



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Redeenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Karla Barreto Machado

ADITIVO PLASTIFICANTE PARA CONCRETO: COMPARATIVO ENTRE
AGREGADO MIÚDO NATURAL E REJEITO DE BRITA-UM ESTUDO DE CASO EM
PALMAS/TO.

Palmas – TO

2017

Karla Barreto Machado

ADITIVO PLASTIFICANTE PARA CONCRETO: COMPARATIVO ENTRE
AGREGADO MIÚDO NATURAL E REJEITO DE BRITA-UM ESTUDO DE CASO EM
PALMAS/TO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.a Maria Carolina de Paula Estevam D'Oliveira

Palmas – TO

2017

Karla Barreto Machado

ADITIVO PLASTIFICANTE PARA CONCRETO: COMPARATIVO ENTRE
AGREGADO MIÚDO NATURAL E REJEITO DE BRITA-UM ESTUDO DE CASO EM
PALMAS/TO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II
elaborado e apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em Engenharia
Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas
(CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.a Maria Carolina de Paula
Estevam D'Oliveira

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Maria Carolina de Paula Estevam D'Oliveira
Orientadora
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Esp. Dênis Cardoso Parente
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Junior
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO
2017

RESUMO

MACHADO, Karla Barreto. **Aditivo plastificante para concreto: comparativo entre agregado miúdo natural e rejeito de brita - Um estudo de caso em Palmas/TO.** 2017. X f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2017.

Na construção civil, um dos principais recursos naturais necessários para obtenção da mistura de um concreto é a areia, porém, a sua extração é responsável por vários impactos ambientais. Assim a necessidade de buscar uma tecnologia mais sustentável trouxe a possibilidade de se utilizar areia de britagem/artificial no concreto convencional, que nada mais é do que um resíduo da britagem de rochas da produção de agregados graúdos. Desta maneira, o estudo apresentado se propôs a avaliar o uso da areia de granito britado na substituição total e parcial de areia natural de rio no concreto convencional, fazendo a adição de um aditivo superplastificante. O aditivo usado será o Viscocrete 3535CB, a função do aditivo no concreto é melhorar sua trabalhabilidade, que está entre as principais características que devem ser mantidas no concreto no estado fresco. Iremos utilizar dois tipos de traços, com e sem a substituição total da areia, avaliando as características mecânicas do concreto de acordo com um programa experimental. Foi realizado ensaios de caracterização com os materiais e ensaios para avaliar a resistência a compressão e tração. Como a areia artificial é obtida pelo processo de britagem dos agregados graúdos, poderá apresentar menor custo quanto a sua utilização em relação a areia natural, além de reduzir impactos ambientais.

Palavra-chave: areia artificial; sustentável; areia granítica; construção civil

ABSTRACT

MACHADO, Karla Barreto. **Plasticizer additive for concrete: comparative between natural kid aggregate and gravel waste - A case study in Palmas / TO.** 2017. X f. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2017.

In construction, one of the main natural resources required to obtain the concrete mixture is sand, but its extraction is responsible for several environmental impacts. Thus the need to seek a more sustainable technology has brought the possibility of using crushed / artificial sand in conventional concrete, which is nothing more than a residue from the rock crushing of the production of large aggregates. In this way, the present study proposed to evaluate the use of crushed granite sand in the total and partial substitution of natural river sand in the conventional concrete, adding a superplasticizer additive. The additive used will be Viscocrete 3535CB, the function of the additive in concrete is to improve its workability, which is among the main characteristics that must be maintained in the concrete in the fresh state. We will use two types of traces, with and without total sand replacement, evaluating the mechanical characteristics of the concrete according to an experimental program. Characterization tests were carried out with the materials and tests to evaluate the compressive and tensile strength. As the artificial sand is obtained by the process of crushing of the large aggregates, it could present less cost as far as its use in relation to natural sand, besides reducing environmental impacts.

Keywords: artificial sand; Sustainable development; Granite sand; construction

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Nuragues	12
Figura 2 - Tipos de cimento e suas adições	14
Figura 3 - Agregados Graúdos.....	17
Figura 4 - Número e Dimensão das Britas.....	17
Figura 5 - Agregados Miúdos	18
Figura 6 - Depósito de areia natural.....	20
Figura 7 - Depósito de rejeito de brita	21
Figura 8 - Ensaio de resistência a tração e compressão diametral	24
Figura 9 - Ensaio de resistência a compressão	25
Figura 10 - SLUMP Test.....	26
Figura 11 - Impacto na vegetação local da mineradora.....	28
Figura 12 - Arrastamento de sedimentos para corpos d'água	28
Figura 13 - Fluxograma dos procedimentos Metodologicos	33
Figura 14 - Composição dos traços.....	37
Figura 15 - Moldagem dos Corpos de Prova	38
Figura 16 - Resultados de caracterização	42
Figura 17 - Traço CCR	43
Figura 18 - Traço CCAA	43
Figura 19 - Traço CC50	44
Figura 20- Traço CC75	44
Figura 21 - Leitura de abatimento	45
Figura 22 – Resultado de abatimento	45
Figura 23 - Rompimento do corpo de prova	45
Figura 24 – Resultados de Compressão	46
Figura 25 - Resistência à Compressão	47
Figura 26 - Resultados de Tração por Compressão diametral	47
Figura 27- Ensaio de tração por compressão diametral	48
Figura 28- Comparação de custos	48
Figura 29- Custo dos Traços	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Acelerador
AA	Areia Artificial
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMN	Agregado Miúdo Natural
AMN	Associação Mercosul de Normatização
AN	Areia Natural
ARI	Alta Resistência Inicial
BC	Baixo Calor
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Cimento Portland
CPB	Cimento Portland Branco
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
IAR	Incorporador de Ar
L/D	Comprimento e Diâmetro
mm	Milímetros
MPa	Mega pascal
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
P	Plastificante
PA	Plastificante Acelerador
PR	Plastificante Retardador
R	Retardador
RGT	Rejeito de Granito Triturado
RMT	Rejeito de Mármore Triturado
RS	Resistência Sulfatos
SP	Super Plastificante
SPA	Super Plastificante Acelerador
SPR	Super Plastificante Retardador

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	10
1.2. HIPÓTESES.....	10
1.3. OBJETIVOS	10
1.3.1. Objetivo Geral	10
1.3.2. Objetivos Específicos	10
1.4. JUSTIFICATIVA	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. HISTÓRICO DO CONCRETO.....	12
2.2. MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO	13
2.2.1. Cimento	13
2.2.2. Aditivos	14
2.2.3. Água para amassamento	16
2.2.4. Agregados	16
2.2.4.1. Agregados graúdos	17
2.2.4.2. Agregados miúdos.....	17
2.2.4.2.1. Areia natural	18
2.2.4.2.2. Areia de granito britada	21
2.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS BÁSICOS PARA CONCRETO	22
2.4. ENSAIOS	23
2.4.1. Ensaio no Estado Endurecido (Resistência à Compressão e Resistência à Tração por Compressão Diametral)	23
2.4.2. Ensaio no Estado Fresco (SLUMP e Incorporador de Ar)	25
2.5. IMPACTOS AMBIENTAIS	27
2.6. DESEMPENHO DA SUBSTITUIÇÃO DE AREIA QUARTZOZA POR PEDRISCO.....	30
3. METODOLOGIA	31
3.1. DESENHO DO ESTUDO	31
3.2. LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA	31
3.3. OBJETO DE ESTUDO	31
3.4. CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO.....	31
3.5. VARIÁVEIS	32

3.6. INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS, ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO, PROCESSAMENTO, ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS DADOS	32
3.6.1. Procedimentos metodológicos	34
3.6.1.1. Etapa I – Materiais constituintes.....	34
3.6.1.2. Etapa II – Traço, Confeção do Concreto e Moldagem dos corpos de prova	36
3.6.1.3. Etapa III –Ensaio	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	42
4.1.1. Agregados Miúdos	42
4.1.2 Agregado graúdo	43
Conforme Apêndice E, o diâmetro máximo do agregado foi de 19mm, essa informação é válida para dosagem do traço.....	43
4.2 DOSAGEM	43
4.3 SLUMP TEST	44
4.4 INCORPORADOR DE AR E MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO	45
4.5. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	46
4.6. TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	47
4.7. ANÁLISE DE CUSTO.....	48
5 CONCLUSÃO	50
REFERENCIAL NORMATIVO	52
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	53
APENDICÊS	57

1. INTRODUÇÃO

O sucesso do concreto de cimento Portland é relatado por diversos pesquisadores como sendo o material de construção mais consumido do mundo (Mehta e Monteiro, 1994).

Valverde (2001) diz que os agregados básicos utilizados na produção do concreto (areia e pedra britada), são os insumos minerais mais consumidos no mundo.

Reis (2008) ressalta que o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) constatou que 70% da areia consumida no Brasil foram provenientes de leito dos rios; então se tem uma noção dos danos ambientais causados para a obtenção dessa areia. Entre esses e outros motivos novas áreas de extração estão cada vez mais distantes dos locais de consumo, encarecendo o preço final dos produtos.

Moura et al. (2002) relata que materiais alternativos ecologicamente corretos são procurados de forma insistente e constante pela indústria da construção civil, que é um dos setores mais indicados para consumir materiais reciclados.

Segundo Spínola et al., (2004) as rochas ornamentais, que são os granitos, mármore, quartzitos, arenitos e outros, são largamente empregadas nas edificações como revestimento de paredes, pisos, bancadas de pias, etc. Do ponto de vista econômico, o granito e o mármore são considerados como as rochas ornamentais mais importantes, pois respondem por 90% da produção mundial.

Chiodi Filho (2008) diz que, em 2007, a produção brasileira de rochas ornamentais foi de oito milhões de toneladas incluindo granitos, mármore, quartzitos, ardósias, pedra-sabão e outras. A extração e o beneficiamento das rochas ornamentais geram grande quantidade de resíduos que são descartados no meio ambiente, quase sempre, sem critério nenhum.

Gobbo et al., (2004). Diz que as perdas, sob forma de material fino, na operação de serragem de bloco de rochas ornamentais são de 30% a 40% do volume do bloco. Mais perdas (de 10% a 20%) ocorrem sob forma de retalhos gerados por peças quebradas, sobras, cortes inadequados, etc.

Assim, o trabalho aqui proposto objetiva relacionar as propriedades fornecidas pelo rejeito de granito britado quanto àquelas necessárias em um concreto feito com areia natural de rio, ou seja, buscar definições de dosagens que permitam um processo de produção racionalizado e substituição total da areia natural de rio por areia artificial, propiciando viabilidade quanto a aplicação prática.

Para tanto a realização desse estudo terá por base a sequência de etapas previamente planejadas, sendo estas: definição laboratorial das propriedades dos materiais; utilização do material para a produção de concreto com a areia artificial obtida com britagem de granito; análises e resultados do produto obtido.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Qual seria a influência do uso de aditivo nas características mecânicas do concreto convencional feito com areia natural de rio e areia de granito britado?

1.2. HIPÓTESES

- H1- A alta quantidade de finos da areia de granito britado necessita de maior quantidade de água.
- H2-O custo do concreto produzido com rejeitos de brita é menor do que o de concreto produzido com areia natural.
- H3- O uso da areia artificial diminui a trabalhabilidade do concreto no estado fresco

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Estudar o uso de aditivo plastificante no traço de concreto convencional de areia natural de rio e areia de granito britada.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar os materiais para confecção do concreto;
- Elaborar os traços para a resistência de 25 MPa;
- Avaliar, por meio de um comparativo entre o concreto com areia natural de rio e rejeito de brita as propriedades físico-mecânico por meio de ensaios no estado fresco e estado endurecido;
- Elaborar planilha comparativa de custo dos insumos.

1.4. JUSTIFICATIVA

Diante das demandas ambientais e tantos apelos de que se preservem os recursos naturais, uma significativa possibilidade para minimizar tais ocorrências seria o aperfeiçoamento de técnicas que venham a combinar materiais alternativos que ampliem as vantagens de se utilizar produtos alternativos. Ou seja, materiais que

possam ser aplicados de forma viável e que garantam economia na produção, mantendo ainda, as propriedades necessárias ao produto final. Nesse contexto pode-se destacar a incorporação da areia de britagem em substituição à natural.

Almeida et al, (2005) explica que a areia de granito britada ou rejeito de brita é um material decorrente da fragmentação de rocha e pode atender às especificações da areia natural, necessitando apenas passar por um processo de obtenção no qual algumas características podem ser controladas, como a distribuição granulométrica, a forma e a textura, alcançando-se um material adequado para cada tipo de aplicação.

Dessa forma cresce a tendência para que o mercado abra suas portas para utilização da areia britada como agregado para concretos, verificado os estudos que demonstram o potencial de viabilidade de tal uso.

O motivo da escolha do tema para estudo pautou-se em especial na urgência ambiental por medidas de contenção do uso dos recursos minerais, e a degradação do meio ambiente causada pelo uso desordenado da exploração da areia natural de rios na construção civil. Propondo substituição desta por areia de granito britada, originada da jazida de Granito Gramprata em Palmas-Tocantins como uma possível medida para as questões acima citadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. HISTÓRICO DO CONCRETO

Para se proteger da chuva, do sol, do frio e de animais selvagens, os primeiros homens se abrigavam em lugares que a natureza lhes oferecia, que eram os imensos buracos que formavam nas rochas, dando origem a grandes cavernas e grutas. Com o tempo, o homem passou a abandonar as grutas, e começou as construções, o primeiro material a ser empregado foi a pedra natural, por estar disponível na natureza e ser de fácil acesso, eram feitas moradias em forma de cones, somente de pedras, sem nenhuma mistura de materiais para juntá-las, receberam o nome de Nuragues, conforme figura 1. Para os rituais místicos eram fincadas pedras na vertical, como se fossem paredes, e sobre elas colocado na horizontal uma pedra para servir de teto, esse tipo de construção era chamado de Dolmens, e existem muitas lendas sobre elas. (KAEFER,1998).

Figura 1 – Nuragues.



Fonte: PAULA (2014).

A vontade de melhorar o ambiente em que reside, fez com que os povos desenvolvessem a fabricação de tijolos de lama secos ao sol eram as casas de adobe, porém, devido à baixa resistência, começou a utilizar madeiras entrelaçadas e preencher com barro, transformando-as em paredes, essas eram as casas de pau-a-pique ou taipa de mão.

