction industry, its physical and chemical characteristics enabled incredible works. This material in its solid state has a high mechanical strength similar to that of natural stone, having as a differential high waterproofing resistance. This substance is prepared by a process of mixing a binder, usually Portland cement, and aggregates, and these were divided into two groups, coarse aggregates and fine aggregates, depending on their particle size. However, as all the elements, they are obtained in nature, such components are finite, and if they are being removed in, an exacerbated manner may pose a risk to the ecosystem. The natural sand for example is a widely used as fine aggregate element, and because of its high level of extraction, it finds out, increasingly scarce in the construction area. Based on this dilemma, many studies aimed at sustainable development, brought alternative, in order to reduce such impacts or even replace them with alternative methods. This work elaborated an evaluative technical study of the partial substitution of natural sand by the waste from the production of coarse aggregate gravel (stone dust), in order to evaluate the best ways possible of replacement, preventing the physical and mechanical of the concrete did not suffer negative changes. As the base, using four different percentages of stone dust, namely 0, 20, 40 and 60%, added to the concrete mix as a substitute by weight of the sand. From these results, it could be noted that the stone dust used to succeed the natural sand, presented its characteristics very similar to the sand. It can also be seen that concrete with 60% of stone dust, presents greater characteristics of resistance to the compression of the concrete than with only natural sand, concluding that it can be used as a sustainable mechanism for concrete production, reducing the use of natural sand.

Keywords: Concrete. Natural sand. Stone dust.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Processo de fabricação do cimento	18
Figura 2: Areia natural utilizada na confecção dos corpos de prova.....	31
Figura 3: Pó de pedra utilizado na confecção dos corpos de prova.....	32
Figura 4: Brita utilizada na confecção dos corpos de prova.....	33
Figura 5: Conjunto de peneiras para ensaio granulométrico	35
Figura 6: Frasco de Chapman.....	36
Figura 7- Determinação da massa saturada do agregado graúdo	37
Figura 8- Determinação do abatimento do concreto com 60 % de pó de pedra.....	41
Figura 9: gráfico da granulometria da areia.....	45
Figura 10: gráfico da granulometria do pó de pedra	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Representação do tamanho das britas de acordo com seu tipo.....	21
Tabela 2 Traço utilizado para produção do concreto	39
Tabela 3: Composição granulométrica da areia.	44
Tabela 4: Composição granulométrica do pó de pedra.	46
Tabela 5: massa unitária dos agregados.	48
Tabela 6: Quantidade dos materiais para dosagem do concreto.....	49
Tabela 7: Resultados do Slump test.....	49
Tabela 8: Resistência à compressão aos 7 dias.....	50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO.....	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 Concreto	16
3.2 Materiais.....	17
3.2.1 Cimento	17
3.2.2 Agregados.....	20
3.2.2.1 Areia	21
3.2.2.2 Brita.....	21
3.2.3 Água	22
3.3 Tipos de materiais alternativos.....	22
2.3.1 Borracha de pneu.....	23
3.3.2 Resíduos da construção civil	23
3.3.3 Resíduos de vidro	24
3.3.4 Pó de pedra	25
3.4 Propriedades do concreto	27
2.4.1 Agregados e suas influências nas propriedades do concreto.....	28
4. MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1 Materiais.....	30
4.1.1 Cimento Portland.....	30
4.1.2 Areia	30
4.1.3 Pó de pedra	31
4.1.4 Agregado graúdo	32

4.1.5 Água	33
4.2 Métodos	33
4.2.1 Ensaio de composição granulométrica	34
4.2.2 Ensaio de massa específica do agregado miúdo.....	35
4.2.3 Determinação da massa específica do agregado graúdo	37
4.2.4 Densidade aparente do agregado miúdo e graúdo.....	38
4.2.5 Determinação da umidade dos agregados miúdos	38
4.2.6 Dosagem do Concreto	38
4.2.6.1 Mistura do traço	40
4.2.7 Ensaio de abatimento do tronco do cone.....	40
4.2.8 Ensaio de resistência à compressão.....	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
5.1 Ensaio de composição granulométrica	44
5.2 Ensaio de massa específica do agregado miúdo.....	47
5.3 Ensaio da massa específica do agregado graúdo.....	47
5.4 Ensaio da densidade aparente do agregado miúdo e graúdo	47
5.5 Ensaio de umidade dos agregados miúdos	48
5.6 Dosagem do concreto	48
5.7 Ensaio de abatimento do tronco do cone.....	49
5.8 Ensaio de resistência à compressão.....	50
6 CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS.....	52

1. INTRODUÇÃO

O concreto foi sem dúvida uma das maiores invenções do homem. Essa pedra artificial é considerada um material novo, tendo em vista que até o século XIX, a madeira e a alvenaria eram praticamente os únicos materiais usados na construção. No entanto, a madeira, embora muito abundante apresentava grandes problemas devido suas características físicas, como a sua durabilidade e a facilidade a combustão. Enquanto isso, a alvenaria feita com pedras e tijolos era cada vez mais disseminada tendo como acréscimo em sua utilização a primeira argamassa que servia como uma espécie de ligante para a alvenaria a partir do 2500 a.C., quando os egípcios a desenvolveram (CARVALHO, 2008a).

Desse momento em diante, o desenvolvimento do cimento, um dos principais elementos na produção da argamassa, tendeu apenas a aumentar. Após a chegada império Romano, percebeu-se que a junção do cimento, areia, pedras e água davam origem a uma massa consistente e boa para a construção de seus monumentos. Essa massa foi posteriormente chamada de concreto, que hoje em dia é um dos materiais mais utilizados na construção civil (CARVALHO, 2008b).

Segundo a definição de Almeida (2002a, p.3):

O concreto é um material de construção resultante da mistura, em quantidades racionais, de aglomerante (cimento), agregados (pedra e areia) e água. Logo após a mistura o concreto deve possuir plasticidade suficiente para as operações de manuseio, transporte e lançamento em formas, adquirindo coesão e resistência com o passar do tempo, isso ocorre em função das reações que se processam entre aglomerante e água. Em alguns casos são adicionados aditivos que modificam suas características físicas e químicas.

Este material em seu estado sólido possui uma alta resistência mecânica, similar a das rochas naturais, tendo como ponto principal que o mesmo possui uma alta resistência a água diferenciando dos demais elementos expostos anteriormente. Essa sua propriedade permite ao concreto ser utilizado em ambientes úmidos, como barragens, transporte e armazenamento desse fluido (RODRIGUES, 2011b).

O material mais utilizado como aglomerante é o cimento Portland, um material com características de ligantes que sobre a ação da água se enrijece. Este elemento é o principal componente do concreto e é responsável diretamente pelas ligações e misturas dos materiais que darão as propriedades a esse material.

Os agregados compõem cerca de 70% da composição do concreto e são eles os responsáveis por muitas das características estruturais dadas ao mesmo. Esses elementos são separados em algumas categorias: eles podem ser naturais, quando não precisam passar por nenhum processo de fabricação (encontrados na natureza), e os artificiais, quando são modificados para poderem ser trabalhados (BASTOS, 2006a).

Para que todo o processo ocorra é necessário que o aglomerante e seus agregados estejam em um meio hídrico, para isso se faz necessário o último elemento, essencial para fabricação do concreto, a água. Ela permite que ocorra a reação química entre os elementos além de lubrificá-los para facilitar o manuseio.

Embora o concreto seja um dos elementos mais utilizados na construção, o mesmo apresenta alguns agravantes quando se refere a extração dos agregados miúdos (areia). A retirada excessiva da areia de seu ambiente natural, prejudica não apenas a escassez da mesma como também, ao meio ambiente que está ao seu redor. Um dos pontos mais agravantes de retirada dessas areias é quando ocorre a extração em leito de rios. Segundo a Agência Nacional de Águas (2004), o material extraído é armazenado junto às margens dos rios nos pátios de estocagem. Levando em consideração o ambiente, é necessário um desmatamento junto à margem dos rios, com danos à mata ciliar e áreas de proteção permanente. Já nos próprios corpos hídricos, há o revolvimento do material do fundo dos rios, com possíveis prejuízos à biótica fluvial, além de modificações no seu processo de sedimentação, com movimentação dos finos e deposição em outros locais.

Para fins de solucionar esses problemas, muitas pesquisas ligadas a sustentabilidade foram surgindo apresentando propostas, de novos materiais que pudessem substituir produtos como a areia de uma forma econômica e ecologicamente viáveis. Surgindo assim diversas propostas como a utilização da cinza da casca de arroz, cinza do bagaço da cana de açúcar, pó de pedra, borracha de pneu, entre outros.

O pó de pedra por sua vez é um elemento proveniente das pedreiras, e a partir de diversos estudos como (DUARTE, 2013; SANTOS, LIRA e RIBEIRO, 2012; AQUINO e ARAUJO,

2012) foi constatado como um material viável para a substituição da areia natural. Este resíduo tem a vantagem de diminuir o dano ao meio ambiente, já que esse material é uma submatéria proveniente da britagem de rochas graníticas, e em função disto, também, possui um baixo custo de produção. Tendo em vista que o Rio Grande do Norte apresenta um grande número de pedreiras próximas as grandes cidades como Natal, Angicos, Mossoró e Caraúbas, a região apresenta condições favoráveis para a aquisição desse material.

Com base no exposto, esse trabalho tem o objetivo de avaliar a alteração das propriedades do concreto em função da adição de um agregado artificial, o pó de pedra. Para isso, serão estudadas as adições de pó de pedra, nas proporções de 20%, 40%, 60% em substituição parcial e em peso à areia, e avaliadas as propriedades mecânicas e de consistência, do material endurecido e fresco.

