

# **ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE CASCALHO DO RIO IVAÍ-PR EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E TOTAL AO AGREGADO GRAÚDO EM CONCRETOS CONVENCIONAIS**

Tiago Farhat Mangialardo (UNINGÁ) E-mail: tiago\_farhat@hotmail.com

Marisa Fujiko Nagano (UNINGÁ/UEM) E-mail: nfmarisa@hotmail.com

Hugo Sefrian Peinado (UEM) E-mail: hspeinado@gmail.com

**Resumo:** O presente estudo objetiva analisar e comparar duas possibilidades de substituição do agregado graúdo em concretos convencionais: o primeiro produzido com brita basáltica da região de Maringá-PR e o segundo com cascalho de Loanda-PR. Vários tipos de ensaios foram avaliados, tanto nos materiais, bem como nos agregados e ainda, no concreto produzido com eles. Os concretos foram submetidos a ensaios de tronco de cone (slump test) no estado fresco, e no estado endurecido foram submetidos a ensaios de compressão axial e tração por compressão diametral, sendo estes os critérios para análise dos resultados. No estado fresco, foi possível observar a diferença na trabalhabilidade do concreto ao ser empregado o cascalho, por possuir formato e textura que favorecem esta propriedade do concreto fresco, diferentemente do formato da brita, que possui textura porosa. Ao serem submetidos a esforços na prensa hidráulica, foi possível compreender como cada agregado interferiu na resistência do concreto. No teste de compressão axial, foi possível aferir diferença significativa nos resultados, devido ao diferente emprego de agregado graúdo, porém na última data de rompimento, o cascalho se mostrou mais aderente, diminuindo significativamente a diferença de resistência em relação ao concreto produzido com brita basáltica, como também no ensaio de tração por compressão diametral. Logo, pela pequena diferença, foi possível concluir que o cascalho tem viabilidade para ser empregado na região da qual é extraído.

**Palavras-chave:** Cascalho; Brita basáltica; Compressão; Tração

## **STUDY OF USE IVAÍ RIVER AGGREGATE COARSE IN PARTIAL AND TOTAL REPLACEMENT IN CONVENTIONAL CONCRETE**

**Abstract:** This study aims to analyze and compare two types of concrete, one made with basaltic gravel of the Maringá-PR region and another with gravel Loanda-PR and an analysis of a concrete made with the composition of the two aggregates. Various types of assays were made both in materials aggregates and even the concrete produced with them. Concrete underwent truncated cone tests (slump test) fresh, and in the hardened state were submitted to axial compression tests and traction by diametrical compression, which are the criteria for analysis of results. In the fresh state it observed a difference in the workability of concrete to be used gravel, for possessing shape and texture that favor this property of fresh concrete, unlike the gravel format which has porous texture. When subjected to efforts in hydraulic press was possible to understand how each household interfered in concrete strength. The axial compression test was possible to measure significant differences in results due to different use of coarse aggregate but the last date of disruption, the gravel was more adherent, significantly decreasing the resistance difference compared to concrete produced with crushed basaltic as well as for the tensile test for diametrical compression. Finally, for the the small difference, it was concluded that the gravel is viable to be employed in the region in which it is extracted, it provides more cost-effective.

**Keywords:** Gravel; Basaltic gravel; Compression; Traction.

### **1. INTRODUÇÃO**

A escolha de uma rocha natural como agregado graúdo a ser utilizado como material na confecção do concreto, está ligado a vários fatores, entre eles se destacam critérios técnicos e econômicos. Os critérios econômicos estão ligados à disponibilidade de material nas proximidades de onde será utilizada, além de considerar o custo. As propriedades e características do material devem ser conhecidas para que atenda aos fins pretendidos<sup>1</sup>. Logo, é de suma importância que haja estudos para identificar a qualidade do agregado a ser utilizado

caso seja desconhecido, ainda, como reconhecer a disponibilidade deste, com a finalidade de evitar fretes de longa distância, o qual encarece significativamente o material<sup>2</sup>.