Pode-se definir o cimento como um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água.

De acordo com a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) a palavra cimento é originada do latim *caementu*, que designava na velha Roma espécie de pedra natural de rochedos e não esquadrejada. A origem do cimento remonta há cerca de 4.500 anos.

Supõe-se que o homem, ao acender a fogueira próxima às pedras calcárias, percebia que com o calor do fogo, algumas pedras calcárias viravam pó, e com a umidade do sereno, esse pó endurecia satisfatoriamente.

Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin, inventou e patenteou o cimento Portland, que era a mistura calcinada de pedras calcárias e argila e recebeu esse nome devido a semelhança a uma pedra da Ilha de Portland. O cimento Portland é usado até hoje, porém houve algumas alterações na sua produção, mas a base continua a mesma. Esse cimento era misturado a areia e cacos de telhas, que resultava em uma mistura bem parecida ao nosso concreto de hoje (PEDROSO, 2009).

2.2. MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO

Segundo Pedroso (2009) o concreto é o produto mais utilizado na construção civil, é basicamente a mistura de água, cimento, agregado graúdo e agregado miúdo. O traço determina a quantidade de cada material, de acordo com a finalidade do concreto e a resistência desejada. Eventualmente podem ser adicionados aditivos e adições para melhorar as características desejadas.

2.2.1. Cimento

Cimento é um material aglomerante, que ao se juntar com a água, promove a união entre os agregados, e endurece com o tempo. O cimento mais usado é o Cimento Portland Comum-CPI, que não tem nenhuma adição além do gesso.

De acordo com a ABCP (2002) a fabricação do cimento de forma resumida, é da seguinte forma, extraem-se as matérias primas, que são o calcário e a argila, eles são moídos e misturados e em seguida introduzidos em um forno com temperatura muito alta. Esse elevado calor transforma a mistura em um novo material, o clínquer, o material básico que está presente na produção de todos os tipos de cimento. Uma pequena quantidade de gesso, que é conhecida como adição, é acrescentada junto ao clínquer, para controlar o tempo de pega, esse é o cimento Portland Comum.

O que diferencia os diversos tipos de cimentos são as adições que se juntam ao clínquer, cada uma tem sua própria finalidade. As principais adições são o gesso, as escórias de alto forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos, que quando adicionados junto ao clínquer dão origem, de acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland existem oito tipos de cimentos, como mostra a figura 2.

Figura 2 – Tipos de cimento e suas adições.

Tipo de Cimento	Adições	Sigla	Norma
Cimento Portland Comum	Escória, pozolana ou filer (até 5%)	CP I-S 32 CP I-S 40	5732
Cimento Portland Composto	Escória (6-34%)	CP II-E 32 CP II-E 40	11578
	Pozolana (6-14%)	CP II-Z 32	
	Filer (6-10%)	CP II-F 32 CP II-F 40	
Cimento Portland de Alto-Forno	Escória (35-70%)	CP III 32 CP III 40	5735
Cimento Portland Pozolânico	Pozolana (15-50%)	CP IV 32	5736
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	Materiais carbonáticos (até 5%)	CP V-ARI	5733
Cimento Portland Resistente aos Sulfatos	Estes cimentos são designados pela sigla RS. Ex.: CP III-40 RS, CP V-ARI RS		5737

Fonte: ABCP (2002).

2.2.2. Aditivos

De acordo com Bauer (1994), define-se aditivo químico como um produto não indispensável à composição e finalidade do concreto, e que em quantidades de até 5% em relação à massa de cimento faz aparecer ou reforçar certas características do concreto.

O emprego de aditivo nos concretos é tão antigo quanto o cimento, segundo Coutinho (1997), os romanos adicionavam clara de ovo, sangue, banha ou leite à concretos para melhorar a trabalhabilidade das misturas.

A razão para o uso cada vez maior de aditivos, segundo Neville (1997), está na capacidade dos mesmos em proporcionar ao concreto consideráveis melhoras físicas

e econômicas. Essas melhorias incluem o aumento da trabalhabilidade, da resistência, da durabilidade, da fluidez, e pode diminuir a permeabilidade, a retração, a absorção de água, e retardar ou acelerar o tempo de pega.

A NBR 11768/1992 especifica os tipos de aditivos a seguir:

- Tipo P - Plastificante;
- Tipo R - Retardador;
- Tipo A - Acelerador;
- Tipo PR - Plastificante Retardador;
- Tipo PA - Plastificante Acelerador;
- Tipo IAR - Incorporador De Ar;
- Tipo SP - Super Plastificante;
- Tipo SPR - Super Plastificante Retardador;
- Tipo SPA - Super Plastificante Acelerador.

Mehta e Monteiro (1994) diz que Aditivo Plastificante-P é um aditivo que reduz a quantidade de água de amassamento requerida para produzir um concreto com dada resistência ou que aumenta a trabalhabilidade do concreto sem adição de mais água. Essa redução de água geralmente é entre 5% e 10%, podendo chegar até 15%. O aditivo plastificante associado a um retardador é conhecido como Tipo PR, e o retardador tem a finalidade de aumentar os tempos de início e fim de pega do concreto. E quando associado a um acelerador, passa a ser classificado como PA. Em sua composição, os aditivos plastificantes possuem lignosulfonatos, sais de ácido hidroxicarboxílico e polissacarídeos. O lignosulfonato, que é o redutor de água mais utilizado, é obtido a partir do rejeito líquido do processo de extração da celulose da madeira, lignina ou licor negro.

Segundo Effting (2014) são moléculas com extremidades laterais com cargas negativas. Um dos lados adere aos grãos de cimento (superfície positiva), e outro lado com carga negativa fica exposto. A repulsão eletrostática entre as cargas negativas afasta os grãos de cimento cobertos pelo aditivo facilitando a trabalhabilidade.

Mehta e Monteiro (1994) explica que a diferença entre os aditivos plastificantes e os aditivos super plastificante é que, comparados a uma mistura de concreto de referência, com uma dada consistência, o primeiro é capaz de reduzir ao menos 5% e o último em 12%.

Segundo Neville (1997) os superplastificantes são polímeros orgânicos hidrossolúveis obtidos sinteticamente, usando um processo complexo de polimerização para obtenção de moléculas longas de elevada massa molecular e, portanto, relativamente caros. Os dois mais conhecidos são: superplastificante de melamina e superplastificante de naftaleno. Esse aditivo é conhecido como Tipo SP e são redutores de água com efeito significativamente mais intenso do que os aditivos plastificantes, podem reduzir de 25% a 35% a quantidade de água.

De acordo com Neville (1997), as dosagens dos diversos aditivos, geralmente expressa como porcentagem da massa de cimento na mistura, são recomendadas pelos fabricantes, mas frequentemente podem variar com as circunstâncias.

2.2.3. Água para amassamento

Segundo Neville (1997) deve-se dar atenção para a qualidade da água usada no concreto, impurezas contidas na água podem influenciar negativamente a resistência do concreto ou causar manchamento da sua superfície, ou também, resultar corrosão da armadura.

Neville (1997) diz que algumas águas não adequadas para beber podem, muitas vezes, serem usadas satisfatoriamente para o preparo do concreto, águas com pH de 6,0 a 8,0, sem o sabor, salobras, são adequadas para o uso em concreto, mas a cor escura ou cheiro desagradável não significam que existem substâncias deletérias.

2.2.4. Agregados

Segundo Ambrozewicz (2012) agregado é um material granular sem forma ou volume definido, constituído de dimensão e propriedade adequada para a produção de concreto. O custo do agregado é relativamente baixo e ocupa pelo menos três quartos do volume do concreto, portanto, sua qualidade é de extrema importância.

De acordo Neville (1997), o agregado custa menos que o cimento, por isso é compensável usar mais agregado e menos cimento possível, mas a questão econômica não é a única vantagem dos agregados, ele confere vantagens técnicas consideráveis ao concreto, que passa a ter maior estabilidade dimensional e melhor durabilidade do que a pasta de cimento pura.

2.2.4.1. Agregados graúdos

Agregados graúdos são materiais considerados pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, ou mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm (NBR 7211/1983), conforme figura 3.

Figura 3 – Agregados Graúdos.



Fonte: BOLONHA (2013).

A pedra britada, mais conhecida como brita, é o agregado industrializado mais utilizado na construção civil, é considerado artificial, por ser um material processado industrialmente, incluindo a britagem de rochas extraídas em jazidas na natureza. A pedra britada é classificada em cinco granulometrias conforme figura 4 abaixo:

Figura 4 – Número e Dimensão das Britas.

Brita 0	4,8 mm a 9,5 mm
Brita 1	9,5 mm a 19 mm
Brita 2	19 mm a 25 mm
Brita 3	25 mm a 38 mm
Brita 4	38 mm a 76 mm

Adaptado de AMBROZEWICZ (2012).

De acordo com NBR NM 66/1998 o cascalho ou pedregulho são agregados de origem natural, e de maior dimensão, requer apenas processo de lavagem e seleção. Propicia melhor trabalhabilidade que a brita.

2.2.4.2. Agregados miúdos

Por definição segundo a NBR 9935/2011 o agregado, conforme figura 5, é um elemento disforme ou sem volume determinado e granular pétreo, em inúmeras vezes quimicamente inativas, conseguidas através de fragmentação artificial ou natural, com proporções e características propícias a serem utilizados em obras de engenharia.

Figura 5 – Agregados Miúdos



Fonte: FORTALEZA (2017).

Helene e Terzian (1993) relatam que agregados são gerados na exploração de materiais particulados naturais como: areia, seixo, rolado ou pedregulho ou ainda com base da britagem de maciços rochosos. Sua maior aplicação é na elaboração de concretos e argamassas, onde associado com um aglomerante, sendo uma pasta de cimento Portland/água, formam uma rocha artificial, com inúmeras utilidades nas obras civis. Seu uso não se limitando apenas no uso em concretos e argamassas são utilizados ainda em várias outras aplicações na área da engenharia bem como: paisagismo, lastro de vias férreas, base para estradas de rodagem, elemento filtrante, e diversos outros usos.

Para os citados autores, sendo a areia considerada um agregado miúdo, e sua graduação normalmente de 0,15/4,8 mm. Sua origem geralmente vinda de: rios, cavas, britagens, escórias, praias e dunas.

Helene e Terzian (1993) mencionam que grande parte da areia gerada no Brasil, provem da extração de minas, leito de rios, com a constituição de cavas inundadas pelo lençol freático. Em conjunto com a água a areia, é bombeada para silos em suspensão ou até acumulada, para só então depois, ser levada em caminhões basculantes com destino ao consumidor final ou ao distribuidor.

2.2.4.2.1. Areia natural

A areia é um recurso natural abundante e de baixo valor unitário e um produto básico na indústria da construção civil. A exploração deste recurso, resulta em

inúmeros impactos ambientais ao longo de sua manufatura, e como agravantes sua utilização em obras de construção civil está difundida em todo território brasileiro.

O termo areia apresenta muitas definições. Na literatura geológica, define-se areia, como um material detrítico com variação de tamanho de partículas definidos composto principalmente por partículas de quartzo. Porém, as principais definições são feitas no sentido de representar um material mineral granular não coesivo, com tamanho de partículas situado entre limites definidos, com composição química e mineralógica variada e com origem inorgânica (CANTO, 2001).

Segundo o Sumário Mineral (2002) publicado pelo DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), a mineração de areia em leitos fluviais é responsável por 90% da produção brasileira, e os outros 10% são provenientes das várzeas. Normalmente sua extração é conduzida por meio de dois tipos de operações:

- De lavra dependendo do tipo de depósito;
- Desmonte hidráulico ou dragagem hidráulica em leitos submersos.

Segundo Santos (2008), a extração de areia ocorre em quatro diferentes depósitos minerais:

- Sedimentos inconsolidados quaternários;
- Planícies fluviais;
- Rochas sedimentares cenozoicas;
- Mantos de alteração de rochas pré-cambrianas.

Santos (2008) relata que devido sua origem, considera-se que as areias são constituídas predominantemente por quartzo. Contudo, outros minerais podem ser encontrados, tais como:

- Feldspato;
- Mica;
- Turmalina; etc.

Santos (2008) explica que:

Os depósitos de areia são resultado da concentração de grãos de quartzo pelo seu transporte e deposição por agentes naturais de intemperismo, a partir de rochas preexistentes, gerando acumulações com maior ou menor concentração do minério e outros minerais de média e elevada dureza e implicando em diferença de dificuldades nas técnicas de extração e recuperação ambiental (SANTOS, 2008).

Chaves (1999) diz que a proporção com que os minerais se apresentam nas areias, lhes confere características específicas, como coloração e a composição mineralógica.

Segundo Tanno et al. (2003), no âmbito comercial, as areias usadas para construção civil recebem designações segundo o grau de beneficiamento a que são submetidas:

- Areia bruta (não beneficiada);
- Areia lavada (lavagem sobre peneira para retirada de partículas finas e outros materiais indesejáveis);
- Areia graduada (areia que obedece a uma distribuição granulométrica previamente estabelecida).

Figura 6 – Depósito de Areia Natural.



Fonte: Autora (2017).

De acordo com a NBR NM 248/2003, que trata da determinação da composição granulométrica dos agregados, os tipos de areias mais comumente encontrados no mercado são:

- Areia grossa (2,0 mm –4,8 mm);
- Areia média (0,42 mm –2,0 mm);
- Areia fina (0,05 mm –0,42 mm).

Tanno et al., (2003) ressalta o uso da areia na construção civil como agregado para o concreto. Exemplos: argamassa, blocos e pavimentação. Sua granulação influencia na redução do consumo do cimento no preparo do concreto ou argamassa.

Neville (1997) explica que comercializada em grande parte da forma que é extraída a areia natural é passada somente por grelhas fixas onde são separadas por frações mais grossas como cascalho, pedras ou ainda por material orgânico, vegetação entre outros. Ela pode ainda receber lavagem para a remoção da argila. A areia natural que é de origem aluvial 90% tem sua extração de leito de rios sendo

apenas 10% em cava seca, no entanto o uso de dragas em leitos de rios tem entrado em descostume.