2. OBJETIVO

Com base no exposto, esse trabalho tem o objetivo de avaliar a alteração das propriedades do concreto em função da adição de um agregado artificial, o pó de pedra. Para isso, serão estudadas as adições de pó de pedra, nas proporções de 0%, 20%, 40%, 60% em substituição parcial e em peso à areia, e avaliadas as propriedades mecânicas e de consistência, do material endurecido e fresco.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Concreto

O concreto nada mais é que a junção de aglomerante e agregados que na presença de água forma uma massa que ao se solidificar fica altamente resistente, apresentando características específicas dependendo dos aditivos adicionados ao mesmo. Seu surgimento se deu a partir da descoberta do cimento, seu principal elemento (CARVALHO, 2008c; ALMEIDA, 2002b).

O surgimento do cimento ocorreu em torno de 2500 a.C. quando se constatou em algumas pirâmides, portas de pedra rebocadas com uma argamassa composta por uma mistura de gesso calcinado. Esse conhecimento, ao passar do tempo, se difundiu para as demais culturas as quais foram aprimorando esses tipos de argamassa, levando em consideração suas respectivas necessidades. Em torno do século III a.C., Roma aperfeiçoou essas técnicas construtivas. A grande descoberta que alavancou a engenharia romana e possibilitou dotar as cidades dessa infraestrutura foi o Opus Caementicium, cujo componente principal era uma cinza pozzolânica que misturada à argamassa de cal produzia um material de características semelhantes ao cimento atual. Com a difusão do cimento e suas diversas misturas o concreto foi acabando sendo criado se diversificando em diversos tipos de construção. (CARVALHO, 2008d).

Segundo o Almeida (2002c), o concreto se classifica de acordo com seus processos de fabricação, campo de aplicação e seu peso específico. O mesmo pode ser fabricado no local da obra ou ser pré-fabricado quando vem produzido de outros locais. Seu campo de aplicação varia entre o concreto massa (utilizado em barragens) ou concreto estrutural (utilizado em edifícios e pontes). E quanto ao peso específico o concreto pode variar entre: concreto pesado ($\gamma_c = 2,8$ a $5,0$ tf/m³), concreto normal ($\gamma_c = 2,0$ a $2,8$ tf/m³), concreto leve ($\gamma_c = 1,2$ a $2,0$ tf/m³) e concreto leve para isolamento térmico ($\gamma_c = 0,7$ a $1,6$ tf/m³).

3.2 Materiais

Os materiais constituintes do concreto, são: cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Algumas vezes é necessário a adição de aditivos químicos que possam melhorar sua estrutura, dependendo de sua necessidade. Assim, para melhor entendimento do trabalho é importante abordar sobre cada um desses constituintes.

3.2.1 Cimento

O cimento Portland, tal como é hoje mundialmente conhecido, foi descoberto na Inglaterra por volta do ano de 1824, e sua produção industrial foi iniciada após o ano de 1850. Ele é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento Portland não se decompõe mais (ABCP, 2002).

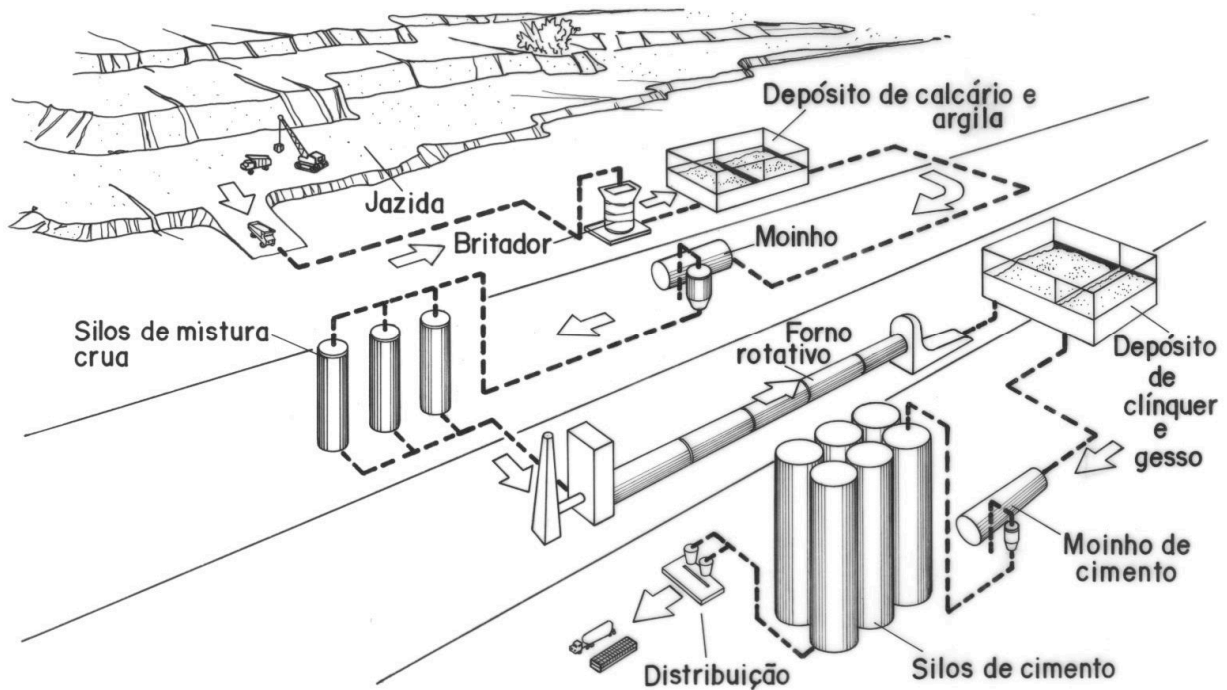
O cimento é o principal elemento dos concretos, e é o ligante responsável pela união dos materiais que compõem o concreto no produto final desejado. O mesmo é composto de clínquer e de adições, sendo o clínquer o principal componente, presente em todos os tipos de cimento. (BASTOS, 2006b).

A fabricação do cimento Portland é um processo árduo, que requer tempo. Para que ocorra sua fabricação, primeiramente, é necessário estabelecer o local onde irá se fixar as jazidas de calcário e argila, levando em consideração que a mesma precisa se localizar próxima a sua fábrica de cimento e aonde possa ser extraído os principais elementos de produção do mesmo, visto que, o processo de fabricação não pode ser interrompido.

Após definido o local de extração o processo de fabricação é iniciado. Em primeira instância, são extraídos os elementos necessários das rochas utilizando explosivos. Passando por um processo de britagem a qual as reduz a um tamanho menor que 9 cm seguindo os padrões da ABNT. Logo após sua britagem, começa-se o processo chamado de moagem e mistura na qual as britas são reduzidas a partículas ainda menores, adicionando a sua mistura elementos necessários para a atingir a composição química desejada do cimento. Em seguida, ocorre o processo de calcinação (queima), que com base em altas temperaturas é formado o elemento principal do cimento o clínquer. Por fim, o clínquer já produzido, passa por um outro processo de moagem, no

qual é adicionado uma parcela de gipsita ao material já produzido. A partir dessa etapa, o cimento já está pronto restando apenas a ensilagem, embalagem e expedição. Pode-se observar todo o processo da fabricação do cimento com mais detalhe na figura 1 exposta abaixo. (ABNT, 1991), (CIA. DE CIMENTO ITAMBÉ, 2010).

Figura 1 : Processo de fabricação do cimento



Fonte: (ABCP, 2002)

De acordo com Cichinelli (2008), o cimento Portland foi dividido em vários tipos de acordo com suas características e diferentes tipos de compostos.

- CP-I (Cimento Portland comum): é conhecido como cimento Portland comum pois não adição de nenhum aditivo apenas o gesso para o retardamento do endurecimento do cimento. Seu custo é alto e possui a menor resistência em relação aos demais (25 Mpa).
- CP-I-S (Cimento Portland comum com adição): é conhecido como cimento Portland comum com adição e possui a mesma composição do cimento comum, porem com uma pequena de argila (1% a 5%). Devido a essa adição ele possui menor permeabilidade e sua resistência pode ser 25 ou 40 Mpa.

- Cimento CP- II (Cimento Portland composto): é conhecido como cimento Portland composto devido ter adição de outros materiais durante sua mistura. Este cimento possui um menor calor de hidratação, ou seja, na presença de água o mesmo libera menos calor. Ele se divide em três tipos:
 - CP- II- E (Cimento Portland composto com Escória): Cimento Portland de Escória, ele é recomendado para estruturas de lento desprendimento de calor.
 - CP- II- Z (Cimento Portland com Pozolana): Cimento Portland com adição de argila (Pozolana), ele dá ao cimento menor permeabilidade e é recomendado para águas subterrâneas principalmente as que tem contato com água.
 - CP- II- F (Cimento Portland com Fíler): Cimento Portland com adição de material carbonato (Fíler), ele é recomendado para estruturas em concreto armado e argamassa de assentamento e revestimento, entretanto, ele não é indicado para aplicação em meios muito agressivos.

Em geral o CP- II é versátil por ser utilizado em todas as fases da obra. Sua resistência independentemente do aditivo pode ser 25, 32 ou 40 Mpa.