Em todo tipo de mercado existe a necessidade de o fator qualidade caminhar ao lado do custo, ainda mais na engenharia, área que envolve grandes obras orçadas em milhões de reais e, ainda, que lida com ameaças continuamente crescentes devido à escassez de recursos naturais. Ainda, é necessário enfatizar, que algumas regiões, pode não haver a fácil disponibilidade de certos recursos, ou produtos, sendo estes encarecidos por conta do frete, podendo diminuir e até mesmo cessar a viabilidade de um empreendimento<sup>3</sup>.

Referente aos agregados, os mesmos são classificados de acordo com sua origem, podendo ser artificiais, aqueles que são alterados pelo homem para atingir a condição ideal; e, os naturais, que são encontrados na natureza em formato pronto para serem utilizados<sup>4</sup>.

Devido à imensa extensão territorial que nós possuímos, existe uma grande importância, a de que sejam realizadas pesquisas com o intuito de explorar materiais existentes nas regiões, para que possamos os utilizar da maneira mais econômica possível<sup>5</sup>.

Sendo assim, é de suma importância o conhecimento dos materiais de construção à serem empregados, tanto em estruturas como no acabamento de pequenas ou grandes obras. Às vezes, por descuido ou até mesmo por falta de conhecimento das propriedades de certos materiais, por mais que seja bem projetado e executado um elemento numa obra, o mesmo pode vir a apresentar patologias, comprometendo a função do mesmo. São duas as condições que determinam os materiais a serem escolhidos, sendo elas as condições técnicas, que estão ligados a resistência, trabalhabilidade e durabilidade, e as econômicas, que estão envolvidas não apenas ao custo da aquisição do material, como também ao custo benefício, que depende da durabilidade e manutenção do mesmo<sup>6</sup>.

Enfim, a mistura homogênea de cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água fazem nascer o tão conhecido concreto, e, com o tempo, essa mistura endurece, apresentando resistência mecânica, tendo maior resistência à compressão e uma menor resistência em outras solicitações<sup>7</sup>.

De acordo com a ABNT NBR (12655/2006)<sup>8</sup>, os concretos podem ser classificados por meio de sua massa específica, sendo divididos em três tipos:

1. Concreto normal: concreto endurecido que quando seco em estufa, apresenta massa específica maior que  $2.000 \text{ kg/m}^3$ , não excedendo  $2.800 \text{ kg/m}^3$ .
2. Concreto leve: concreto endurecido que quando seco em estufa, apresenta massa específica não menos que  $800 \text{ kg/m}^3$  porém, sem exceder  $2.000 \text{ kg/m}^3$ .
3. Concreto pesado: concreto endurecido que quando seco em estufa, apresenta massa específica superior a  $2.800 \text{ kg/m}^3$ .

Quanto ao cimento utilizado no concreto, o principal composto é o clínquer<sup>9</sup>. Logo, leva em sua composição, matérias-primas como calcário e argila, que geralmente são obtidas de jazidas próximas de fábricas de cimento. A argila moída é misturada em proporções adequadas com a rocha calcária, que é britada e posteriormente moída. A mistura acontece em um forno giratório de grande comprimento e diâmetro, alcançando uma temperatura interna de  $1.450^{\circ} \text{C}$ . Tal mistura, devido ao calor intenso, sai do forno em forma de pelotas, que ainda incandescentes, são resfriadas bruscamente para depois serem moídas e transformadas em pó. Com essa peculiaridade ele tem o poder de desenvolver uma reação química na presença da água, na qual se torna pastoso e vai endurecendo aos poucos, adquirindo elevada durabilidade e resistência, e quando retorna à presença da água não perde estas últimas características<sup>9</sup>.