2.2.4.2.2. Areia de granito britada

Segundo Almeida et al., (2005) a areia de granito britada, ou pó de brita como popularmente é conhecido, é o rejeito da exploração de pedreiras e seu diâmetro máximo é inferior a 4,8 mm.

Pissato et al., (2005) retrata que diversos autores vêm desenvolvendo estudos no sentido de buscar tecnologias para aproveitamento dos finos de pedra (cita-se: mármore que aumenta a trabalhabilidade ou granito que atua com um efeito contrário), de forma a reduzir os impactos ambientais ligados a sua destinação e, ao mesmo tempo, promover um emprego economicamente rentável e tecnicamente adequado para esse material.

Nas pedreiras são produzidos três tipos de brita que encontram aplicações nobres e vantajosas comercialmente. Porém, além deles, existe uma espécie de brita e o pó de pedra, "elementos utilizados somente em aplicações marginais", conta o coordenador do projeto, João Alves Sampaio. São esses finos marginais que estão sendo usados para a produção de areia artificial. (SAMPAIO, 2002).

O pó do granito britado é um resíduo de descarte nas pedreiras e constitui um material quantitativamente significativo para atender muitas demandas na construção civil como se pode ver na figura 7.

Figura 7 – Depósito de rejeito de brita



Fonte: SANTOS (2012).

Segundo Barbosa et al; (2008) a indústria da construção civil busca, a cada dia, materiais alternativos que possam atender à redução de custos, à agilidade de execução, à durabilidade e à melhoria das propriedades do produto final de obras, visando à redução da extração de materiais naturais, resolver os problemas de estocagem de material e também a redução de descartes de materiais.

Barbosa et al; (2008) diz que o uso desses rejeitos obtidos nas pedreiras, poderá resultar em benefícios para o meio ambiente e numa maior lucratividade para as empresas produtoras, visto que o material retirado das jazidas passa a ser reaproveitado, reduzindo as perdas do processo e fornecendo uma alternativa para o mercado da construção civil.

Para os autores citados acima a viabilidade técnica do emprego de areia artificial na produção de concretos deverá ser sempre verificada através de estudos de suas propriedades físicas e mecânicas, tais como trabalhabilidade, resistência à compressão axial, módulo de elasticidade e absorção por imersão de modo a atender satisfatoriamente as exigências técnicas.

2.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS BÁSICOS PARA CONCRETO

Segundo Costa (2005) concreto é um material que resulta da mistura proporcional de um aglomerante (cimento), agregado miúdo (areia) agregado graúdo (brita) e água.

As operações básicas para produção de concreto são:

- Dosagem – composição da mistura quantificável dos componentes;
- Mistura – dar homogeneidade ao concreto;
- Transporte – a leva do concreto do local onde foi preparado ao local onde será aplicado;
- Lançamento – colocação do concreto no local de aplicação;
- Adensamento – compactação do concreto;
- Cura – conjunto de medidas para evitar a perda de água (evaporação) pelo concreto, necessária para reação com o cimento (hidratação).

A composição granulométrica segundo Varela, com base na NBR NM 248/2003 se classifica em agregados graúdos e agregados miúdos:

- Os agregados Graúdos ficam retidos na peneira 4,8 mm;
- Os agregados Miúdos passam pela peneira 4,8 mm.

O módulo de finura também segundo Varela com base na NBR NM 248/2003 trata da soma dos percentuais acumulados em todas as peneiras da série normal, dividida por 100. Quanto maior o módulo de finura, mais grosso será o solo.

Sobre a massa específica, Varela com base na NBR NM 52/2003 diz que, massa específica (ou massa específica real) é a massa da unidade de volume

excluindo-se os vazios entre grãos e os permeáveis, ou seja, a massa de uma unidade de volume dos grãos do agregado.

Varela com base na NBR NM 45/2006 descreve massa unitária como o peso da unidade de volume, incluindo-se os vazios contidos nos grãos. É determinada preenchendo-se um recipiente paralelepípedo de dimensões bem conhecidas com agregado deixando-o cair de uma altura de 10 a 15 cm. É também chamada de unitária, a areia no estado solto, apresenta o peso unitário em forma de 1,50kg/dm³.

2.4. ENSAIOS

O ensaio de compressão é realizado de acordo com o método da NBR 5739/2007. E o ensaio de resistência à tração por compressão diametral, é realizado de acordo com a NBR 7222/1994.

Pode se verificar que, com a adição de RMT – Rejeito de Mármore Triturado, a densidade da massa é aumentada, devido aos grãos de RMT serem inertes e com baixa absorção de água, isso acontece devido à redução de perda de água absorvida às partículas no estado fresco, provocando o aumento da densidade de massa no estado endurecido.

Segundo Silva et al. (2005) as misturas produzidas com RGT – Rejeito de Granito triturado (maior teor de material pulverulento) apresentaram maior densidade de massa em relação ao concreto de referência (100% de AMN), demonstrando que, além de os grãos de RGT possuírem maior massa específica do que os da areia natural, possivelmente, o acréscimo no teor de finos aumenta o grau de empacotamento do conjunto agregado e aglomerante.

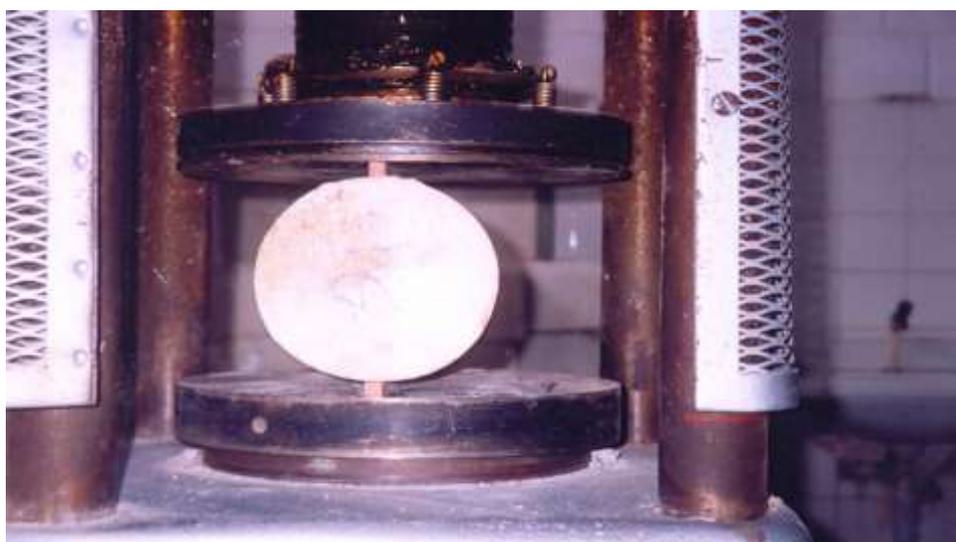
O citado autor ressalta ainda que o empacotamento está relacionado com a correta seleção da proporção e do tamanho adequado dos materiais, devido os vazios maiores serem preenchidos com partículas menores, cujos vazios serão novamente preenchidos com partículas ainda menores e assim sucessivamente.

2.4.1. Ensaios no Estado Endurecido (Resistência à Compressão e Resistência à Tração por Compressão Diametral)

No ensaio de tração, conforme figura 8, um corpo de prova é submetido a um esforço que tende a alongá-lo até sua ruptura. O ensaio é realizado num corpo de prova de formas e dimensões padronizadas, para que os resultados obtidos possam ser comparados ou, se necessário, reproduzidos. O corpo de prova é fixado numa

máquina de ensaio que aplica esforços crescentes na sua direção axial, sendo medidas as deformações correspondentes. Os esforços ou cargas são mensurados na própria máquina, e, geralmente, o ensaio ocorre até a ruptura do material. No fim deste ensaio se tem um gráfico tensão-deformação, com o qual é possível observar o comportamento do material ao longo do ensaio. Ao início do ensaio, até a ruptura, o corpo geralmente passa pelas seguintes etapas: Deformação Elástica, Deformação Plástica, Cálculo do Módulo Young.

Figura 8 – Ensaio de Resistência a Tração por Compressão Diametral.



Fonte: BEZERRA (2008).

No ensaio de compressão, conforme figura 9, o corpo de prova é testado pela aplicação de uma carga axial compressiva, e construído o diagrama tensão-deformação, onde são utilizadas as mesmas máquinas dos ensaios de tração, alterando somente as condições de fixação do corpo de prova, que normalmente tem a forma cilíndrica, com relação comprimento/diâmetro (L/D) entre 2 e 8 (em casos excepcionais a relação pode ser 1 – caso de teste de metal para mancais). O comprimento não deve ser grande para que se evite efeitos indesejáveis de flambagem, assim como não deve ser muito pequeno pois o atrito nas superfícies de contato com a máquina de ensaio pode prejudicar a validade dos resultados. A apresentação dos resultados dos testes deve sempre especificar a relação L/D . O ensaio de compressão para metais não é tão utilizado quanto o de tração, em razão das dificuldades geradas pelo atrito entre o corpo de prova e a máquina de teste, possibilidade de flambagem durante o ensaio e outros fatores de erro que podem facilmente invalidar os resultados. Porém se controlados esses fatores é possível

realizar com êxito o ensaio. São geralmente usados como corpo de prova os seguintes materiais: concreto, cerâmicas, metais, plásticos e compostos.

Figura 9 – Ensaio de Resistência a Compressão.

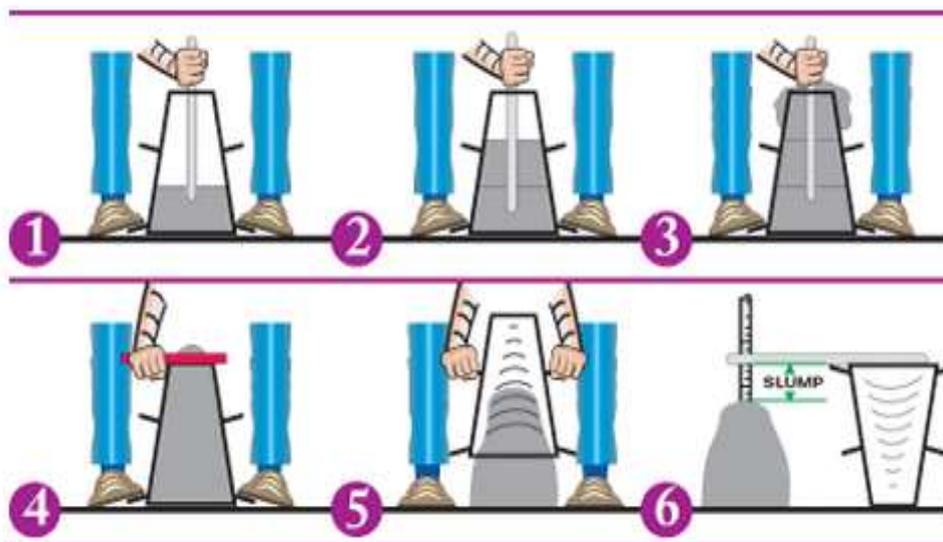


Fonte: Soluções Industriais (2013).

2.4.2. Ensaio no Estado Fresco (SLUMP e Incorporador de Ar)

A consistência que muitas vezes é confundida com trabalhabilidade está relacionada a particularidades ligadas ao concreto e mais relacionadas com a mobilidade da massa e a coesão entre seus componentes, é um dos principais fatores que influenciam na trabalhabilidade do concreto. De acordo a modificação do grau de umidade que se determina a consistência, e é alterado suas características de plasticidade e se permite uma maior ou menor deformação do concreto perante aos esforços. O ensaio de slump test é realizado de acordo com a ilustração na figura 10.

Figura 10 – SLUMP Test.



Fonte: SERAFIM (2014).

Mehta e Monteiro (1994) explicam que é possível encontrar ar preenchendo vazios dentro de concretos de duas formas:

...através de bolhas de ar incorporado ou através de vazios de ar aprisionado. As bolhas de ar incorporado possuem dimensões entre 100µm e 1mm de diâmetro, enquanto os vazios de ar aprisionado são maiores, ficando entre 1mm e 10 mm. (MEHTA, MONTEIRO, 1994)

Os autores citados acrescentam ainda que geralmente essas situações são causadas por deficiência na dosagem e escolha dos materiais, e isso é prejudicial a qualidade final do concreto. Sendo capaz de comprometer as propriedades mecânicas e a resistência à compressão e módulo de elasticidade. Além de comprometer negativamente a aparência final do concreto com formação de bolhas nas superfícies.

Mehta e Monteiro (1994) acrescentam ainda que no que se refere às bolhas de ar incorporado, podem ter duas origens: natural incorporação de pequenas quantidades de ar disseminadas através de microbolhas na massa do concreto e através do uso de aditivos incorporadores de ar ao concreto.

A incorporação denominada natural, bem como a presença de vazios de ar incorporado advém de fatores como:

- Tipo e finura dos aglomerantes e agregados miúdos;
- Dosagem dos materiais;
- Tipo e grau de adensamento aplicado;
- Temperatura e tempo de mistura do concreto.

A incorporação através de aditivos se dá em casos especiais com os objetivos de:

- Redução do tamanho dos vazios de ar aprisionado);
- Aumento da trabalhabilidade do concreto;
- Redução do consumo de cimento e melhoria da qualidade do concreto quanto a ação de gelo e degelo.

Para Mehta e Monteiro (1994) são aceitáveis os seguintes limites para incorporações de até 6% através de aditivos:

Para incorporações de até 6% através de aditivos, a cada incremento da incorporação de ar em 1%, pode-se permitir a redução da água da mistura em até 3% e a porcentagem de areia em até 1%. Levando a melhorias na resistência à compressão simples do concreto.

Contudo, os autores citados alertam que é fundamental ao controle da qualidade do concreto que se controle o teor de ar incorporado, quer seja nos limites máximos ou mínimos ou até para identificar teores de vazios de ar no concreto.

No Brasil o Concreto Fresco tem sua determinação do Teor de ar pelo “*Método Pressométrico*”, é o ensaio utilizado para a obtenção do valor do ar incorporado e/ou aprisionado no concreto NBR NM 47/2001.