- Cimento CP- III (Cimento Portland de Alto-forno): é conhecido como cimento Portland de Alto-forno pois sua composição é em torno de 35% a 70% de escória de alto-forno. Ele possui uma alta impermeabilidade e durabilidade, com uma grande resistência a expansão, é menos poroso e mais durável. Sua resistência pode ser 25, 32 e 40 Mpa.
- Cimento CP- IV (Cimento Portland Pozolânico): é conhecido como cimento Portland Pozolânico pois é composto de 15% à 50% de material pozolânico proporcionando uma resistência em ataques a ácidos como o sulfato. Possui baixo calor de hidratação que por sua vez o torna mais recomendável para grandes volumes de concreto e altas temperaturas. Sua resistência é 25 ou 32 Mpa.
- Cimento CP- V- ARI (Cimento Portland de alta Resistência inicial): é conhecido como cimento Portland de Alta Resistência Inicial devido ao seu processo de fabricação ele tem alta reatividade nas primeiras horas de aplicação com isso ele

consegue atingir resistências elevadas em pouco tempo. Ele é recomendado apenas para fabricação de concreto e sua resistência é variável.

- Cimento CPB (Cimento Portland Branco Estrutural): é conhecido como cimento Portland Branco sua principal característica é a cor branca que é atingida através de matérias primas com baixo teor de manganês e ferro e substituindo o caulim ao invés da argila. Ele é dividido em estrutural para fins arquitetônicos e o não estrutural usado para rejunte de cerâmicas. A resistência do cimento branco pode ser 25, 32 ou 40Mpa.

3.2.2 Agregados

Segundo Bauer (1995a), o agregado é um material particulado, sem forma definida, sem coesão, de atividade química praticamente inerte, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos. Os agregados utilizados na produção do concreto são de fundamental importância tendo em vista que os mesmos compõem cerca de 70 a 80% do concreto.

As principais características do agregado que devem ser analisadas são: massa específica, textura, granulometria e resistência à abrasão, uma vez que é a fase responsável pela estabilidade dimensional, massa unitária e módulo de elasticidade do concreto. Um controle mais rigoroso deve ser realizado em relação a granulometria e tamanho máximo do agregado, levando em consideração que a proposta é manter a relação água cimento (a/c) mais baixa possível (SILVA & LIBORIO, 2005).

Em relação a classificação dos agregados quanto a sua origem, pode-se defini-los como naturais ou artificiais. Os naturais são os que se encontram de forma particulada na natureza (areia, cascalho ou pedregulho) e os artificiais são aqueles produzidos por algum processo industrial, como as pedras britadas, areias artificiais, escórias de alto-forno, argilas expandidas, resíduos da construção civil e mineração, entre outros. (SERNA E REZENDE, 2009). A NBR 7211 (2009) fixa as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e grãos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas. (SANTOS, LIRA & RIBEIRO, 2012a)

3.2.2.1 Areia

O agregado miúdo se define como areia de origem natural ou resultante da britagem de rochas consolidadas, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm. A areia como agregado miúdo desempenha um papel fundamental no concreto visto que ela apresenta cerca de 30% da porção do concreto. Sua extração na forma natural ocorre geralmente nos leitos dos rios, ocasionando muitas vezes uma modificação no sistema fluvial da região até mesmo prejudicando o meio ambiente. Além disso, assim como todos elementos naturais que são expostos a uma excessiva extração, a areia está ficando cada vez mais escassa. Necessitando dessa forma outras formas alternativas que evitem a extração areia em sua forma natural. (SANTOS, LIRA & RIBEIRO, 2012b; NBR 7211, 2009a)

3.2.2.2 Brita

O agregado graúdo se define como pedregulho ou brita proveniente de rochas consolidadas, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,8 mm (NBR 7211, 2009b). As britas são os agregados graúdos mais usados no Brasil, com uso superior a 50 % do consumo total de agregado graúdo nos concretos (MEHTA & MONTEIRO, 1994a). De acordo com (BASTOS, 2006c), suas características dependem de seu tamanho e de sua forma de extração. Seus tamanhos podem variar de acordo com a tabela 1 dada abaixo:

Tabela 1: Representação do tamanho das britas de acordo com seu tipo

Tipo de brita	Tamanho (mm)
Brita 0	4,8 – 9,5
Brita 1	9,5 – 19
Brita 2	19 – 38
Brita 3	38 – 76

Sua obtenção se dá através da extração de rochas graníticas, basálticas e gnaisses e posterior britamento com o intuito de determinar a granulometria do material.

3.2.3 Água

A água é o elemento fundamental para que ocorram as reações de hidratação, que iram dar origem ao concreto, além de dar trabalhabilidade a mistura. O cimento por ser um elemento hidráulico necessita estar em contato com a água para que os elementos químicos presentes no mesmo comecem a reagir, a relação água/cimento influencia diretamente a resistência do concreto. É a partir da adição desses elementos que o concreto passa a adquirir as suas propriedades de resistência e durabilidade. Segundo a norma do ABNT/CB-18, 2010 quando a água vem de fontes subterrâneas, ou quando é de captação pluvial ou ainda oriunda de processo residual industrial, pode ser boa para uso do concreto, mas deve ser analisada. No caso de água salobra (água com salinidade entre a da água do mar e as chamadas águas doces) também pode ser utilizada, mas somente no concreto não armado. A água do mar não deve ser usada em concreto armado ou protendido. Para concreto, a água mais utilizada são águas oriundas do abastecimento público ou água potável uma vez que estas não necessitam de ensaio para serem utilizadas.

3.3 Tipos de materiais alternativos

Como visto anteriormente os agregados se dividem em agregados naturais e agregados artificiais, eles se diferem pela sua origem. Os agregados naturais são retirados diretamente da natureza enquanto os artificiais são fabricados ou modificados de sua forma natural. Estes, foram criados visando a substituição dos agregados naturais. Assim como os agregados, o aglomerante também utiliza de outros materiais que possam substituí-lo, visando a prevenção e proteção de determinados elementos que podem vir a se extinguir no futuro, além do melhoramento de algumas propriedades do concreto utilizando desses materiais alternativos. Tais elementos podem ser utilizados tanto na parcial substituição dos elementos naturais ou em sua total substituição. Alguns exemplos de materiais alternativos são a utilização da borracha de pneu, resíduos da construção civil, a utilização dos resíduos de vidro e do pó de pedra.

2.3.1 Borracha de pneu

Os pneus utilizados nos veículos se tornam um problema ambiental grave, uma vez que quando não trabalhados de uma forma própria para sua disposição, eles podem levar cerca de 500 anos para se decompor (PNEWS, 2002). Uma das soluções para esse problema foi a reciclagem, sendo que uma das opções mais comum para tal solução é a recauchutagem, que em seu processo gera resíduos de borracha de pneu que pode ser utilizado na produção do concreto.

De acordo com Queiroz (2012), os resíduos de borracha de pneu quando adicionadas ao concreto podem melhorar algumas propriedades, tais como: impermeabilidade, flexibilidade, resistência à abrasão e resistência à corrosão. Em outro contexto, a incorporação destes resíduos no concreto surge como uma possibilidade para se atenuar impactos ambientais, ainda mais sabendo que ele é gerado em abundância durante o processo de recauchutagem. Observa-se, no entanto, que a inclusão desse resíduo pode provocar uma diminuição da resistência à compressão axial e do módulo de deformação longitudinal.

No processo de recauchutagem, é feita a raspagem mecânica da banda de rodagem velha para que possa ocorrer a aderência à nova banda de rodagem. O pneu se comporta tecnicamente como se fosse novo. Devido à raspagem mecânica, o restante da banda de rodagem velha transforma-se em partículas de diversas granulometrias denominadas de resíduos de borracha de pneu (MARTINS, 2005).

Esses resíduos podem ser utilizados no setor construtivo na produção de concreto de alto desempenho. Segundo Campos e Jacintho (2010), a trabalhabilidade do concreto e da argamassa é diminuída de acordo com o crescente teor de adição de borracha e com o emprego de partículas de pequena, porém o concreto com adição de fibras de borracha possui uma maior resistência ao surgimento e propagação de fissuras. As perdas mecânicas devidas à incorporação de borracha são aceitáveis, até um teor de 10% de mistura. Gerando um aumento da tenacidade no concreto.

3.3.2 Resíduos da construção civil

A expansão urbana e o célere adensamento das cidades de médio e grande porte têm provocado inúmeras dificuldades para a destinação do grande volume de resíduos gerados pelas

atividades privadas de construção, reformas e demolição de edificações, além daquelas obras públicas de construção e adequação estruturais, levando os administradores municipais e buscarem soluções mais eficazes para a gestão do problema. Pesquisas e experiências de campo comprovaram que esses poderiam ter uma disposição final mais nobre. (SILVA, 2009).

A reciclagem de resíduos provenientes da construção civil na utilização para produção de concreto foi a solução proposta. Segundo Lima (1999), o agregado obtido a partir da reciclagem de resíduo de construção pode ser aplicada em serviços tais como: argamassas de assentamento e revestimento, concretos, fabricação de pré-moldados (blocos, briquetes, meio-fio e outros), serviços de drenagem etc. Pode-se melhorar as características do concreto ou argamassa com a aplicação do reciclado em substituição total ou parcial à areia natural.

3.3.3 Resíduos de vidro

Para Shachelford (2008), o vidro é um material cerâmico, sólido não-cristalino de óxido tradicional. Seus silicatos, possuem um custo relativamente moderado devido à abundância dos elementos Si e O. O vidro é um material frágil embora possua grande resistência à ruptura, podendo mesmo ser utilizado em pisos, é duro e rígido, porém não tenaz não sendo apropriado para aplicações sujeitas a impactos. Além disso, grande parte da manufatura rotineira do vidro, o SiO_2 está prontamente disponível em depósitos de areia locais com pureza adequada. Fazendo com que o mesmo possua diversas aplicações e seja muito utilizado no ramo industrial.