Para Oliveira (2013)<sup>10</sup>, com a pulverização do clínquer, constituído principalmente de silicatos hidráulicos de cálcio e certa proporção de sulfato de cálcio natural, podendo ainda conter adições de outras substâncias que alteram suas propriedades ou facilitam seu emprego.

Em relação aos agregados presentes no concreto, podem ser explorados desde jazidas até leito de rios, podendo ser rochas britadas, seixos, cascalhos e areias. São classificados como naturais e artificiais, conforme citado anteriormente<sup>4</sup>.

O termo "agregado" é utilizado na tecnologia do concreto, pois em outros ramos de construção possui nomes diferentes dependendo de cada caso<sup>11</sup>.

Sua aplicação é variada, sendo usados para compor solos e pistas de rolamento, lastro de vias férreas, base de calçamentos entre outras inúmeras utilizações, além da produção de concreto<sup>12</sup>.

Ao final do século XIX, se afirmava que os agregados não possuíam as propriedades necessárias para interferir nas propriedades do concreto. E, que era somente para o baratear. Logo foi percebido que muitas das propriedades do concreto sofrem influência devido às características do agregado, tais como porosidade, composição granulométrica, absorção de água, textura e forma dos grãos, resistência mecânica entre outras<sup>13</sup>.

Quanto à dimensão dos grãos, são classificados de acordo com o intervalo granulométrico retido e passante em peneiras padronizadas. De acordo com a ABNT NBR (7211:2009)<sup>14</sup>, são classificados em: Agregado miúdo: quando os grãos passam pela peneira de 4,75 mm de abertura de malha e são retidos na peneira de 150 µm de abertura de malha, em ensaio realizado conforme ABNT NBR NM (248:2003)<sup>15</sup> - Agregados - Determinação da Composição Granulométrica.

Agregado graúdo: quando os grãos passam pela peneira de 75 mm de abertura de malha e permanecem retidos na peneira de 4,75 mm de abertura de malha. Em ensaio realizado conforme norma citada no tópico anterior<sup>15</sup>.

Em relação aos agregados graúdos há uma série de características e propriedades importantes a serem avaliadas no que tange à sua qualificação para utilização na confecção do concreto. Como se sabe atualmente que os agregados possuem características de grande importância na qualidade do concreto, devemos os avaliar para que assim sejam enquadrados, da melhor maneira possível, na utilização do traço, visando melhorar a qualidade juntamente à economia. Serão mencionadas na sequência, as propriedades referentes à pesquisa.

Petrucci (1998)<sup>4</sup> explana que cada tipo de agregado apresenta uma propriedade diferente, sendo positiva ou negativa. A escolha do agregado dependerá:

- a) do tipo de obra à executar;
- b) da facilidade ou dificuldade de concretar a peça;
- c) dos meios do qual se dispõe para adensamento do concreto;
- d) do treinamento dos operários;
- e) das propriedades finais que se pretendam obter;
- f) do custo do agregado.

De acordo com Neto (2011)<sup>13</sup>, o que mostra a distribuição dos grãos que constitui um agregado, é a Composição Granulométrica. Geralmente se dá em porcentagens individuais ou acumuladas retidas em cada peneira de série intermediária ou normal, conforme estabelecido pela ABNT NBR (7211:2009)<sup>16</sup>.

Referente ainda à norma supracitada, ao realizar o ensaio de composição granulométrica, é possível obter valores referentes à dimensão máxima característica do agregado, no qual, de acordo com a ABNT NBR (7211:2009)<sup>16</sup> é definido da seguinte forma: "Grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa."

Para obter um concreto o mais denso possível, é necessário diminuir ao máximo o índice de vazios do mesmo, resultando num concreto compacto, resistente e durável. Portanto, para

isto, há a necessidade da utilização de agregados com granulometria contínua, ou graduada, obtendo maior compactação<sup>17</sup>.

Quanto à água, além de elemento essencial para a vida, é também essencial para produção e cura do concreto, proporcionando características e propriedades vitais para atingir um concreto de boa aplicabilidade, durabilidade e resistência, já que ela está ligada diretamente a estes fatores<sup>18</sup>.