2.5. IMPACTOS AMBIENTAIS

A Norma Brasileira ISO (2004) – Organização Internacional para Padronização foi a primeira a usar o termo “aspecto ambiental” posteriormente o vocábulo foi sendo incorporado pelos profissionais da indústria e de consultores, órgãos governamentais, entre outros.

Aspecto ambiental é definido nesta Norma como: “*Elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente*”. (ISO, 2004).

Também pode ser explicada como “atividade impactante”, o qual é definido por Silva (1999) como:

“Ação necessária para se implantar e conduzir os empreendimentos impactantes”. As atividades impactantes e os aspectos ambientais relacionados à atividade de extração de areia em cursos d’água são elencados e descritos a seguir considerando as fases de instalação, operação e desativação do empreendimento. (SILVA, 1999).

Segundo Bruchi (1997), os principais impactos ocasionados pela extração da bens minerais mencionados são:

- Alteração do relevo e paisagem nos locais da extração com a retirada ou corte na vegetação que ocorre devido a operação de equipamentos, e ou armazenamento de material minerado e rejeitos no tráfego da produção. Este impacto direto é reversível quando há um apropriado manuseio da vegetação local como se observa na figura 11.

Figura 11 – Impactos na vegetação local da mineradora.



Fonte: Autora (2017).

- Mudanças no solo e em sua estrutura devido a movimentação minerária que por si só já provoca uma elevação da compactação que além de provocar alterações na estrutura microbiológica, causa uma interferência na permeabilidade do solo o que dificulta até mesmo impossibilita a reabilitação natural o que contribui para o arrastamento de sedimentos para os corpos d'água como se observa na figura 12.

Figura 12 – Arrastamento de sedimentos para os corpos d'água.



Fonte: Autora (2017).

- Variação em calhas de cursos de água são resultados de equipamentos de desagregação em leitos dos cursos de água, o que elimina o barramento natural ou ainda a introdução de bancos de sedimentos causando a interferência na direção e velocidade do fluxo de água.
- Como resultado de extração que chegam a atingir o lençol freático pode-se ocasionar uma subsidência do terreno e acomodação da terra que poderia colocar em perigo edificações no entorno, além disso essa mudança de nível da água poderia ainda causar a desativação de poços de captação de água próximo a área da extração.

Neves (2011) ressalta que com a trepidação causada, pela movimentação de equipamentos de desmonte, carregamento e transporte, se ocasiona perturbações na estabilidade das edificações, estradas, pontes no entorno da área de extração. Poluição sonora causada pelos equipamentos e transporte pode e é também um transtorno, não só ao trânsito, mas a natureza visto que há aumento da poluição atmosférica não apenas pelo transporte e ainda pela possibilidade de agregação de partículas minerais à atmosfera, como também de gases e partículas provenientes da queima de combustível o que só piora no período da seca.

Com o uso da água e do solo, o desenvolvimento da extração minerária afeta tanto a qualidade da água como do solo para outros usos, o que acaba provocando conflitos. Há uma preocupação mundial com a reciclagem das frações finas (resíduos) dos agregados miúdos. No Brasil temos o Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução CONAMA (1995), art. 1º. considera impacto ambiental: “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam”:

- I – A saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II – As atividades sociais e econômicas;
- III – A biota (conjunto dos seres animais e vegetais de uma região);
- IV – As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V – A qualidade dos recursos ambientais.

Impactos ambientais, causados pela extração de agregados, incluem erosão de rios e costas marítimas, perda do habitat biológico, ruído de localização, poluição pela dispersão de finos (pós) e aumento de transporte rodoviário. Uma das

alternativas para a preservação dos depósitos naturais de agregados são as rochas britadas, cada vez mais utilizadas (GLENCROSS GRANT, 2003).

Assim como a extração das areias artificiais em partículas as rochas calcárias que devem manter a preservação de grutas a extração de areias naturais não podem causar erosões e danos irreversíveis ao meio ambiente.

Se faz necessário uma avaliação precedente da compatibilidade além do desenvolvimento do meio ambiente para a extração de minerais para que seja evitado danos irremediáveis causados pela mineração. Em qualquer tipo de situação e ou empreendimento seja ela exploração da areia, minério, agrícola ou industrial, causa alterações ambientais embora os danos causados devido a exploração de argila cascalho e areia na maioria das vezes são reversíveis, se antes foi previsto e feito a avaliação.

2.6. DESEMPENHO DA SUBSTITUIÇÃO DE AREIA QUARTZOZA POR PEDRISCO

Segundo Silva et al., (2005) descreve em sua pesquisa que ocorrido variantes dos índices de desempenho com relação aos traços com pedriscos ao traço de referência, ficou claro que deste uso em pequenas dimensões apresentou melhoria considerável ao desempenho se comparada a areia quartzoza, levando em consideração a redução da demanda d'água e a adição do consumo de cimento, contudo, ainda a redução de gastos.

Silva et al., (2005) relatam que com a substituição de areia quartzoza por pedrisco na mistura com 15%, obteve um índice maior de desempenho que a de 20%, sendo a de menor porcentagem com menor custo e melhor facilidade no acabamento.

Os citados autores dizem que o que se pode observar é que com a substituição desta areia por pedriscos ou ainda por areia britada basáltica, aumenta a resistência e há ainda uma economia quanto ao custo pelo metro cúbico do concreto e a garantia de melhor organização granulométrica dos agregados. *“Observa-se que as trocas em massas que a areia britada basáltica, pode ser feita a substituição em grande quantidade comparada a outras misturas estudadas, se provou que a com maior resistência e ainda menor custo foi a de 40% de areia britada basáltica”.*

3. METODOLOGIA

3.1. DESENHO DO ESTUDO

A metodologia proposta neste projeto teve como finalidade metodológica realizar pesquisa aplicada ao tema, abordando de modo quantitativo a influência do uso de aditivo plastificante nas características mecânicas do concreto convencional feito com a areia de granito britado e areia natural em obras de construção civil. Quanto aos procedimentos metodológicos foram realizadas: pesquisas históricas em referenciais bibliográficos e documental e pesquisa experimental realizando testes avaliativos em Laboratório.

3.2. LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção Civil, localizado no Centro Universitário Luterano de Palmas, Tocantins e na Empresa Luar Engenharia, entre os meses de fevereiro e outubro de 2017.

3.3. OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo dessa pesquisa é concreto com areia natural e areia de granito britado com uso de aditivo plastificante.

Sendo considerado como amostra quatro traços: um traço referência com 100% de areia natural, um traço com 100% de areia de granito britado, um traço com 75% de areia natural e 25% de areia de granito britado e um traço com 50% de areia natural e 50% de areia de granito britado. Foram moldados 3 corpos de prova de 10cm x 20cm para cada uma das idades de 7, 14 e 28 dias de cada traço, para realização do ensaio de resistência a compressão e 2 corpos de prova de 15cm x 30cm para ensaio de tração por compressão diametral com 28 dias.

3.4. CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Os ensaios realizados no estado fresco foram: Abatimento e Incorporador de Ar e no estado endurecido: Resistência à Tração por Compressão Diametral e Resistência à Compressão.

Os ensaios excluídos são: Ensaio de Espalhamento do Cone De Abrams, Ensaio de Abatimento na Mesa de Graff, Ensaio de Escorregamento - Flow Test, Ensaio de VeBe, Determinação dos Módulos Estáticos de Elasticidade e de Deformação e da Curva Tensão-Deformação, Resistência à Tração na Flexão em Corpo de Prova Prismático, Absorção de água, Fissuras, Avaliação da

susceptibilidade da superfície do concreto ao manchamento, Avaliação de fissuras e Material pulverulento.

3.5. VARIÁVEIS

Foram consideradas as seguintes variáveis:

- Parâmetros Fixos: Relação água/cimento, consumo de materiais e consumo de água.
- Variáveis independentes: Agregado graúdo e agregado miúdo.
- Variáveis Dependentes: As propriedades do concreto quanto à variação de agregados miúdos adicionado ao traço, sua resistência à compressão e à tração.

3.6. INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS, ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO, PROCESSAMENTO, ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Os instrumentos para coleta de dados foram a realização de testes em laboratório para avaliar a influência do aditivo no concreto convencional com substituição total e parcial de agregado miúdo natural por rejeito de brita obtida pela britagem de granito.

Como estratégia de aplicação e processamento dos dados a pesquisa foi realizada em duas etapas conforme Figura 13. Em alguns itens, a areia natural foi chamada de AN e o rejeito de brita foi chamado eventualmente de areia de granito britada, areia artificial e AA.

Etapa I – Materiais constituintes

A primeira etapa metodológica consistiu em coletar e caracterizar os materiais fornecidos por doações, para a produção de concreto, os quais foram utilizados no desenvolvimento da pesquisa.

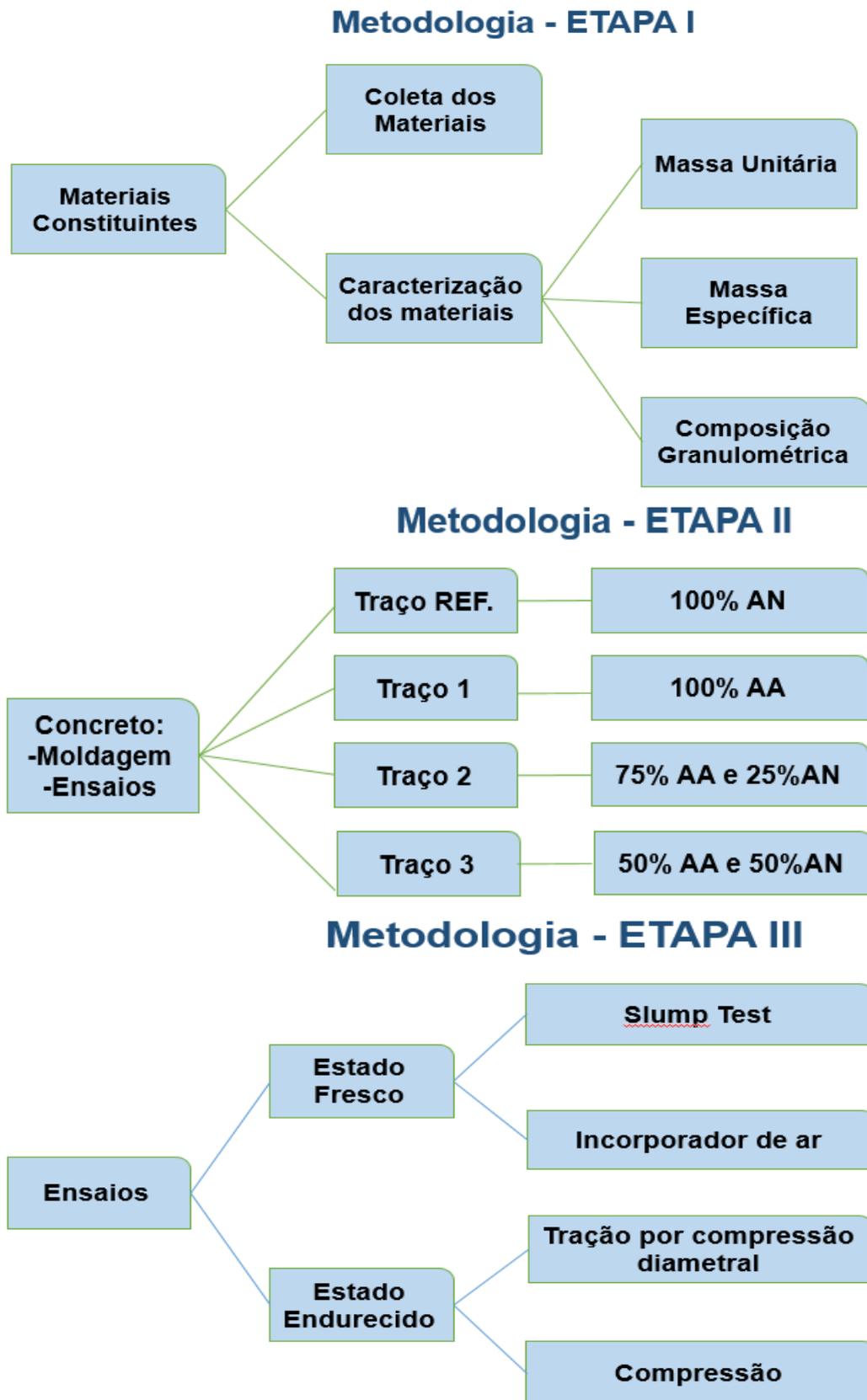
Etapa II – Traço, Confecção do Concreto, Moldagem dos corpos de prova

Na segunda etapa, com os materiais citados na Etapa I, foram confeccionados concretos para a moldagem dos corpos de prova. Foram feitos quatro traços.

Etapa III – Ensaio

Na terceira etapa, com os corpos de prova curados, foram realizados ensaios, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido.

Figura 13 – Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos



Fonte: Autora (2017).

3.6.1. Procedimentos metodológicos

3.6.1.1. Etapa I – Materiais constituintes

Nesta pesquisa foram produzidos corpos de prova de concreto, a partir da mistura de Cimento Portland, agregado miúdo natural e agregado miúdo de rejeito de brita, agregado graúdo, água e aditivo super plastificante.

Os materiais utilizados nesse estudo, exceto a areia artificial, foram doações. A areia artificial foi coletada no pátio de estocagem da empresa produtora.

Para todos os materiais constituintes, foram realizados ensaios de caracterização com as suas respectivas normas.

❖ Cimento Portland

Foi usado neste experimento Cimento Portland CII F 40 fabricado pela GOIÁS CIMENTOS.

O cimento CP II-F- 40 tem adição de 6 a 10 % de fíler calcário, foi desenvolvido para atender exclusividades na construção civil (utilizado em concreto armado, argamassa estabilizada, concreto para pavimentos, pisos industriais, artefatos de cimento e concreto protendido), se destaca por sua finura, ajustadas para garantir maiores resistências iniciais sem aumentar a demanda por água no concreto, esta característica resulta em melhor benefício e redução de custos ao final da obra. Este cimento atende à NBR 11578/1991.