Em consequência da diversidade de aplicações do vidro, é gerada constantemente, uma grande quantidade de resíduos, que quando não reciclados são dispostos em aterros e lixões (Oliveira, Silva, Pereira, Costa e Marques, 2012). Para solucionar esse problema pesquisadores descobriram que o vidro poderia ser utilizado na substituição parcial ou até mesmo por completa do agregado miúdo do concreto ou argamassa.

De acordo com Babu e Prakash (1995), o benefício da adição do vidro estava relacionado ao preenchimento de vazios entre os grãos do agregado fino (melhora do empacotamento das partículas). Já o efeito pozolânico aconteceria com vidros de granulometria fina ($<0,75\text{mm}$) uma vez que as partículas finas favorecem uma rápida e benéfica reação pozolânica. Para vidros com granulometria grosseira ($> 0,75\text{ mm}$), a reação álcali/sílica aconteceria preferencialmente.

O processo de preparação do agregado consistiu em submeter o resíduo de vidro à trituração em moinho de martelo até obter-se uma granulometria semelhante à do agregado miúdo natural (Silva, Barbosa, Mota e Carvalho, 2011).

O reaproveitamento dos resíduos de vidro na construção civil torna o processo viável por apresentar um destino sustentável para o mesmo além de apresentar características de aprimoramento para o concreto.

3.3.4 Pó de pedra

O pó de pedra é um material oriundo da exploração em pedreiras, que com o objetivo de produzir britas as explosões geram uma grande quantidade de pó. Por ser um subproduto, esse material acaba sendo estocado nos pátios das empresas gerando um acúmulo desse resíduo podendo provocar impactos ambientais.

De acordo com Bauer (1995b), o pó de pedra é um material mais fino que o predisco, sua graduação genérica, mas não rigorosa, é de 0 a 4,8mm. Segundo Costa (2005), essa areia de britagem (como pode ser classificada), apresenta uma distribuição granulométrica bem homogênea, decorrente do processo de cominação adotado. No entanto, os grãos assim como a brita, possuem um formato anguloso e superfície áspera que podem reduzir a trabalhabilidade no concreto. Quando em forma cúbica, possibilitam uma maior interação com a mistura, acarretando uma diminuição na quantidade de vazios do concreto.

Para Cabral (2007), a areia de britagem é dotada de uma grande quantidade de material pulverulento que dentro de certos limites confere uma maior trabalhabilidade ao preencher os vazios da pasta de cimento e água. Por outro lado, quando em grandes quantidades, se torna prejudicial à qualidade do concreto, isto ocorre, quando o material pulverulento forma uma película envolvendo as partículas, dificultando a aderência da pasta de cimento aos agregados e aumentando assim, a necessidade de água para se manter a mesma trabalhabilidade do concreto.

Com essas características, o pó de pedra se tornou viável para a substituição parcial ou até mesmo por completa da areia natural que é utilizada como agregado miúdo na produção do concreto e argamassa. Para Marques e Campos (2012), devido ao tamanho máximo do pó de pedra ser 4,8mm, o mesmo pode ser classificado com área média podendo assim ser trabalhado como tal.

Segundo Andriolo (2005), no Brasil, a utilização do pó de pedra aconteceu a partir da década de 80, com base em estudos técnicos realizados na hidrelétrica de Itaipu, que evidenciava vantagens técnicas e econômicas. Além de afirmar que outros estudos ocorreram por engenheiros da Construtora Noberto Odebrecht referente a construção da barragem de Capanga em Angola resultando na utilização do pó de pedra no CCR (concreto compactado com rolo) na mesma. De acordo com Duarte (2013a), a utilização do pó de pedra no Rio Grande do Norte é utilizada por algumas concreteiras, como parte do agregado miúdo, na produção de concretos convencionais, sendo usado também em usinas de asfalto para a produção de cimento asfáltico de petróleo (CAP).

Para verificar a capacidade de substituição da areia pelo pó de pedra, esse trabalho apresenta os resultados de dois trabalhos científicos (DUARTE, 2013 & AQUINO e ARAUJO, 2012), que tinham o objetivo avaliar o efeito da substituição areia natural pelo pó de pedra na produção de concreto. Em ambas pesquisas, o pó de pedra foi dividido em proporções até que atingisse a completa substituição da areia, podendo dessa forma ser avaliado em qual proporção o pó de pedra atinge um melhor desempenho.

No artigo de Duarte (2013b) o pó foi dividido em 5 proporções, 10%, 30%, 50%, 100% e 100% com aditivo. Ele constatou que a composição com 10% de pó de pedra apresentou os melhores resultados referentes a ensaios físicos e mecânicos além de confirma a redução da resistência à compressão e o aumento da absorção de água à medida que se aumentava o teor de pó de pedra. Chegando à conclusão que o pó de pedra pode ser utilizado como meio de produção de concreto para fins estruturais podendo reduzir os custos e os impactos ambientais provenientes da produção do concreto convencional.

De acordo com Aquino e Araujo (2012), que trabalharam com proporções de 25%, 50%, 75% e 100%. Os concretos com teores de substituição contendo o pó de pedra, são mais resistentes que o concreto contendo areia natural, nos primeiros 7 dias de idade. Aos 28 dias, o melhor desempenho obtido foi com o concreto contendo areia natural. Chegando à conclusão que apesar da resistência à compressão não ter sido elevada, o pó de pedra pode ser utilizado em pequenas concentrações em substituição à areia.

Com base nos trabalhos científicos apresentados, pode-se dizer que a utilização do pó de pedra em pequenas proporções na substituição da areia natural apresenta-se de forma atrativa, visto que o mesmo é ecologicamente mais viável do que a areia natural, apresenta um melhor

desempenho além de reduzir impactos ambientais ocasionados tanto pela extração da areia natural, quanto pela produção do pó de pedra.

3.4 Propriedades do concreto

Para se entender as propriedades do concreto é necessário estudar o mesmo em suas duas formas, em seu estado fresco (considerado até o início da pega do aglomerante) e em seu estado endurecido (após o fim da pega do aglomerante).

O estado fresco do concreto possui características quanto sua trabalhabilidade, consistência e exsudação. De acordo com Effting (2014a), a trabalhabilidade do concreto são todas as características e condições que o concreto possui para ser adequadamente misturado, transportado, lançado e adensado de uma maneira fácil e sem perda de homogeneidade, para se obter um concreto com um mínimo de vazios.

A consistência é o grau de fluidez da mistura do concreto fresco, estando, portanto, diretamente relacionado com a mobilidade da pasta (mistura de cimento e água). Pode-se considerar como o principal fator influente na consistência, o teor de água/materiais secos. Quanto mais plástica for a consistência do concreto, maior é a facilidade de moldagem e deslize do concreto entre a armadura, sem que ocorra a separação dos seus componentes. (RODRIGUES, 2011c)

Exsudação é a tendência da água de amassamento de vir à superfície do concreto recém lançado. Em consequência, a parte superior do concreto torna-se excessivamente úmida, produzindo um concreto poroso e menos resistente. A água, ao subir à superfície, pode carregar partículas finas de cimento, formando uma pasta, que impede a ligação de novas camadas de material e deve ser removida cuidadosamente. A exsudação pode ser controlada pela proporção adequada de um concreto trabalhável, evitando-se o emprego de água além do necessário. Às vezes corrige-se a exsudação adicionando-se grãos relativamente finos, que compensam as deficiências dos agregados. (ALMEIDA, 2002d).

Ao iniciar o estágio de pega do concreto, quando sua trabalhabilidade passa a ser cada vez mais difícil. O concreto passa para o estágio de endurecimento, e as propriedades estudadas são: propriedades mecânicas, permeabilidade e durabilidade.

A resistência do concreto é a propriedade mais valorizada pelos engenheiros projetistas e de controle de qualidade. A resistência de um material é definida como a capacidade para resistir à tensão sem se romper. Nos sólidos existe uma relação inversa fundamental entre porosidade (fração de volume de vazios) e resistência. Consequentemente, em materiais que possuem várias fases como o concreto, a porosidade de cada componente da microestrutura pode se tornar um fator limitante para a resistência. Agregados naturais são geralmente densos e resistentes; assim, a porosidade da matriz pasta de cimento e da zona de transição na interface entre a matriz e o agregado gráúdo normalmente determinam a resistência característica do concreto de densidade normal (MEHTA & MONTEIRO, 2008a).

A permeabilidade é a facilidade com que um fluido pode escoar através de um corpo sólido. Tanto a pasta de cimento como os agregados têm alguma porosidade e, o próprio concreto contém vazios de correntes da dificuldade de adensamento. A redução da permeabilidade do concreto é uma medida importantíssima do ponto de vista do aumento da durabilidade do concreto. (EFFTING, 2014b)

Segundo Neville (1997a), é essencial que as estruturas de concreto desempenhem as funções que lhe foram atribuídas, que mantenham a resistência e a utilidade que foram projetadas, durante um período de vida previsto ou, pelo menos, razoável. O concreto deve poder suportar o processo de deterioração ao qual venha a ser submetido. Nessas condições, o concreto é considerável durável.

2.4.1 Agregados e suas influências nas propriedades do concreto

De acordo com Petrucci (1998), antes da metade do século XX, acreditava-se que o agregado tinha um papel apenas de enchimento do concreto com intuito de baratear o custo final da produção do mesmo. O que passou a mudar após a outra metade do século quando começou a haver um estudo mais aprimorado sobre a influência dos agregados nas propriedades do concreto. (NEVILLE, 1997b).

As características e propriedades dos agregados tais como: massa específica, composição granulométrica e teor de umidade, precisam ser conhecidas pois influenciam nas propriedades do concreto no estado fresco, e para definição das dosagens do concreto (MEHTA & MONTEIRO, 2008b).

A distribuição granulométrica tem influência direta na trabalhabilidade do concreto fresco, pois uma elevada fração de material fino requer aumento de água de amassamento e, conseqüentemente de cimento, o que torna o concreto mais oneroso. Além disso, a forma das partículas dos agregados quando aprimoradas tanto miúdo quanto graúdos, pode proporcionar a redução de vazios na mistura de agregados e, também diminuição do percentual de argamassas para preenchimento dos vazios contribuindo para redução dos custos dos concretos. (DUARTE, 2013c)

Em suma as características dos agregados interferem em toda composição física e química do concreto, tendo em vista que a partir da junção dos mesmos podemos definir a resistência, porosidade, compacidade, durabilidade entre outras características que dão formação a esse material construtivo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada nesse trabalho é uma metodologia experimental e comparativa, com o objetivo de avaliar as possibilidades de substituição do agregado miúdo natural (areia), pelo o resíduo de britagem (pó de pedra) na produção de concreto.

Nesse capítulo serão apresentados todos os materiais utilizados para a produção do concreto, tantos seus procedimentos de produção como os ensaios necessários para avaliar as propriedades desse novo concreto produzido.

Os ensaios de massa específica do agregado miúdo e densidade aparente dos agregados miúdos e grãos, foram realizados no laboratório de mecânica dos solos no Instituto Federal do Rio Grande do Norte localizados na cidade de Mossoró-RN, enquanto os demais foram efetuados no laboratório de Materiais e Processos Construtivos da Universidade Federal Rural do Semiárido na cidade de Caraúbas-RN.

4.1 Materiais

4.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado na produção do concreto foi o cimento Portland composto (CP II- Z 32), da marca APODI, muito utilizado em construções na região de Caraúbas – RN.

4.1.2 Areia

Areia natural quartzosa utilizada é proveniente do leito de um rio municipal, localizado na cidade de Caraubas-RN, e foi depositada no laboratório de materiais na UFERSA, Caraúbas, RN. A figura 2 exemplifica a amostra da areia utilizada na pesquisa.

Figura 2: Areia natural utilizada na confecção dos corpos de prova



Fonte: (autor,2016)

4.1.3 Pó de pedra

O pó de pedra também utilizado como agregado miúdo foi proveniente da pedreira Potiguar localizada na cidade de Caraúbas – RN, e foi estocado no laboratório de materiais da UFERSA- Caraúbas, RN. A figura 3, exemplifica a amostra do pó de pedra utilizado na pesquisa.

Figura 3: Pó de pedra utilizado na confecção dos corpos de prova



Fonte: (autor,2016)

4.1.4 Agregado graúdo

A brita utilizada na produção do concreto, foi uma brita granítica com malha de 12 mm, denominada de brita 0 de acordo com a classificação NBR 7211/2009. O agregado foi obtido de um único lote proveniente da pedreira potiguar localizada na cidade de Caraúbas – RN e assim como os demais foi estocado no laboratório de materiais da UFERSA- Caraúbas, RN. A figura 4, exemplifica a amostra do pó de pedra utilizado na pesquisa.

Figura 4: Brita utilizada na confecção dos corpos de prova



Fonte: (autor,2016)

4.1.5 Água

A água utilizada na produção das amostras foi proveniente da empresa concessionária de água da região (CAERN).

4.2 Métodos

Os ensaios se dividiram em três etapas distintas com o intuito de fazer uma análise detalhada do concreto produzido junto com seus agregados que o definem. Dessa forma, em primeira instância houve-se ensaios referentes a caracterização dos agregados com ensaios quanto a análises granulométricas, massa específica, densidade aparente e umidade. Com o concreto produzido sucedeu-se sua análise em estado fresco com o uso do slump test. Por fim, com o concreto em estado rijo realizou-se um ensaio de compressão.

4.2.1 Ensaio de composição granulométrica

O ensaio de granulometria foi realizado para os agregados miúdos (areia e pó de pedra), seguindo as normas na NBR NM 7181/1984. Antes do início do ensaio as amostras foram preparadas seguindo a norma 6457/2016, utilizando como base a série de peneiras da ISO 3310-1.

Inicialmente, são formadas amostras para cada agregado do ensaio, ambas se apresentando secas, cada uma com 1 quilograma previamente passados na peneira de malha 04 (4,75 mm), com o intuito de retirar materiais mais grossos presentes nos mesmos. Em seguida as amostras são peneiradas novamente passando pela peneira de malha 08 (2,36 mm), anotando as parcelas retidas nas mesmas.

Da parcela passante retira-se 120 gramas de cada uma das amostras, que são levadas para um sistema de peneiras representados pela figura 5, previamente encaixadas e limpas, formando um conjunto, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo, encaixando o fundo na base. Coloca-se a amostra na peneira superior, previamente destacadas das demais e com uma agitação manual, peneira-se até que o material passante tornasse inferior a 1% do material retido na peneira.

Após o processo de agitação, são retiradas o material que ficam nas bandejas identificadas. Em seguida as mesmas são escovadas dos dois lados, colocando o resíduo interno na bandeja e o externo no fundo. Todo material do fundo é acrescentado à peneira seguinte.

Por conseguinte, são calculadas as porcentagens retidas em cada peneira para ambas amostras, para que assim possa-se ser utilizada nos cálculos futuros para determinação da finura e do tamanho máximo dos agregados.

Figura 5: Conjunto de peneiras para ensaio granulométrico



Fonte: (autor,2016)

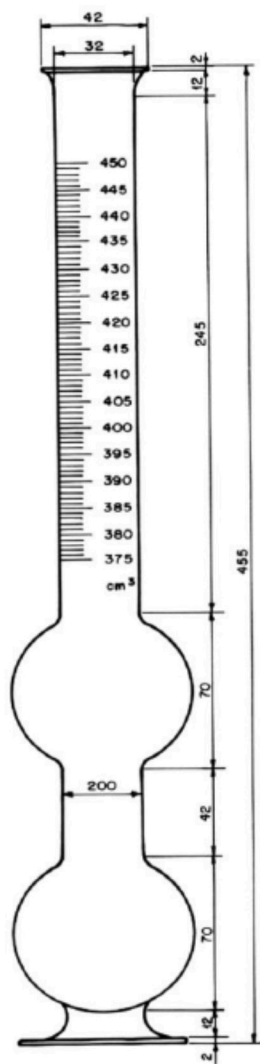
4.2.2 Ensaio de massa específica do agregado miúdo

Esse ensaio tem como objetivo a determinação da massa específica dos agregados miúdos para produção do concreto por meio da utilização do frasco Chapman (figura 6), utilizando da norma NBR NM 9776/1987.

Inicialmente separou-se duas amostras de 500 gramas de agregados miúdos, correspondentes ao pó de pedra e areia utilizados na produção do concreto. Com o frasco Chapman previamente preenchido com 200 cm^3 de água, que foram inseridas pequenas quantidades da amostra dentro do mesmo, promovendo sempre uma agitação do frasco evitando assim a formação de bolhas, até que toda amostra seja disposta dentro do frasco. Após esse processo, o frasco com a amostra foi deixado em repouso esperando o processo da sedimentação. Obtendo assim no final do processo a leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco, L, que indica o volume, em cm^3 , ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo. A massa específica (γ) dessa forma, pode ser calculada pela expressão:

$$\gamma = \frac{500}{L - 200}$$

Figura 6: Frasco de Chapman



Fonte: (NBR 9776/1987)

4.2.3 Determinação da massa específica do agregado gráúdo

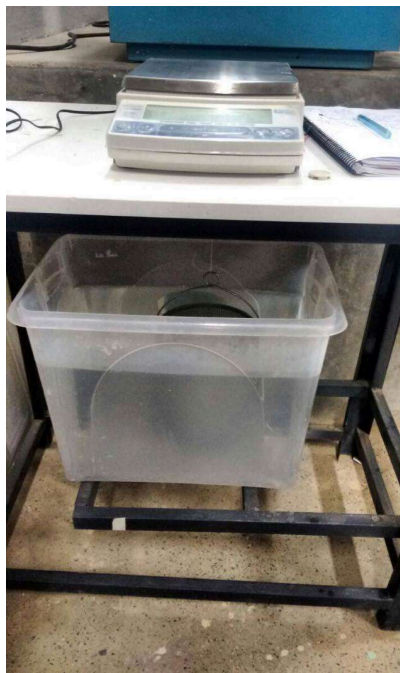
Este ensaio é baseado na norma NM 53/2009, e tem o objetivo a determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água dos agregados gráudos, na condição saturados superfície seca, destinados ao uso em concreto.