❖ Agregados

Para produção dos corpos de prova de concreto do traço de referência foram utilizados como agregados a areia natural de rio da mineradora Nova Era localizada no lago formado pelo Rio Tocantins com sede localizada em uma comunidade chamada Água Fria. A extração é conduzida por meio de operação de lavra através de drenagem hidráulica no leito do rio submerso, a draga bombeia a areia e outros materiais presentes no fundo do rio utilizando a água como veículo, a areia depositada na draga é enviada diretamente através de tubulações aos silos enquanto a água retorna ao rio com os sedimentos finos. O material é retirado dos silos com uso de máquinas que operam por simples escavação mecânica através de força de sucção. Os depósitos possuem espessuras variáveis contendo material consolidado podendo atingir até dezenas de metros. A granulometria da areia retirada do rio juntamente com outros minerais como o seixo em diversos tamanhos é separado por peneiras. O controle de extração acontece conforme demanda, em média são realizadas três carregamentos diários dos barcos.

A areia artificial que foi utilizada é proveniente da britagem de rocha granítica da pedreira Gramprata. A Pedreira Gramprata de jazida de granito (também chamada comumente de jazida Gramprata) está situada no loteamento sorriso Lote 3, Bairro Zona Rural Municipio de Palmas, Tocantins sua atividade consiste na retirada de pedra natural de granito e reduz a formas e tamanhos compatíveis para o uso e aplicação em obras de engenharia. O desmonte e a britagem da rocha compreendem os seguintes processos:

Decapagem do terreno – onde se faz a limpeza das bancadas, com máquinas e caminhões a fim de remover a argila e outros materiais impróprios para a britagem.

Desmonte da rocha – Que consiste em ação de explosiva, são executadas perfurações na rocha, previamente calculadas no plano de fogo. Onde em seguida é realizado o carregamento com explosivos e posteriormente detonação.

Transporte da mina para a britagem – O material detonado é carregado através de escavadeira hidráulica em caminhões basculantes que transportam o material da mina até britagem primária.

Britagem primária – O material é descarregado na baia de alimentação e lançado para dentro do britador de mandíbulas, onde é triturado.

Britagem secundária – tem por função receber o material da britagem primária, onde é lançado para dentro do britador Hydrocone e triturado de acordo com a abertura do britador, reduzindo ainda mais suas dimensões.

Britagem terciária – O material gerado no processo anterior é conduzido ao britador de impacto vertical (VSI). Nesse processo o material é arremessado dentro de um compartimento circular fechado, onde ocorrem diversas colisões entre as partículas de pedra e também com as paredes revestidas do VSI, propiciando com isso uma correção no formato dos grãos do agregado, tornando-os arredondados.

Peneiramento, classificação e lavagem – A partir da britagem secundária é submetido a processos de peneiramento, em peneiras vibratórias inclinadas. Nessas estruturas estão instalados bicos injetores que aspergem água sobre o material em processo de peneiramento, com o objetivo de retirar o excesso de material pulverulento dos grãos do agregado e eliminar a emissão de pó no ambiente. Todos os materiais resultantes no processo de peneiramento e lavagem tem sua granulometria definida através de ensaios granulométricos. E os rejeitos da britagem de granito que serão utilizados como areia.

E como agregado graúdo foi utilizado Brita 0 da Pedreira Gramprata.

Para a caracterização dos agregados foram realizados ensaios conforme descrito abaixo:

- A massa específica: realizada segundo as recomendações da NBR NM 52/2003 para os agregados.
- Massa unitária: A massa unitária dos agregados foi determinada segundo o método C, a qual considera o material no estado solto, pela NBR NM 45/2006.
- A composição granulométrica dos agregados foi realizada de acordo com a NBR NM 248/2003. A partir deste ensaio foi possível definir o diâmetro máximo e o módulo de finura dos materiais.

❖ Aditivo

Na fabricação dos corpos de prova de concreto, foi utilizado o aditivo superplastificante Viscocrete 3535CB, produzido pela empresa SIKA. É definido como um aditivo superplastificante de pega normal de terceira geração, que permite uma alta redução de água, mantendo uma excelente fluidez e ótima coesão da massa, atua por diferentes mecanismos, através dos efeitos de adsorção superficial e separação estérica nas partículas do cimento, e no processo de hidratação. A quantidade de aditivo será determinada no traço, devem ser utilizado nas dosagens de 0,3 a 0,95% em relação ao peso do cimento, essas informações foram obtidas junto ao fabricante.

Foi utilizado este aditivo com a finalidade de melhorar a trabalhabilidade do concreto sem aumentar a quantidade de água.

❖ Água

A água utilizada na produção do concreto desse estudo, será fornecida pela empresa de abastecimento público Odebrecht Ambiental Saneatins, será avaliada para conferir se atende a ABNT NBR 15900-1/2009.

3.6.1.2. Etapa II – Traço, Confeção do Concreto e Moldagem dos corpos de prova

Foram elaborados quatro traços com a finalidade de analisar melhor os resultados. Como mostra a Figura 14, a diferença entre cada traço são os agregados miúdos.

Figura 14 - Composição dos traços.

TRAÇOS	COMPOSIÇÃO
CCR	Água, cimento Portland CII F-40, aditivo superplastificante, agregado miúdo natural e agregado graúdo brita 0
CCA	Água, cimento Portland CII F-40, aditivo superplastificante, agregado miúdo artificial (rejeito de brita) e agregado graúdo brita 0
CC75	Água, cimento Portland CII F-40, aditivo superplastificante, 75% de agregado miúdo natural e 25% de agregado miúdo artificial (rejeito de brita) e agregado graúdo brita 0
CC50	Água, cimento Portland CII F-40, aditivo superplastificante, 50% de agregado miúdo natural e 50% de agregado miúdo artificial (rejeito de brita) e agregado graúdo brita 0

Fonte: Autora (2017).

O método de dosagem utilizado foi o ABCP/ACI, esse método leva em consideração as características dos materiais, permite a escolha da faixa de trabalhabilidade, e o desvio padrão pode ser adotado entre os destacados pela NBR 12655:2006. Foi fixado Slump de 10cm +/- 1cm, e desvio padrão foi considerado como rigoroso $S_d=4\text{Mpa}$. Através da dosagem, obtivemos a quantidade de cimento, água, agregado graúdo, agregado miúdo e aditivo para cada traço.

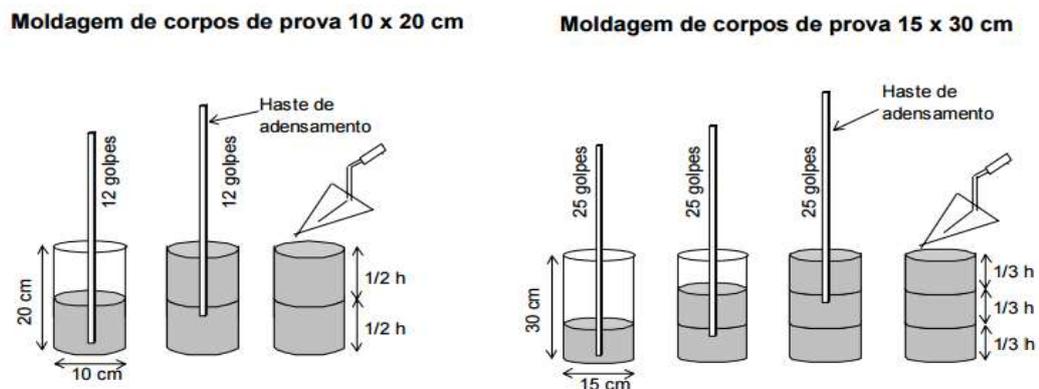
Em todos os traços, a dosagem inicial de aditivo foi de 0,3% da massa de cimento e no cálculo do traço não foi feita a redução de água devido ao uso aditivo, essa redução de água foi realizada durante a rotação do concreto, a água foi colocada aos poucos até atingir o abatimento desejado. Foi feita uma análise visual do concreto ainda na betoneira, para avaliar se seria possível atingir o abatimento fixado, e logo depois foi feito o Slump Test, o concreto que deu abatimento entre 8 cm e 12 cm foi moldado, os que deram menos de 8 cm foi adicionado mais água. O objetivo principal era conseguir um concreto com boa trabalhabilidade e menor quantidade de água, com uso de aditivo superplastificante. Não foi pré estabelecida a quantidade mínima de água, porém a quantidade máxima era 7,20 litros, quando essa quantidade máxima de água fosse atingida e a trabalhabilidade não fosse alcançada, aumentaria a dosagem de aditivo.

Foram medidas as quantidades de todos os materiais, de acordo com a dosagem, e introduzidos na betoneira. Primeiro foi adicionada a brita e 50% da água,

e misturado por 1 minuto para umedecer a betoneira, depois colocou-se o cimento, e misturou por mais um minuto com a betoneira vedada com um saco plástico para evitar que saia o pó. Retirou-se o saco e acrescentou o agregado miúdo e o restante da água com a quantidade de aditivo calculada e deixou misturar por aproximadamente 5 minutos.

O método utilizado para a moldagem dos corpos de prova, foi o da NBR 5738/2003. Os corpos de prova foram executados em moldes metálicos que estavam limpos, vedados e untados internamente com uma fina camada de óleo diesel queimado. Para o adensamento das camadas, foi usado uma haste de socamento manual. Para os moldes com dimensões de 10 cm X 20 cm, a moldagem foi feita em 2 camadas de espessuras semelhantes, aplicou 12 golpes em cada uma. E para moldes de 15 cm X 30 cm, a moldagem foi feita em 3 camadas de espessuras semelhantes, e aplicou em cada camada 25 golpes. A última camada passou ligeiramente o topo do molde para finalizar o acabamento da superfície que deve ficar perfeitamente plana e nivelada, conforme figura 15.

Figura 15 – Moldagem dos corpos de prova.



Fonte: TECOMAT (2004).

Os corpos de prova foram mantidos em local protegido e permaneceram nas formas por um prazo de 24 horas. Após o desmolde, os corpos de prova permaneceram imersos até a data de realização de cada ensaio.

3.6.1.3. Etapa III – Ensaio

Após o preparo, o concreto foi submetido no estado fresco, a ensaio de abatimento para determinação da consistência do concreto e ensaio de teor de ar incorporado.

❖ A metodologia utilizada no ensaio de Slump Test, realizado no estado fresco de acordo com a NBR NM 67/1998, consistiu em retirar uma amostra da betoneira de concreto, umedecer o conjunto de cone e base metálica, posicionar o cone sobre a placa e encher o cone em três camadas, compactar cada camada com 25 golpes com auxílio da haste de socamento, retirar o excesso de concreto e regularizar a superfície. Retirou-se o molde verticalmente de forma cuidadosa e mediu o abatimento que se define através da diferença entre a altura da massa desmoldada e a altura do molde.

❖ O método de incorporador de ar, que também foi realizado no estado fresco do concreto foi determinado pelo método gravimétrico através da NBR 9833/2008. Para o cálculo do teor de ar, é necessário a massa específica, que foi determinada pela relação entre a massa de concreto e o seu volume após adensamento, incluindo neste volume o ar eventualmente retido ou propositadamente incorporado a ele. Após definida a massa específica, é calculado o rendimento, volume total dos componentes da betonada, índice de ar e o teor de ar. A precisão do valor obtido depende da precisão dos valores de massa específica dos componentes.

➤ **Rendimento:** é calculado com a seguinte equação 1:

$$R: \frac{M_c + M_f + M_g + M_a}{\rho_{ap}}$$

(Eq.1)

Onde:

R – Rendimento, em metros cúbicos (m³);

M_c – Massa de cimento utilizado na dosagem, em quilogramas (kg);

M_t – Massa total de agregado miúdo utilizado na dosagem, em kg;

M_g – Massa total de agregado graúdo utilizado na dosagem, em kg;

M_a – Massa total de água adicionada na dosagem por, em quilogramas por metro cúbico (kg/m³);

ρ_{ap} – Massa específica aparente do concreto em kg/m³.

➤ **Volume total dos componentes:** é calculado com a seguinte equação 2:

$$v_t = \frac{M_c}{\rho_c} + \frac{M_f}{\rho_f} + \frac{M_g}{\rho_g} + \frac{M_a}{\rho_a}$$

(Eq.2)

Onde:

V_t – Volume total dos componentes, em m^3 ;

ρ_c – Massa específica do cimento kg/m^3 ;

ρ_f - Massa específica do agregado miúdo, g/m^3 ;

ρ_g - Massa específica do agregado graúdo, kg/m^3 ;

ρ_a - Massa específica da água, que deve ser adotada como sendo igual a $1000 kg/m^3$;

- **Índice de ar:** calculado pela seguinte equação 3:

$$Ia = \frac{R}{vt}$$

(Eq.3)

Onde:

Ia- índice de ar

- **Teor de ar:** Calcular com aproximação de 0,1%, utilizando a equação 4:

$$A = \left(1 - \frac{1}{Ia}\right) \times 100$$

(Eq.4)

Onde:

A – Teor de ar do concreto, expresso em porcentagem (%)

❖ No ensaio de compressão, foi utilizado o método da NBR 5739/2007. As faces dos pratos de carga e do corpo de prova foram limpas, e o corpo de prova foi cuidadosamente centralizado no prato inferior. A carga de ensaio foi aplicada continuamente e sem choques, com velocidade de carregamento de 0,3 Mpa/s a 0,8 Mpa/s. Como o ensaio foi realizado em uma máquinas provida de indicação de carga analógica, o carregamento só cessou, quando o recuo do ponteiro de carga foi em torno de 10% do valor da carga máxima alcançada, que foi anotado como carga de ruptura do corpo de prova.

❖ O método de resistência à tração por compressão diametral, foi realizado de acordo com a NBR 7222/1994. O corpo de prova foi colocado na prensa de modo que

ficou em posição de repouso, e foram colocadas duas tiras de madeira entre o prato e o corpo de prova. Para manter o corpo de prova em posição, os pratos foram ajustados através de compressão. A carga foi aplicada sucessivamente com aumento da tensão de tração a uma velocidade de $(0,05 \pm 0,02)$ Mpa/s, até a ruptura do corpo de prova. A resistência à tração por compressão diametral é calculada automaticamente pela prensa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Para realização dos ensaios de caracterização dos materiais, os agregados foram lavados, secos ao ar livre e depois em estufa por 24 horas.