Para este ensaio foi realizado apenas a determinação da massa específica do agregado. Inicialmente pesou-se 2011,76 gramas da amostra seguindo o respectivo peso mínimo, disposto na norma, após isso ela foi emergida com ajuda de um cesto de arame em água pesando novamente obtendo seu valor submerso (figura 7), considerando como o valor da amostra saturada sendo igual aproximadamente à da amostra seca. Com esses valores em mão pode-se calcular o valor da massa específica:

d = massa específica; m = massa amostra seca; m_s = massa saturada; m_a = massa em água

$$d = \frac{m}{m_s - m_a}$$

Figura 7- Determinação da massa saturada do agregado gráúdo



Fonte:(autor, 2016)

4.2.4 Densidade aparente do agregado miúdo e graúdo

Esse ensaio é baseado na norma NM 7251/1982, e tem o objetivo de determinar da densidade a granel e o volume de vazios de agregados miúdos, graúdos.

Inicialmente foi determinado e registrado a massa de um recipiente vazio no qual foi utilizado para as medições com um volume aproximadamente de $3358,6 \text{ cm}^3$. Em seguida, encheu-se o recipiente com a amostra (despejando de uma altura de aproximadamente 10 cm) fazendo com que o material adquirisse uma compacidade de estado solto. Após o material ter transbordado na superfície, o mesmo foi retificado com o auxílio de régua metálica. Pesando-o novamente agora inteiramente cheio. Dessa forma, com o valor da diferença de massas (kg), dividido pelo volume do recipiente (m^3), pode-se obter a massa específica aparente do agregado.

4.2.5 Determinação da umidade dos agregados miúdos

Para o ensaio de determinação da umidade da areia e do pó de pedra foi feito a utilização da norma DNER – ME 52 - 64/94: determinação da umidade pelo método Speedy.

Inicialmente foi pesado duas amostras de 12 gramas referentes à areia e o pó de pedra. O ensaio consiste na colocação da amostra dentro do corpo do equipamento speedy, seguido por duas bolas de ferro e uma ampola de carbureto de cálcio. Feito isso, o equipamento foi lacrado e agitado sem interrupções, até que o ponteiro do manômetro se tornasse estável. Tendo feito isso, basta fazer uma comparação entre o valor mostrado no relógio do speedy e a massa da amostra analisada. Sendo essa comparação que irá demonstrar o percentual de água contida na amostra.

4.2.6 Dosagem do Concreto

De acordo com (MEHTA & MONTEIRO, 1994b), o objetivo amplo da dosagem do concreto pode ser expresso pela a escolha dos materiais adequados entre aqueles disponíveis e a determinação da combinação mais econômica destes que produza um concreto que atenda características de desempenho mínimo estabelecidas.

A determinação da dosagem deste trabalho foi baseada no Manual de traços de Concreto, feitos pelo engenheiro Gildásio Rodrigues da Silva 1974-1975, onde o autor aborda sobre

diversos tipos de traços para algumas situações encontradas em campo. Para esse trabalho, utiliza-se um traço como sendo de uso geral com uma variação de resistência em 28 dias de 15 MPa, sem adição de aditivo para uma brita tipo 1. Neste ensaio, no entanto, ocorreu a substituição da brita 1 pela brita 0 visando uma melhor qualidade do concreto produzido, tendo em vista que em ensaios preliminares a brita 1 não fornecia uma boa trabalhabilidade para a massa do mesmo. A obtenção da medida do traço foi através da composição unitária, em peso por metro cúbico dos componentes tabelados na figura 7. Dessa forma, bastou fazer a multiplicação pelo o volume utilizado em cada corpo de prova, ($0,00157\text{ cm}^3$), e obteve-se o valor em kg para cada elemento.

Tabela 2 Traço utilizado para produção do concreto

Traço: (200 kg/cm^2) aos 28 dias de idade

Composição Unitária, EM PESO (por metro cúbico)	
Brita 1	1038 kilos
Areia (seca)	791 kilos
Cimento	302 kilos
Água	211 kilos ou litros
Fator a/c	0,70

Fonte: (SILVA,1975)

Com esses dados em mão, os demais traços de concreto que apresentavam substituição de areia, foram realizados com base na porcentagem de substituição dos mesmos.

4.2.6.1 Mistura do traço

Esse ensaio tem o objetivo prescrever o procedimento para moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos e prismáticos de concreto seguindo a norma NBR 5738/2015.

Para a pesagem dos materiais que foram utilizados para formação dos corpos de prova foi-se utilizado uma balança de mão com capacidade de carga de 40 quilogramas e resolução de 1 grama.

O primeiro traço feito, foi o com 100% de areia natural, com o intuito de ter um corpo de prova referência para se comparar com os demais corpos de prova com porcentagens de pó de pedra, sendo para cada traço foram feitos três corpos de prova, com o intuito de obter uma maior precisão nos resultados. Os cilindros que deram moldagem ao corpo de prova tinham as dimensões dados por 100 x 200mm, sendo seus moldes feitos de PVC e fornecidos pela Supermix concreto.

O concreto foi feito com a ajuda de uma betoneira com capacidade de 150 litros. O processo de introdução dos materiais se deu na seguinte ordem:

- Com a betoneira parada, adicionou-se 100% do agregado graúdo e mais 50% da água.
- Após cerca de 1 minuto da betoneira ligada, foram adicionados os demais materiais e o restante da água, deixando a mesma rodar por mais 5 minutos.

A descarga do material foi efetuada em uma bandeja metálica, disposta logo abaixo da betoneira para assim iniciar-se o processo de moldagem.

4.2.7 Ensaio de abatimento do tronco do cone

Esse ensaio é baseado na norma NM 67/1998 e tem o objetivo determinar a consistência do concreto fresco através da medida de seu assentamento, em laboratório e obra.

Inicialmente, umedeceu-se o molde e a placa de base aonde seriam posteriormente utilizados para colocar o corpo de prova. Durante o preenchimento do molde com o concreto de ensaio, o operador manteve-se posicionado com os pés sobre suas aletas de forma a mantê-lo

estável. Preencheu-se rapidamente o molde com o concreto coletado, em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde compactado.

Em seguida, iniciou-se o processo de compactação, na qual cada camada recebeu 25 golpes com uma haste de socamento.

Após a compactação, limpou-se a placa de base e retirou-se o molde do concreto, levantando-o cuidadosamente na direção vertical. A operação de retirar o molde foi realizada em 5 s a 10 s, com um movimento constante para cima, sem submeter o concreto a movimentos de torção lateral. E todo o processo completo em um período de 150 s.

Por fim com a retirada do molde pode se medir o abatimento do concreto, determinando pela diferença entre a altura do molde colocado ao seu lado e a altura do corpo de prova após sua retirada, como visto na figura 8.

Figura 8- Determinação do abatimento do concreto com 60 % de pó de pedra



Fonte: (autor, 2016)

4.2.8 Ensaio de resistência à compressão

Esse ensaio é baseado na norma NBR 5739/2007, e tem o objetivo prescrever como foram ensaiados os corpos de provas em cilindros de concreto.

Com o concreto preparado, iniciou-se seu processo de moldagem para produção dos corpos de prova. Esse procedimento ocorreu inicialmente com a preparação dos moldes que foram revestidos internamente com uma camada de desmoldante (composto por óleo vegetal e silicone), colocando-os sobre uma superfície plana, rígida protegida de qualquer vibração. Para

garantir a uniformidade e trabalhabilidade do mesmo, a massa foi mantida em constante agitação enquanto as preparações para os moldes ocorriam. A distribuição do concreto dentro dos moldes ocorreu em duas camadas, correspondendo a tabela pré-disposta pela norma. Durante a introdução do concreto, a concha deslocou-se ao redor da borda do molde, de forma de assegurar uma distribuição simétrica e imediatamente com a haste em movimento circular, foi nivelado o concreto antes de iniciar seu adensamento.

Para o adensamento foi utilizado o método manual no qual, se introduziu o concreto no molde em camadas de volume aproximadamente igual, adensando cada camada com o auxílio de uma haste metálica sendo aplicado 12 golpes para as duas camadas inseridas. A última camada foi moldada com quantidade em excesso de concreto, de forma que, ao ser adensada, completa-se todo o volume do molde e fosse possível proceder ao seu rasamento, eliminando o material em excesso.

Após 24 horas do processo, os corpos de prova enrijecidos foram desmoldados e devido a quantidade de corpos de prova referentes a 100% de areia, 20% de pó de pedra, 40% de pó de pedra e 60% de pó de pedra, foram adotadas nomenclaturas, com intuito de facilitar o estudo sobre os mesmos, sendo eles C, C1, C2 e C3 respectivamente. Com suas terminologias prontas, os corpos foram levados para cura, sendo submersos em água com o auxílio de uma caixa d'água de 1000 litros, sendo retirados apenas com 7 dias de idade para realização do ensaio de resistência dos mesmos.

Com 7 dias de cura, os corpos de prova foram levados para o laboratório do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), localizado na cidade de Mossoró, RN para sua retificação e rompimento. Com o auxílio de uma retificadora os corpos foram retificados e em seguida colocados em uma prensa servo-hidráulica e informatizada para ensaio de concreto para a realização do ensaio.

Em seguida foi aplicado sobre o corpo o carregamento de forças evitando choques e com uma velocidade de carregamento constante de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s.

O ensaio só foi concluído quando houve uma queda na força da máquina, indicando uma ruptura no corpo de prova. Dessa forma pode-se obter a força de resistência a compressão do concreto através da equação abaixo:

f_c = resistência a compressão; F = força máxima alcançada; D = Diâmetro do cilindro

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2}$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo serão apresentados os resultados obtidos em laboratório referente aos ensaios prévios estudados, observando as relações entre a areia e à adição do pó de pedra no concreto.

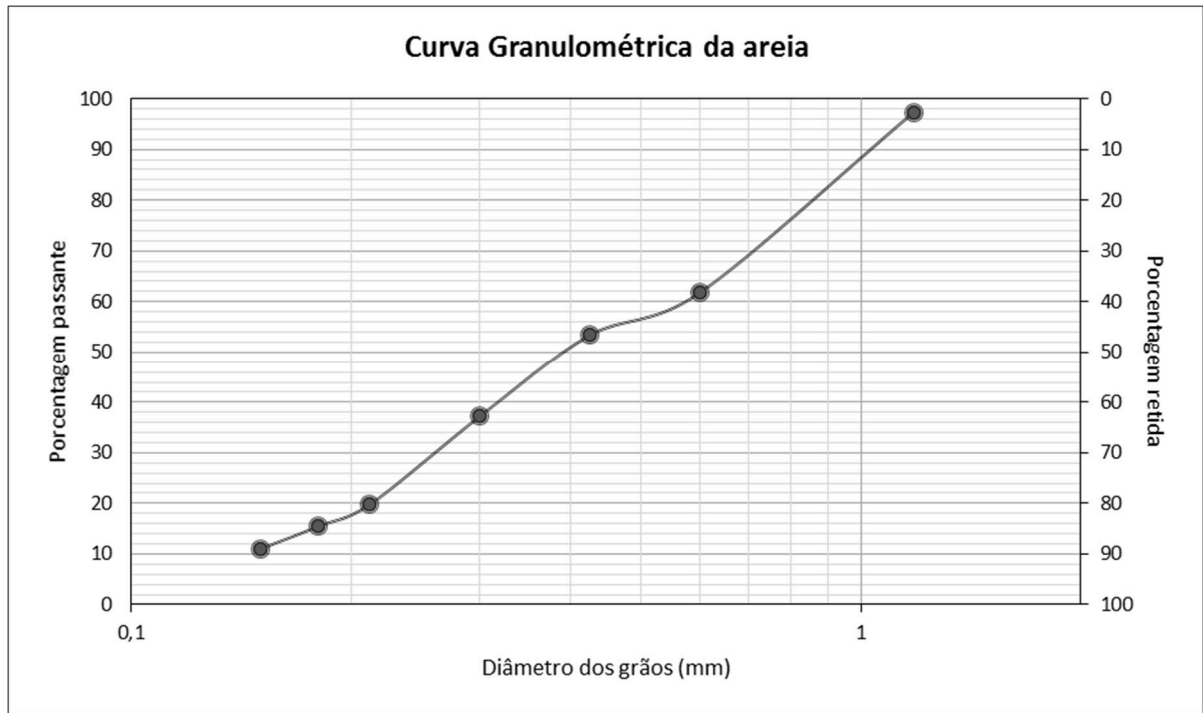
5.1 Ensaio de composição granulométrica

A tabela 3 mostra os resultados do ensaio granulométrico, referente à areia utilizada na produção dos corpos de prova e a figura 9 sua representação.

Tabela 3: Composição granulométrica da areia.

Abertura das peneiras Abnt (mm)	Pesos (g)	Porcentagens retidas	
		Ensaio	
		% Simples	%Acumulado
4,75	0	0,00	0,00
2,36	1,3970	1,16	1,16
1,18	3,2247	2,69	3,85
0,6	42,717	35,6	39,45
0,425	9,9608	8,30	47,75
0,3	19,4736	16,22	63,97
0,212	20,9031	17,41	81,38
0,180	5,1939	4,32	85,70
0,15	5,3373	4,44	90,14
PRATO	12,8080	10,67	100
TOTAIS	121,0154		

Figura 9: gráfico da granulometria da areia



Com base em uma análise pela NBR 7211/2009, a areia natural pode ser classificada como uma areia média (zona 3 de classificação). Seu módulo de finura foi de 2,98 e dimensão máxima de 2,36 mm. Apresentando dessa forma uma quantidade de grossos em sua composição relativamente alta. Haja visto que quanto maior for seu módulo de finura mais grossos o mesmo apresenta e conseqüentemente uma menor quantidade de água será necessária para que o concreto seja produzido.

A tabela 4 mostra os resultados da composição granulométrica do pó de pedra que assim como a área foi utilizado na confecção dos corpos de prova, e a figura 10 mostra sua representação:

Tabela 4: Composição granulométrica do pó de pedra.

Abertura das peneiras Abnt (mm)	Pesos (g)	Porcentagens retidas	
		Ensaio	
		% Simples	%Acumulado
4,75	0	0,00	0,00
2,36	0,2091	0,17	0,17
1,18	2,0385	1,70	1,87
0,6	31,7992	26,50	28,37
0,425	9,6823	8,07	36,44
0,3	11,0228	9,19	45,63
0,212	13,9631	11,22	56,85
0,180	5,7564	4,80	61,64
0,15	6,7185	5,60	67,24
PRATO	39,2326	32,69	100
TOTAIS	119,9225		

Figura 10: gráfico da granulometria do pó de pedra



Após o peneiramento do pó de pedra constatou-se que o mesmo assim como a areia natural apresentava uma granulometria de areia média (zona 3 de classificação) com seu módulo de finura de 2,43, e a dimensão máxima característica do agregado é de 2,36 mm.

Com base nesses resultados observou-se que o pó de pedra apresentou um módulo de finura menor do que a areia neste trabalho, logo, a quantidade de finos em comparação com a mesma é mais elevado, no qual implica no aumentando de água para produção de concreto conforme suas porcentagens forem aumentando.

5.2 Ensaio de massa específica do agregado miúdo

Este ensaio de massa específica do agregado miúdo foi realizado de acordo com a NBR 9776/1987, pelo frasco de Chapman. E obteve-se os seguintes resultados para a areia foi de $2,55 \text{ g/cm}^3$, e para o pó de pedra foi de $2,64 \text{ g/cm}^3$, embora a variação entre ambos tenha sido muito pequena, pode-se concluir desse ensaio, que o volume total que os grãos da amostra de pó de pedra ocupam são relativamente maiores do que o da areia. Dando um peso maior a esses agregados por cm^3 .

5.3 Ensaio da massa específica do agregado graúdo

Após a obtenção da massa do agregado graúdo seco ($m = 2011,76 \text{ g}$), optamos por considerar sua massa saturada como sendo a mesma ($m_s = 2011,76 \text{ g}$), haja visto que com base em ensaios anteriores a variação entre os dois são muito pequenas, não havendo a necessidade de uma espera de 24 horas adotada pela norma NM 53/2009, a massa em água foi obtida colocando o agregado submerso em água ($m_a = 1249,90 \text{ g}$). Obtendo assim a massa específica do agregado graúdo sendo igual à $d = 2,64 \text{ g/cm}^3$. Assim como o pó de pedra o resultado obtido demonstrou que o agregado graúdo utilizado na confecção dos corpos de prova apresentou um volume total de ocupação dos grãos relativamente maiores do que o da areia.

5.4 Ensaio da densidade aparente do agregado miúdo e graúdo

Como mencionado na metodologia, este ensaio baseou-se na norma NM 7251/1982. Inicialmente pesou-se o recipiente e mediu-se seu volume no qual comportaria os materiais para estudo, obtendo um peso de $7,940 \text{ kg}$ e uma capacidade volumétrica de $3358,6 \text{ cm}^3$ ou $3,3586 \text{ dm}^3$. A tabela 5 abaixo, mostra o valor das massas aparentes ou unitárias obtidas no ensaio.

Tabela 5: massa unitária dos agregados.

AREIA	PÓ DE PEDRA	BRITA
MU= 1,42 kg/dm^3	MU= 1,30 kg/dm^3	MU= 1,33 kg/dm^3

Sabendo-se que a massa unitária está relacionada à massa ocupada por uma unidade de volume, sendo assim ligada diretamente ao seu número de vazios quanto maior sua massa, menos vazios em sua composição a mesma apresenta. Dessa forma pode-se observar que a areia apresentou um menor volume de vazios dos agregados.

5.5 Ensaio de umidade dos agregados miúdos

O ensaio de determinação da umidade da areia natural e do pó de pedra foram baseados no método speedy, a quantidade de massa do experimento foi retirada com base na quantidade de umidade era esperado dos respectivos agregados, chegando-se a conclusão da utilização de 12 gramas para cada um dos mesmos. Após os materiais terem sido pesados foram colocados na máquina speedy e foram seguidos dos procedimentos referente a esse método. Chegando final a conclusão que ambos agregados não possuíam nenhuma umidade, haja visto que, não houve variação no relógio do equipamento.

5.6 Dosagem do concreto

A porcentagens de substituição da areia adotada nesse presente trabalho foram de 20%,40% e 60%, referentes as seguintes nomenclaturas C1, C2 e C3 respectivamente. A tabela 6, apresenta os valores da composição em massa para cada porcentagem de pó de pedra, incluindo o concreto referência com 100% de areia natural C.

Tabela 6: Quantidade dos materiais para dosagem do concreto

Cimento	Areia	Pó de pedra	Brita	Água
Quantidade de materiais em kg/m^3				
302	791	-	1038	211
100% Areia natural em kg				
1,896	4,967	-	6,518	1,32
20% Pó de pedra em kg				
1,896	3,973	0,993	6,518	1,32
40% Pó de pedra em kg				
1,896	2,980	1,986	6,518	1,32
60% Pó de pedra em kg				
1,896	1,986	2,980	6,518	1,32

5.7 Ensaio de abatimento do tronco do cone

Os resultados do ensaio de abatimento do tronco do cone estão representados na tabela 7.