4.1.1. Agregados Miúdos

A Figura 16 mostra os resultados dos ensaios realizados com os agregados miúdos, a areia natural de rio foi chamada de AN e o rejeito de brita foi apontado como AA. O Módulo de Finura da areia natural deu 2,21 e o Diâmetro Máximo igual a 4,8mm, diâmetro máximo é a abertura da malha, em mm, da peneira na qual ficou retida acumulada menor ou igual a 5%, com esse resultado e com o gráfico exposto no Apêndice A, podemos observar que a areia natural não tem boa distribuição granulométrica, ficou dentro dos limites utilizáveis.

O Módulo de Finura do rejeito de brita deu 2,41 e o Diâmetro Máximo igual a 4,8 mm, o que mostra que o material teve uma boa distribuição granulométrica, conforme o Apêndice B, a curva do agregado ficou vários pontos dentro dos limites ótimos de utilização. Observou-se, ainda, que aproximadamente 20% do material utilizado no ensaio, passou a peneira 0,15mm, o que caracteriza esse material passante como material pulverulento.

Figura 16 – Resultados de caracterização.

Material	Módulo de Finura	Diâmetro Máximo	Massa Especifica	Massa Unitária
AN	2,21	4,8	2,59	1,64
AA	2,41	4,8	2,65	1,50
50%AA-50%AN	2,25	4,8	2,61	1,57
75%AN-25%AA	2,05	4,8	2,62	1,61

Fonte: Autora (2017).

Para massa específica, a diferença entre a areia natural e o rejeito de brita foi pouca. A areia natural teve melhor desempenho devido a união de suas partículas, o que torna o material mais denso e conseqüentemente mais pesado. Já a areia natural, é um material mais leve.

Pôde-se perceber que no ensaio de massa unitária, a areia natural teve resultado superior ao rejeito de brita, isso ocorreu devido o quanto ocupa de espaço

com os vazios. O valor encontrado para rejeito de brita foi de 1,50 e para areia natural foi de 1,64.

4.1.2 Agregado graúdo

Conforme Apêndice E, o diâmetro máximo do agregado foi de 19mm, essa informação é válida para dosagem do traço.

No ensaio de massa específica de agregado graúdo, os valores encontrados são considerados satisfatórios já que não ultrapassaram as exigências contidas em norma. Tendo sua massa específica de 2,666 g/cm³.

4.2 DOSAGEM

Através dos resultados da caracterização dos materiais, foi realizada a dosagem dos 4 traços individualmente.

Para o concreto com areia natural (CCR), foi usado 0,3% de aditivo, como mostra a Figura 17, e não foi usada toda a água, com 5,86 litros alcançou a trabalhabilidade desejada.

Figura 17 - Traço CCR.

TRAÇO – ABCP						
CCR	CIMENTO (kg)	AREIA NATURAL (kg)	AREIA ARTIFICIAL (kg)	BRITA 0 (kg)	ÁGUA (l)	ADITIVO 0,3% (g)
	12,41	27,44	-----	33,89	5,86	37,23

Fonte: Autora (2017).

No traço de areia artificial, foi usado 0,3% de aditivo inicialmente e toda a água, e visualmente não estava com a trabalhabilidade adequada, foi aumentada a dosagem de aditivo para 0,5% e feito Slump Test, e deu 7 cm de abatimento, foi adicionado mais 0,2% de aditivo, chegando a um total de 0,7% de aditivo, como mostra a figura 18, e foi realizado novamente o Slump Test e o abatimento deu 10cm.

Figura 18 – Traço CCAA.

TRAÇO – ABCP						
CCAA	CIMENTO (kg)	AREIA NATURAL (kg)	AREIA ARTIFICIAL (kg)	BRITA 0 (kg)	ÁGUA (l)	ADITIVO 0,7% (g)
	12,41	----	28,44	32,90	7,20	86,8

Fonte: Autora (2017).

Para o traço com 50% de areia natural e 50% de rejeito de brita, foi usado a dosagem de 3% de aditivo e foi necessário a quantidade máxima de água, como mostra a Figura 19.

Figura 19 - Traço CC50.

TRAÇO – ABCP						
CC50	CIMENTO (kg)	AREIA NATURAL (kg)	AREIA ARTIFICIAL (kg)	BRITA 0 (kg)	ÁGUA (l)	ADITIVO 0,3%(g)
	12,41	13,72	13,72	33,89	7,20	37,23

Fonte: Autora (2017).

No concreto com 75% de areia natural e 25% de rejeito de brita, foi usada a dosagem de 0,3% de aditivo e com uma quantidade menor do que a estipulada atingiu a trabalhabilidade desejada. Como mostra a Figura 20, usou-se 6,70 litros de água.

Figura 20 – Traço CC75.

TRAÇO – ABCP						
CC75	CIMENTO (kg)	AREIA NATURAL (kg)	AREIA ARTIFICIAL (kg)	BRITA 0 (kg)	ÁGUA (l)	ADITIVO 0,3% (g)
	12,41	19,84	6,61	34,89	7,20	37,23

Fonte: Autora (2017).

Devido à alta capacidade de redução de água do aditivo superplastificante, no traço com areia natural não foi necessária à utilização total da água.

4.3 SLUMP TEST

No ensaio de Slump Test (Figura 21), como era esperado, o traço CCA precisou de maior dosagem de aditivo superplastificante, usou-se 0,7% de aditivo para atingir a trabalhabilidade desejada, o abatimento foi de 10cm. No traço CCR, usou a dosagem mínima que era 0,3% de aditivo e não foi necessário o uso de toda a água para atingir o abatimento, devido à alta capacidade do aditivo de reduzir a quantidade de água. Mesmo com a dosagem de aditivo maior, o traço CCA deu abatimento menor do que o traço CCR, que atingiu 11cm, como mostra a Figura 22, isso ocorreu devido à alta quantidade de finos presente no rejeito de brita, o que diminui a trabalhabilidade.

Figura 21 - Leitura de abatimento.



Fonte: Autora (2017).

O traço CC50 deu abatimento de 9 cm, e o traço CC75 deu abatimento de 10 cm devido a maior quantidade de areia natural que tem melhor trabalhabilidade.

Figura 22 – Resultado de abatimento.

Traço	Abatimento (cm)
CCR	11
CCA	10
CC50	9
CC75	10

Fonte: Autora (2017).

4.4 INCORPORADOR DE AR E MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO

O traço que teve menor massa específica foi o CCR, como mostra a Figura 23, e conseqüentemente o teor de ar incorporado foi o maior, teve menor densidade. O traço que teve menor teor de ar incorporado foi o CC50, e sua massa específica foi a mais elevada.

Figura 23 – Teor de ar incorporado e Massa específica do concreto.

Traço	Teor de ar incorporado (%)	Massa Específica do Concreto (kg/m³)
CCR	1,54	2362,00
CCA	1,05	2395,00
CC50	0,76	2413,00
CC75	1,21	2379,00

Fonte: Autora (2017).

4.5. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

O ensaio de resistência a compressão (Figura 23), foi realizado em 9 corpos de provas de 10x20cm de cada traço, foram rompidos 3 em cada idade (7,14 e 28 dias).

Figura 23 - Rompimento do corpo de prova.



Fonte: Autora (2017).

Os valores máximos de cada traço estão apresentados na figura 24. Nos resultados obtidos, tem-se uma visão geral do quanto o traço CCR, com areia natural teve resultados superiores em todas as idades. O traço que teve menor resistência foi o CCAA, que é o traço com rejeito de brita.

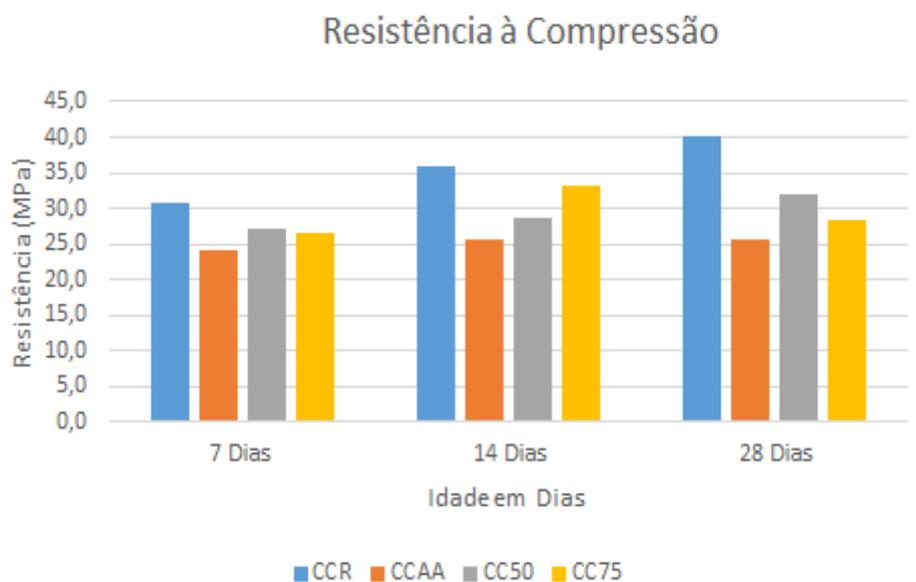
Figura 24 – Resultados de Compressão.

Traços	7 dias (MPa)	14 dias (MPa)	28 dias (MPa)
CCR	30,9	36,0	40,0
CCAA	24,0	25,5	25,7
CC50	27,2	28,8	32,1
CC75	26,4	33,3	28,5

Fonte: Autora (2017).

Todos os traços tiveram resistências superiores ao fck estipulado, que era de 25 MPa. Dentre os traços com substituição parcial, o traço CC50 teve maior desempenho aos 28 dias, chegando a 32,1 MPa, conforme Figura 25.

Figura 25 - Resistência à Compressão.



Fonte: Autora (2017).

4.6. TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Embora o concreto não seja feito para resistir a tração, a resistência a tração é importante para evitar fissuração. Diferente do ensaio de compressão, no ensaio de tração por compressão diametral Figura 27, o traço que teve melhor desempenho foi o CC75. E o traço que teve pior desempenho foi o CCAA, como mostra a Figura 26.

Figura 26 – Resultados de Tração por Compressão diametral.

Traços	28 dias (MPa)
CCR	5,60
CCAA	5,50
CC50	6,30
CC75	7,30

Fonte: Autora (2017).

Para Mehta e Monteiro (1994), a resistência a tração em concretos convencionais, é em torno de 10 a 15% da resistência a compressão, sendo assim, todos estão dentro dos limites aceitáveis.

Figura 27 - Ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: Autora (2017).

4.7. ANÁLISE DE CUSTO

A análise de custo foi realizada para 1m³ de concreto, o traço que teve menor custo foi o CC75, que é 75% de areia natural e 25% de rejeito de brita. O traço com maior custo foi o CCAA, como mostra a Figura 28, traço apenas com rejeito de brita, seu custo foi mais elevado devido a maior quantidade de aditivo.

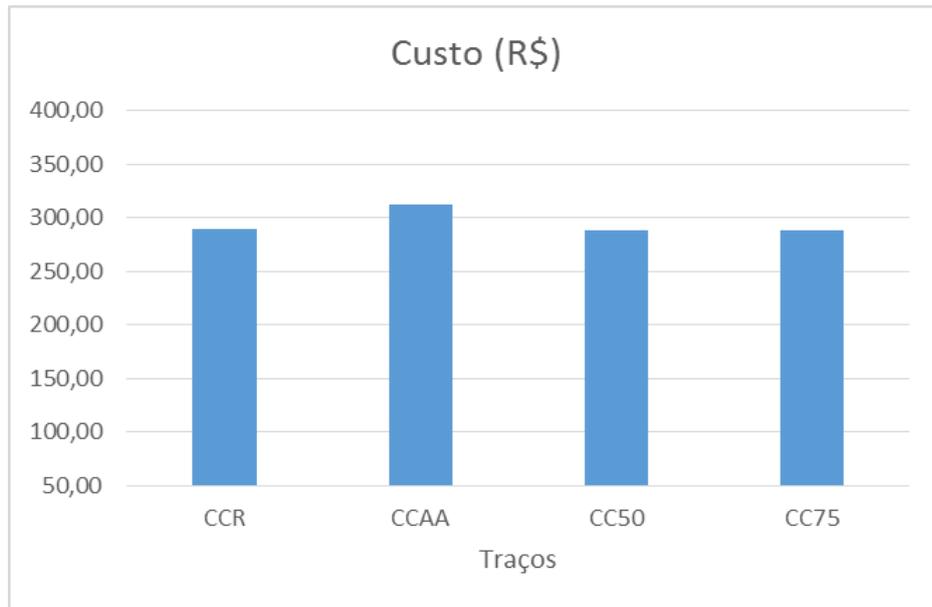
Figura 28 - Comparação de custos.

TRAÇO	CUSTO (R\$/m³)
CCR	290,08
CCAA	312,00
CC50	288,78
CC75	288,24

Fonte: Autor (2017).

A Figura 29 mostra em forma de gráfico o custo de 1m³ de concreto com as proporções de materiais para cada traço.

Figura 29 - Comparação de custos.



Fonte: Autora (2017).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho, teve como objetivo testar o rejeito de brita como material alternativo para substituição do agregado miúdo areia natural, com uso de aditivo superplastificante. Foi analisada a influência, do rejeito de brita em substituição da areia natural, com diferentes proporções, e avaliou-se a qualidade do concreto no estado fresco e estado endurecido, levando-se em conta os aspectos mecânicos, ambientais e econômicos.

Em relação a granulometria, a areia de granito britado pode ser considerada como agregado miúdo médio, e teve melhor distribuição granulométrica, ficou por mais pontos dentro da área de limite ótimo. O módulo de finura da areia de granito britado foi superior ao módulo de finura da areia natural, devido as suas partículas serem maiores.

No ensaio de estado fresco Slump Test, pôde-se observar que para alcançar o abatimento desejado, a areia de granito britado precisou de uma quantidade maior de água, e precisou de maior dosagem de aditivo superplastificante, assim, conseguiu atingir a mesma trabalhabilidade de concreto com areia natural.

O concreto com substituição total de areia de granito britada, teve uma redução da resistência a compressão em relação a areia natural, sua resistência aos 28 dias foi de 25,7MPa foi pouco maior do que o fck estipulado na dosagem do traço, que era 25MPa, enquanto a areia natural alcançou a resistência de 40MPa. O traço CC50, foi o que teve melhor desempenho com uso de areia de granito britado, obtendo a resistência de 32,1MPa.