Tabela 7: Resultados do Slump test

Composição	Slump (cm)
C- Areia 100%	0
C1- Pó de pedra 20%	1
C2- Pó de pedra 40%	0
C3- Pó de pedra 60%	0

Com base nesses resultados pode-se observar que a quantidade de água utilizada para o traço estava muito baixa fazendo com que o concreto apresentasse uma consistência mais elevada e nenhuma fluidez.

5.8 Ensaio de resistência à compressão

Os corpos de prova após confeccionados foram armazenados submersos em água até chegar o dia para os ensaios de resistência. O rompimento dos mesmos ocorreu com 7 dias de idade, sendo que para cada porcentagem foram feitos 3 corpos de prova com o intuito de obter uma melhor precisão nos resultados obtidos, a tabela 8 apresenta os resultados médios obtidos nestes ensaios.

Tabela 8: Resistência à compressão aos 7 dias

Corpo de Prova	Força Máxima (kN)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo Elástico (MPa)	Deformação Máxima (mm)
C	100,78	12,83	3938	1,25
C1	82,41	10,49	3011	1,175
C2	101,6	12,94	3744	1,179
C3	105,7	15,20	3660	1,369

Com os valores obtidos pode-se observar que o concreto C3 que corresponde à 60% de pó de pedra apresentou uma melhor resistência a compressão do que o concreto C que corresponde à 100% de areia natural.

6 CONCLUSÃO

Neste capítulo, estão apresentadas as conclusões do presente trabalho com relação à avaliação dos resultados obtidos da substituição da areia natural por porcentagens crescentes de pó de pedra na produção de concreto.

Como pode se observar nos ensaios realizados, o agregado artificial estudado apresentou características relativamente similares à areia natural. Em sua análise granulométrica, no entanto, notou-se que o pó de pedra apresentou um ligeiro aumento em sua quantidade de finos, implicando diretamente no aumento na absorção de água, já que ocorre um aumento em sua superfície específica. Além disso, com base no ensaio de umidade notou-se que tanto a areia natural e o pó de pedra não apresentavam nenhuma umidade, fazendo com que, no processo de fabricação do cimento à absorção de água fosse ainda maior. Implicando diretamente na trabalhabilidade do mesmo em estado fresco haja visto que quanto maior as proporções do pó de pedra, mais consistente o mesmo apresentava.

O abatimento do concreto, mostrou que a água presente no material não se apresentou suficiente para que ocorresse o slump. Aumentando sua consistência e aparentando nenhuma fluidez.

A resistência à compressão do concreto após 7 dias em estado sólido demonstrou um desempenho promissor com relação ao corpo de prova com 60% de pó de pedra. Já que o mesmo apresentou uma maior resistência em comparação ao corpo de prova referência que possuía 100% de areia natural.

Pode-se concluir assim, que o pó de pedra representa uma alternativa viável para substituição da areia, demonstrando até mesmo, uma melhora significativa na propriedade de resistência à compressão do concreto. Gerando dessa forma, além de um aumento na qualidade do material, uma possibilidade de redução de até 60% da utilização da areia natural na produção do concreto.

Dessa forma além de uma redução nos impactos ocasionados pela extração da areia natural para a produção do concreto, também pode-se proporcionar uma destinação adequada para o resíduo da britagem (pó de pedra) gerando assim uma boa relação entre qualidade e desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, “**NBR 5732/91: cimento Portland comum**” Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, “**NBR 7211/2009: Agregados para concreto**” Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, “**CB-18: Comitê brasileiro de cimento , concreto e agregado**” Rio de Janeiro: ABNT, 2010

ALMEIDA, Luiz Carlos de. **Concreto: AU414 - Estruturas IV– Concreto armado**. 2002. 24 f.- Curso de Engenharia Civil, Estruturas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

ANDRIOLO, F.R. **Usos e abusos do pó de pedra em diversos tipos de concreto**. In. Seminário: O uso da fração fina da britagem II SUFFIB. São Paulo, 2005. Anais, São Paulo, EPUSP, 2005.

AQUINO, Cinthia Barros de; ARAÚJO, Vanessa Pereira de. **INFLUÊNCIAS DA ADIÇÃO DE UM AGREGADO ARTIFICIAL NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO**. 2012. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Pró-reitoria de Graduação, Universidade Potiguar, Natal, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo, ABCP, Boletim Técnico BT-106, 2002, 27p.

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.

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 NM 7181: Solo –Análise Granulométrica, Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 5738: PROCEDIMENTOS PARA MOLDAGEM E CURA DE CORPOS DE PROVA. Rio de Janeiro, 2015.

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. 6457: Amostras de solo- preparação para ensaios de compactação e caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para Concreto. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7251: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária, Rio de Janeiro, 1982.

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

BABU, K. G, PRAKASH, P.V. Cement and Concrete Research. 25, 6. 1995

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO ARMADO: SISTEMAS ESTRUTURAIS**. 2006. 28 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2006.

BAUER, Faucão L.A. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**. 5ed. Rio de Janeiro: LTC, 1995.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e da durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. São Carlos: USP. 2007. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos.

CAMPOS, Wendersen Cássio de; JACINTHO, Ana Elisabete P. G. A.. **Concreto com adição de fibras de borracha: um estudo frente às resistências mecânicas**. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA PUC-CAMPINAS, 15., 2010, Campinas. Anais.

CARVALHO, João Dirceu Nogueira de. **Sobre as origens e desenvolvimento do concreto**. 2008. 17 v.- Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

CIA. DE CIMENTO ITAMBÉ, “**Cimento: fabricação e características**”. Material interno. Curitiba: Itambé, 2010

CICHINELLI, Gisele; **CIMENTO NÃO É TUDO IGUAL, NÃO!**. Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/16/artigo76288-1.aspx>> Acesso em 26 de Agosto de 2015.

COSTA, M.J. **Avaliação do uso da areia artificial em concreto de cimento Portland: Aplicabilidade de um método de dosagem**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil – UNIJUÍ. 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA E RODAGEM. 64: Determinação da umidade pelo método do "Speedy". Rio de Janeiro: Moderna, 1994.

DUARTE, João Batista. **ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS MIÚDOS NATURAIS POR PÓ DE PEDRA EM CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**. 2013. 86

f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

EFFTING, Carmeane. **PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO E ENDURECIDO:** Joinvile: Slides, 2014. 59 slides, color.

JOSÉ, Antonio Ribeiro de. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos.** 246 f. Dissertação Mestrado- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

LASERNA, Humberto Almeida de; REZENDE, Márcio Marques. **Agregados para a Construção Civil.** In: DNPM, p. 602 – 635. 2009.

MARTINS, I. R. F. **Concreto de alto desempenho com adição de resíduos de borracha de pneu.** 2005. 144 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

MARQUES, Maria Lidiane; CAMPOS, Kmilly dos Anjos. **Estudo da adição do pó de pedra em argamassas de revestimento e assentamento.** Eunápolis, 2012.

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

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **CONCRETO: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** Revisores e Coordenadores: Nicole Pagan Hasparyk, Paulo Helene & Vladimir Antonio Paulon. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** São Paulo: Pini, 1997, 828 p.

OLIVEIRA, Maria Cleide Ribeiro de; SILVA, Allyson Leandro Bezerra da; PEREIRA, Francisco Flaviano A; COSTA, Gabriel Louiz Silva da; MARQUEZ Samuel Apolinário. **Argamassa produzida com resíduo de vidro substituindo o agregado miúdo.** In: CONNEPI, 7., 2012, Palmas. Anais.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**, 13 ed. Revisada por Vladimir Antônio Paulon. São Paulo: Globo, 1998.

PNEWS, Revista (2002); n. 34; Associação Brasileira dos Recauchutadores, Reformadorese Remoldadores – ABR.

QUEIROZ, Rodolfo Mori. **TUBOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU.** 2012. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Estruturas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2012.

RODRIGUES, Edmilson Correia. **Concreto fresco e as suas propriedades**. 2011. 7 f.- Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Grande do Norte, 2011.

SANTOS, R. A.; LIRA, B. B.; RIBEIRO, A. C. M. et al. **ARGAMASSA COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO NATURAL POR RESÍDUO DE BRITAGEM DE GRANITO**. Holos, Paraíba, v. 5, ano. 28, p.125-135, out. 2012.

SILVA, Ângelo Just da Costa e; BARBOSA, Rodrigues; MOTA, João Manoel F; CARVALHO, João Ribeiro de.. **Concreto produzido com parte de resíduo de vidro na ilha de Fernando de Noronha-PE**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 53., 2011, 2011. Anais. Florianópolis.

SILVA, Cesar Augusto Rodrigues da. **ESTUDO DO AGREGADO RECICLADO DE CONSTRUÇÃO CIVIL EM MISTURAS BETUMINOSAS PARA VIAS URBANAS**. 2009. 220 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

SILVA, Fernanda Giannotti da; LIBORIO, Jefferson B. L.. **A IMPORTÂNCIA DA SELEÇÃO DE MATERIAIS PARA CONCRETOS DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS SUBMETIDOS À AÇÃO DE CLORETOS**. In: 1 ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 1., 2005, São Carlos.

SILVA, Gildasio R. da. Manual de traços de concreto. Rio de Janeiro: Sonlivro, 1975.

SHACKELFORD, James F. **Introdução à Ciência dos Materiais Para Engenheiros**. Trad. Daniel Vieira. 6.ed. São Paulo: Pearson, 2008.

VIANA, Francisco Lopes. **Agência nacional de águas: RESOLUÇÃO Nº 305**. 2004.