Ao realizar o ensaio de tração por compressão diametral, pode-se notar que o traço que teve melhor desempenho foi o CC75, e o que teve menor desempenho foi o CCAA, com resistências respectivas de 7,30 MPa e 5,50MPa. O traço CCR, com uso total de areia natural, teve resistência superior apenas de 1,79% do que o traço CCAA, com uso total de areia de granito britado.

Através dos ensaios realizados, pode se concluir, que a areia de granito britado pode ser usada no concreto convencional em substituição parcial e total da areia natural, com uso de aditivo superplastificante. Como foi mostrado, em todos os aspectos, a areia de granito britado foi superior aos limites necessários, no estado fresco teve boa trabalhabilidade e no estado endurecido teve bom desempenho em relação as propriedades mecânicas.

O custo do concreto com substituição parcial, não teve diferenças consideráveis em relação ao de areia natural. O de substituição total, teve um aumento de R\$ 21,92, em comparação com areia natural, esse aumento aconteceu devido a dosagem de aditivo ter sido maior.

Considera-se que o objetivo desta pesquisa foi plenamente alcançado, uma vez que foi comprovada a viabilidade da substituição parcial ou até mesmo total da areia natural pela areia de granito britado, em concretos convencionais. Além das resistências terem sido satisfatórios, como já foi dito, em relação a questão ambiental, essa substituição é muito importante, devido ao fato da demanda por insumos para o concreto ser cada vez maior, e a extração da areia natural trazer graves danos ao meio ambiente.

REFERENCIAL NORMATIVO

ABNT. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 11578 – Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

_____.**NBR 5732**– Cimento Portland Comum, Rio de Janeiro, 1991.

_____.**NBR 7215**– Cimento Portland- Determinação da Resistência à compressão”, Rio de Janeiro, 1996.

_____.**NBR 7251**– Agregados em estado solto– Determinação da massa unitária”, Rio de Janeiro, 1982.

_____.**NBR 9935**– Agregados para concreto, Rio de Janeiro, 2011.

_____.**NBR 11686/1990** – Concreto Fresco – Determinação do teor de Ar pelo Método Pressométrico.

_____.**NBR 12655/2006** – Concreto – Preparo, controle e recebimento.

_____.**NBR 7212/1984** – Execução de concreto dosado em central.

_____.**NBR 7217/1987** – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

_____.**NBR NM 67/1998**: concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone método de ensaio.

_____.**NBR NM 68** (ABNT, 1998): concreto – Determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff.

_____.**NBR NM 248/2003** (ABNT, 2003): - Agregados - Determinação da composição granulométrica.

_____.**NBR NM 52/2003** (ABNT, 2003): - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.

_____.**NBR NM 45/2006** (ABNT, 1998): - Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.

_____.**NBR 5739/2007** (ABNT, 1998): - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

_____.**NBR 7222/1994** (ABNT, 1998): - Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.

_____.**NBR 9833/2008** (ABNT/2008): - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABCP. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland.** 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106)

A INTERMETRIC. **É uma empresa dedicada à fabricação de máquinas de ensaio de materiais destinadas ao segmento da construção civil.** Disponível em: <https://www.google.com.br/search?q=ensaio+de+compressao&espv=2&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjx1Iyo363TAhVIEpAKHRitBIEQ_AUICCGD&biw=1366&bih=638#imgsrc=hckzgdYnzjZPWM> . Acesso em 15.04.2017

ALMEIDA, A. S. Métodos de mineração. In: TANNO, L. C.; SINTONI, A. (Coord.). **Mineração e município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003. P. 61- 85. (Publicações IPT, 2850).

ALMEIDA, Salvador L. M. et al. **Produção de Areia Manufaturada em Usina Piloto.** In: Anais do II SUFFIB – Seminário: O Uso da Fração Fina da Britagem. São Paulo, 2005.

ALMEIDA, S. L. M. **Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de Santo Antônio de Pádua, RJ para produção de brita e areia.** Tese de Doutorado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas, 118p. São Paulo, 2005.

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de construção: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório.** São Paulo: Pini, 2012. 457p

ABCP. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland.** 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106)

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211: Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 1983.

BARBOSA, M. T. G.; Coura C. G.; Mendes, L. **O Ambiente Construído, Estudo sobre areia artificial em substituição à natural para confecção de concreto.** Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 51-60, out./dez. 2008.

BASTOS, S. R. B. – **Uso da Areia Artificial Britada em Substituição Parcial à Areia Fina Para a Produção de Concretos Convencionais.** Dissertação de mestrado, 46º Congresso Brasileiro do Concreto– Vitória, IBRACON, 2004.

BASTOS, Sandra Regina Bertocini. **Uso da Areia Artificial Basáltica em Substituição Parcial à Areia Fina para a Produção de Concretos Convencionais.** Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/84274/212200.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 28.03.2017

BAUER, L.a.falcão. **Materiais de construção.** 5. ed. Rio de Janeiro: Gen, 1994. 2 v *Building Materials*, Oxford, vol. 17, p.259 – 268, Junho de 2003.

BAUTECH Super Plastificante (2016). Disponível em <http://www.bautechbrasil.com.br/produtos/aditivos-para-argamassas-e-concretos/bautech-super-plastificante>.

CANTO, E. L. **Minerais, minérios, metais: de onde vêm? Pra onde vão?. São Paulo:** Moderna, 2001

CETEM - **Centro de Tecnologia Mineral.**<www.cetem.gov.br>. Acesso em 18.04.2017

CHAVES, A. P. **Teoria e prática do tratamento de minérios.** São Paulo: Signus, 1999. 3v.

CONAMA .**Resolução Conama nº 001, de 23 de janeiro de 1986**
<www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html> . Acesso em 13.04.2017

CONCRETO E CONSTRUÇÕES: **concreto: material construtivo mais consumido no mundo.** São Paulo: Ibracon, v. 53, 2009. Disponível em:
<http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2017.

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).

COUTINHO, A. S. **Fabrico e Propriedades do Betão.** Vol. I. ed. LNEC. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 1997. 610 p.

CHIODI FILHO, C. Situação atual e perspectivas brasileiras no setor de rochas ornamentais. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS. Informe 02/2008 – p.01-38, fevereiro, 2008.

ESCOLA ENGENHARIA. **Tipos de cimentos – Características e especificações**
<<https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-cimentos>> . Acesso em 13.04.2017

FILHO, Milton Bezerra das Chagas. **Ensaio de resistência à tração por compressão diametral em corpo de prova de concreto laterítico. Pesquisas do Departamento de Engenharia Civil da UFCG. Campina Grande-PB.**
Disponível em:<http://www.dec.ufcg.edu.br/miltoncf/foto_amplia.php?id=86> . Acesso em 12.04.2017

FORTEX QUIMICA (2012). Disponível em: <http://fortexquimica.com.br/aditivo-superplastificante-retardador-de-pegas-para-concreto.html>

GLENCROSS-GRANT, P. **Survey of building sands in Australia.** *Construction and Gobbo, L. A.; Mello, I. S. C.; Queiróz, F. C.; Frascá, M. H. B. O.* Aproveitamento de resíduos industriais. A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo: diretrizes e ações para inovação e competitividade. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2004, p.129-152.

GUERRA, Ruy Serafim de Teixeira. **Ensaio do Slump Test - Ensaio de Abatimento**. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/08/afinal-slump-test-para-que.html>> . Acesso em 30.03.2017

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**.

KAEFER, Luís Fernando. **A Evolução do Concreto Armado** São Paulo dezembro – 1998.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto –Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, 1994.

MOURA, W. A.; GONÇALVES, J. P.; LEITE, R. S. Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso, *Sitientibus*, jan/jun 2002, n. 26, p.49-61.

NEVES, Ligia. **Aplicação dos finos gerados pela produção de pedras britadas graníticas no concreto pré-misturado em substituição às areias naturais**. Dissertação de mestrado em Engenharia Mineral pela escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Trad. Savador E. Giamusso. Ed. Pini, São Paulo, 1997.

NOGUEIRA, Geovane Rangel Ferreira. **Extração de Areia em Cursos d'água e seus Impactos: Proposição de uma Matriz de Interação**. Disponível em: <http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC_Vers%C3%A3oFinal.pdf> Acesso em 11 de abril de 2017.

OLIVEIRA, Aldo de Almeida. **Determinação da Composição Granulométrica de Agregados para Concretos e Argamassas**. Disponível em: <http://www.deecc.ufc.br/Download/TB788_Materiais_de_Construcao_Civil_I/Apostilha%20materiais%20I.pdf> . Acesso em 25.03.2017

PEDROSO, L.F: **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. Revista Concreto & Construções, 2009. 6p. Edição no 53. Acesso em:

PENNA, Paulo C. V. **Expansão da Mineração de Agregados para a Construção Endossa Crescimento da Economia**. IBRAM, Brasília, 2010.

PISSATO, E.; SOARES, L. **Utilização de finos de pedreira em misturas de solo-cimento**. In: II SUFFIB -SENINÁRIO: o Uso da Fração Fina da Britagem. 2005. São Paulo. Artigos em CDROM. São Paulo, 2005.

PRODUTOS QUARTZOLIT WEBER, **Aditivos Plastificante Acelerador 2017**. <https://www.weber.com.br/reparos-reforc-os-e-protecao-deconcreto/produtos/grautes-adesivos-e-complementos/aditivo-plastificante-quartzolit.html>

REIS, R. L. G. **Agregados para Construção Civil**. Brasil Mineral. nº274, p. 26-29, 2008.

REPETTE, W. L.; ISAIA, GC. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. IBRACON, Foz do Iguaçu, 2001.

SALVADOR Luiz Matos de Almeida - FERREIRA Gilson Ezequiel - SILVA Valesca da Silveira - TAVARES Luiz Marcelo - TOLEDO Romildo – CUNHA Emerson Reikdal - GONÇALVES Jardel. **Pesquisadores desenvolvem processo de produção de areia artificial que beneficia construção civil e preserva a natureza**. Disponível em:< <http://www.canalciencia.ibict.br/pesquisa/0210-Areia-artificial-preserva-natureza.html>> . Acesso em 14.04.2017

SAMPAIO J.A. e Almeida, S.L.M. **Amostragem na pedreira Pedra Sul. CETEM/MCT (RI 003/2002)**. Rio de Janeiro. 2002.

SANTOS, D. N. **Extração de areia e dinâmica sedimentar no alto curso do rio Paraná na região de Porto Rico, PR**. Dissertação de mestrado, Universidade Guarulhos, Guarulhos, SP: 2008.

SILVA Cleriston Barbosa da, COSTA Dary Werneck da, BASTOS Sandra Regina Bertocini. **Estudo de caso – traços de concreto para uso em estruturas pré-moldadas**. 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado São Carlos, 2005.

SOUZA, A. **Avaliação do ciclo de vida da areia em mineradora de pequeno porte, na região de São José do Rio Preto –SP**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP: 2012.

SPÍNOLA, V.; GUERREIRO, L. F.; BAZAN, R. A **Indústria de Rochas Ornamentais. Desenharia** – Agência de Fomento do Estado da Bahia, Estudo de Mercado 02/04, Salvador, set. 2004.

TAKADA, Kazunori. **Influence of admixtures and mixing efficiencing on the properties pof self compacting concrete: The birth of self. Compacting Contrete in the Nesther tand**. Delf, 2004, 22op. Doctoral Thesis. Delf University, The Netherlands.

TANNO, L. C. et al. Recursos Minerais: Conceitos e Panorama de Produção e Consumo. In: TANNO, L. C.; SINTONI, A. (Coord.). **Mineração e município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003. P. 9-14. (Publicações IPT, 2850).

VALVERDE, Fernando M. **Agregados para Construção Civil. In: Balanço Mineral Brasileiro 2001**. Brasília: DNPM, 2001.

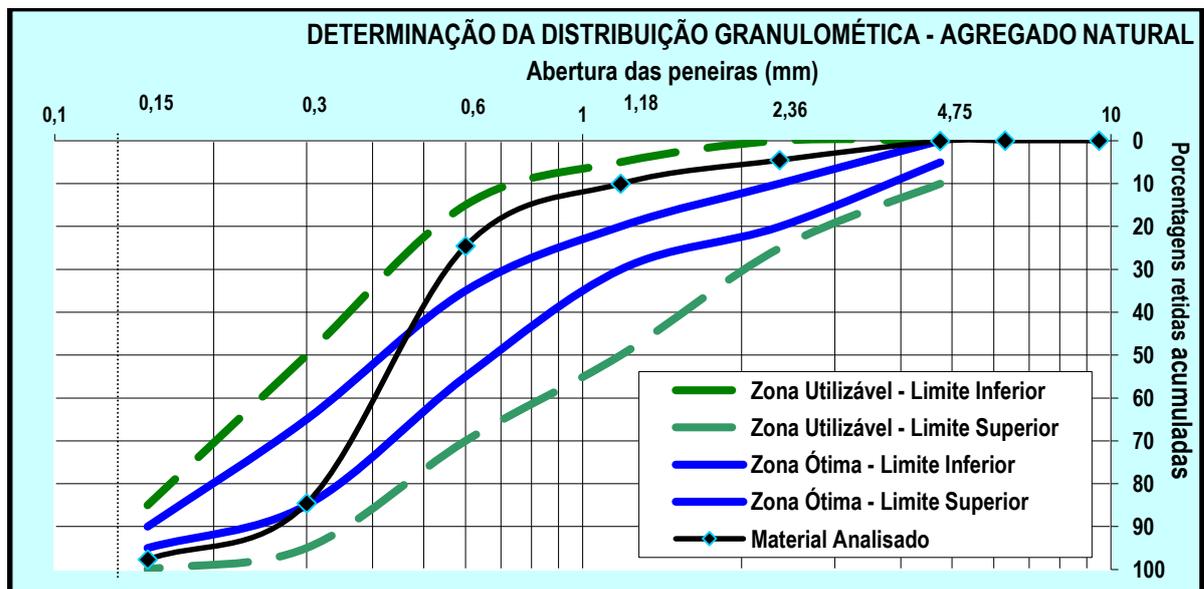
VARELA, M. L. N. M. **Apostila de materiais de construção curso técnico em edificações IFRN / Campus Natal Central**. 2016.

APENDICÊS

APÊNDICE A- Granulometria do Agregado Miúdo Natural

PENEIRAS	1ª DETERMINAÇÃO		Faixas em relação as % retidas acumuladas				
	MASSA	% RETIDA	Limites Inferiores		Limites Superiores		
(mm)	RETIDA (g)	Simple s	Acumul .	Zona	Zona	Zona	Zona
9,5		-	-	Utilizável	Ótima	Utilizável	Ótima
6,3		-	-	0	0	0	0
4,8	0,6	0,12	0,12	0	0	0	7
2,4	22,1	4,42	4,54	0	0	5	10
1,2	27,5	5,50	10,04	0	10	20	25
0,6	72,9	14,58	24,62	5	20	30	50
0,3	300,0	60,00	84,62	15	35	55	70
0,15	65,3	13,06	97,68	50	65	85	95
FUNDO	11,6	2,32	100,00	85	90	95	100
TOTAL	500,00	100,00		100	100	100	100

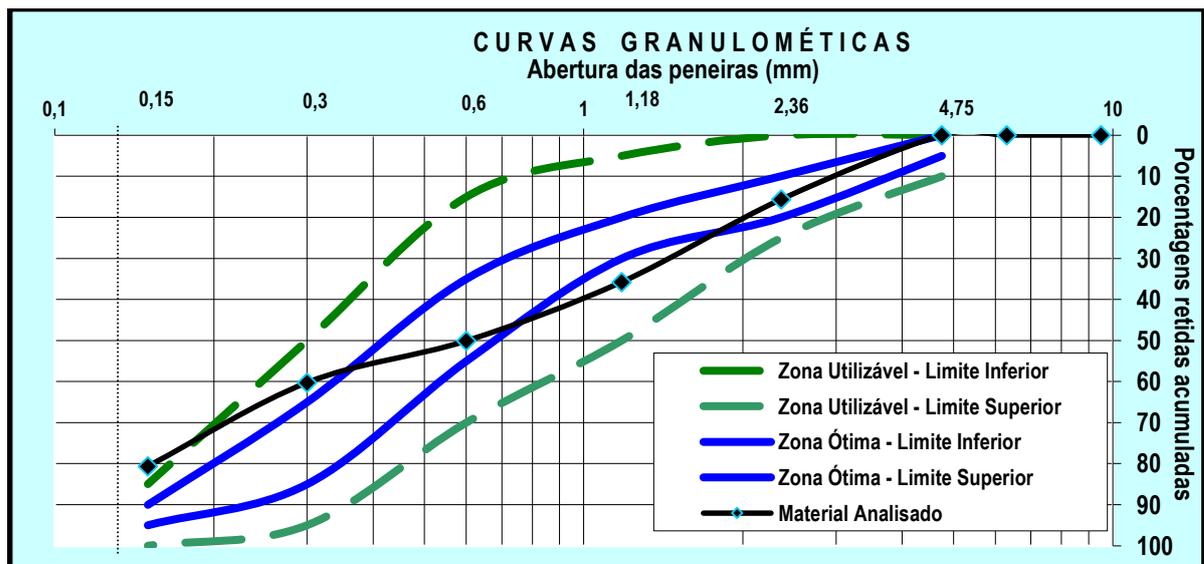
MÉTODO	ENSAIO	RESULTADO
NBR NM 248/2003	Módulo de Finura (MF)	2,21
NBR NM 248/2003	D. Max (mm)	4,8



APÊNDICE B- Granulometria do Agregado Miúdo Rejeito de Brita

PENEIRAS	1ª DETERMINAÇÃO		Faixas em relação as % retidas acumuladas				
	MASSA	% RETIDA	Limites Inferiores		Limites Superiores		
(mm)	RETIDA (g)	Simple	Acumul	Zona	Zona	Zona	Zona
		s	.	Utilizáve	Ótim	Utilizável	Ótim
9,5		-	-	l	a		a
6,3		-	-	0	0	0	0
4,8	0,0	-	-	0	0	0	7
2,4	78,3	15,66	15,66	0	0	5	10
1,2	100,5	20,10	35,76	0	10	20	25
0,6	71,7	14,34	50,10	5	20	30	50
0,3	50,8	10,16	60,26	15	35	55	70
0,15	101,9	20,38	80,64	50	65	85	95
FUNDO	96,8	19,36	100,00	85	90	95	100
TOTAL	500,00	100,00		100	100	100	100

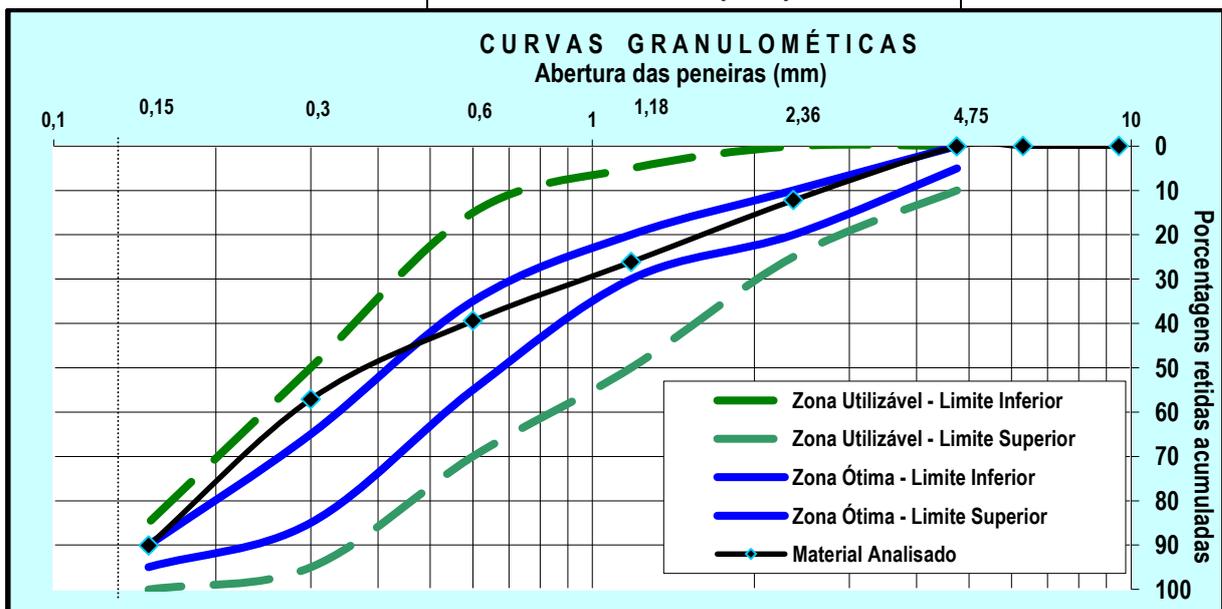
MÉTODO	ENSAIO	RESULTADO
NBR NM 248/2003	Módulo de Finura (MF)	2,41
NBR NM 248/2003	D. Max (mm)	4,8



APÊNDICE C- Granulometria do Agregado Miúdo com 50% de Rejeito de Brita e 50% de Areia Natural

PENEIRAS	1ª DETERMINAÇÃO			Faixas em relação as % retidas acumuladas			
	MASSA	% RETIDA		Limites Inferiores		Limites Superiores	
(mm)	RETIDA (g)	Simple s	Acumul .	Zona	Zona	Zona	Zona
9,5		-	-	Utilizável	Ótima	Utilizável	Ótima
6,3		-	-	0	0	0	0
4,8	0,4	0,08	0,08	0	0	0	7
2,4	60,7	12,14	12,22	0	0	5	10
1,2	69,6	13,92	26,14	0	10	20	25
0,6	66,5	13,30	39,44	5	20	30	50
0,3	88,3	17,66	57,10	15	35	55	70
0,15	165,2	33,04	90,14	50	65	85	95
FUNDO	49,3	9,86	100,00	85	90	95	100
TOTAL	500,00	100,00		100	100	100	100

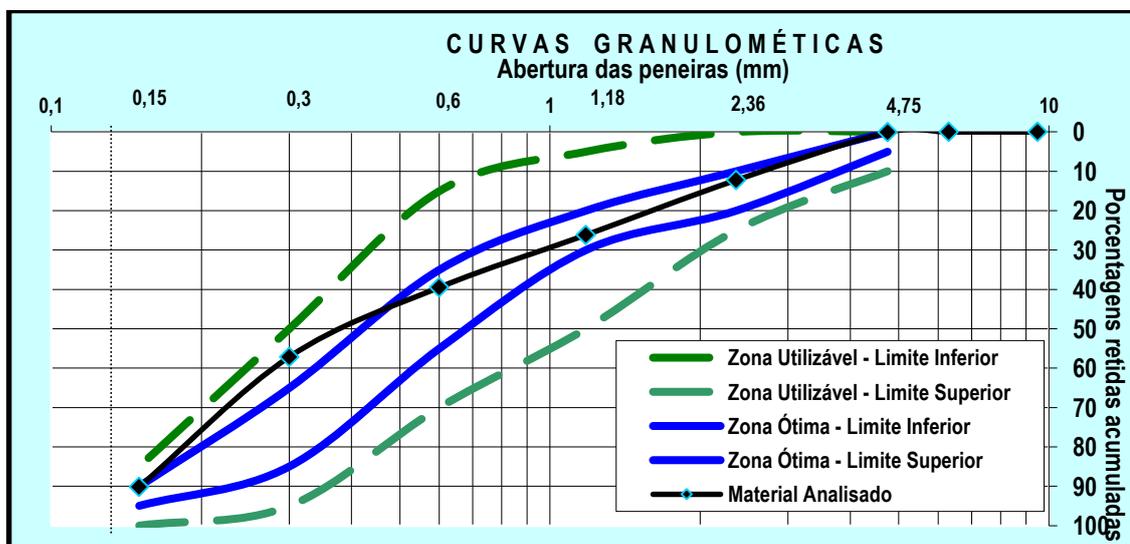
MÉTODO	ENSAIO	RESULTADO
NBR NM 248/2003	Módulo de Finura (MF)	2,25
NBR NM 248/2003	D. Max (mm)	4,8



APÊNDICE D- Granulometria do Agregado Miúdo com 25% de Rejeito de Brita e 75% de Areia Natural

PENEIRAS	1ª DETERMINAÇÃO		Faixas em relação as % retidas acumuladas				
	MASSA	% RETIDA	Limites Inferiores		Limites Superiores		
(mm)	RETIDA (g)	Simple s	Acumul .	Zona	Zona	Zona	Zona
9,5		-	-	Utilizável	Ótima	Utilizável	Ótima
6,3		-	-	0	0	0	0
4,8	0,1	0,02	0,02	0	0	0	7
2,4	46,1	9,22	9,24	0	0	5	10
1,2	47,9	9,58	18,82	0	10	20	25
0,6	56,1	11,22	30,04	5	20	30	50
0,3	121,3	24,26	54,30	15	35	55	70
0,15	193,0	38,60	92,90	50	65	85	95
FUNDO	35,5	7,10	100,00	85	90	95	100
TOTAL	500,00	100,00		100	100	100	100

MÉTODO	ENSAIO	RESULTADO
NBR NM 248/2003	Módulo de Finura (MF)	2,05
NBR NM 248/2003	D. Max (mm)	4,8



APÊNDICE E- Granulometria do Agregado Graúdo

GRANULOMETRIA DO AGREGADO GRAÚDO						
Peneira (mm)	1° determinação		2° determinação		% retida média	% retida acumulada
	Peso retido	% retida	Peso retido	% retida		
100,0	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
75,0	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
50,0	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
25,0	0,0	0,0%	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
19,0	15,3	0,3%	12,6	0,3%	0,3%	0,3%
12,5	2551,8	51,0%	2658,3	53,2%	52,1%	52,4%
9,5	1003,2	20,1%	939,1	18,8%	19,4%	71,8%
6,3	913,6	18,3%	816,2	16,3%	17,3%	89,1%
FUNDO	515,9	10,3%	573,6	11,5%	10,9%	100,0%
TOTAL	4999,8	-	4999,8	-	-	-
Diâmetro Máximo			19mm			

APÊNDICE F- Massa Específica do Agregado Miúdo Natural e Artificial

MASSA ESPECÍFICA AGREGADO NATURAL		
Picnômetro nº	1	2
Massa picnômetro +agregado+água,t ^o c de ensaio (g)	1324,9	1324,1
Massa picnômetro cheio de água (g)	1202,1	1202,1
Massa material seco (g)	200	200
Massa específica da água, t ^o c de ensaio (g/cm ³)	0,9981	0,9981
Massa específica (g/cm ³)	2,61	2,56
Massa específica média (g/cm ³)	2,59	

MASSA ESPECÍFICA AGREGADO ARTIFICIAL		
Picnômetro nº	1	2
Massa picnômetro +agregado+água,t ^o c de ensaio (g)	1326,5	1401,7
Massa picnômetro cheio de água (g)	1202,1	1202,1
Massa material seco (g)	200	200
Massa específica da água, t ^o c de ensaio (g/cm ³)	0,9981	0,9981
Massa específica (g/cm ³)	2,645	2,629
Massa específica média (g/cm ³)	2,65	

APÊNDICE G- Massa Unitária do Agregado Miúdo Natural e Artificial

MASSA UNITÁRIA AGREGADO MIÚDO NATURAL				
Determinação	Volume do recipiente (dm³)	Massa do recipiente + amostra (kg)	Massa do recipiente (kg)	Massa unitária (kg/dm³)
1	15	32,1	7,55	1,64
2	15	31,95	7,55	1,63
3	15	32,30	7,55	1,65
MÉDIA	15	32,12	7,55	1,64

MASSA UNITÁRIA AGREGADO MIÚDO ARTIFICIAL				
Determinação	Volume do recipiente (dm³)	Massa do recipiente + amostra (kg)	Massa do recipiente (kg)	Massa unitária (kg/dm³)
1	15	30,95	7,55	1,53
2	15	29,90	7,55	1,47
3	15	30,45	7,55	1,49
MÉDIA	15	30,50	7,55	1,50