Água de amassamento é o termo empregado para a água utilizada na produção de concreto, esta, por fim, deve ser levada em consideração, pois a água que contém impurezas pode danificar no tempo de pega do cimento, na resistência à compressão do concreto e na corrosão da armadura do concreto armado, e ainda, entre outros fatores<sup>19</sup>.

Em relação à forma dos agregados, depende da sua geometria podendo ser angulosa, achatada, arredondada ou alongada. Suas formas variam de acordo com sua origem ou sua forma de processamento, como exemplo, as britas possuem formato anguloso, enquanto o cascalho é mais alongado e achatado<sup>20</sup>.

Quanto à textura dos agregados, é mais adequado que o mesmo seja áspero, pois assim permitirá maior facilidade em aderir à pasta de cimento. Neto (2011)<sup>13</sup> ressalta que superfície muito lisa, especialmente em agregados graúdos, acaba por diminuir a resistência à tração do concreto. Enquanto nos ásperos e nos angulosos, como a pedra britada possui uma melhor resistência, porém devem ser estudados traços para que aperfeiçoe seu desempenho.

Contudo, na produção do concreto, o agregado pode ser utilizado em diversas condições de umidade, de acordo com sua exposição<sup>5</sup>.

Quando o agregado está saturado, ou seja, com todos os poros preenchidos com água, porém com a superfície seca, esse se encontra na condição saturado com superfície seca (SSS). Ao se encontrar saturado e com a superfície aparentemente úmida, pode se afirmar que está em condição saturada. Se posto em aquecimento à estufa (100°C) para que haja a remoção de toda a água evaporável, se encontrará na condição seco em estufa. Quando posto ao ar e este entrar em equilíbrio com a umidade ambiente, estará na condição seco ao ar<sup>13</sup>.

Quanto à massa específica do concreto, a mesma está relacionada à massa específica absoluta do agregado, afinal, este representa aproximadamente 80% da massa do concreto, dessa maneira, com a especificação do concreto a ser utilizado em determinada obra, é possível utilizar agregados leves para adquirir um concreto leve, para fins não estruturais ou até concreto leve estrutural. Há a possibilidade de se utilizar agregados pesados à fim de obter concretos muito densos para ambientes que necessitam de blindagem, por exemplo<sup>11</sup>.

Em relação à massa específica aparente, se procura obter agregados que apresentem distribuição granulométrica, à fim de oferecer o menor índice de vazios (ou máxima massa específica aparente) possível, ou seja, quanto mais compacto, melhor<sup>11</sup>.

O município de Loanda está situado no noroeste do estado do Paraná à aproximadamente 160 km de distância do município de Maringá, no qual é de onde se importa maior parte da brita basáltica necessária para produção de concreto, encarecendo o agregado graúdo e conseqüentemente o concreto com este produzido. Portanto, próximo aquele, está ocorrendo a exploração de agregados naturais como o cascalho, o qual apresenta menor custo, cerca de 40% mais barato em relação à brita.

Logo, o presente estudo terá o intuito de analisar características físicas e técnicas do concreto confeccionado com o cascalho extraído do rio Ivaí, e como parâmetro, o comparar ao concreto produzido com brita basáltica. Além de um concreto com a composição dos dois agregados, englobado diretamente à um contexto referente à maior viabilidade econômica na confecção do concreto em relação ao custo do agregado graúdo natural, na região da cidade de Loanda-PR.

Para isso, serão realizados ensaios laboratoriais com o intuito de mostrar, com maior clareza, a qualidade do cascalho extraído do rio Ivaí. E ainda, o presente estudo visa gerar uma

análise do comportamento de tal material na produção do concreto, o comparando ao concreto produzido com a brita de origem basáltica, além de parâmetro, contudo, é possível concluir se o material estudado poderá servir como substituto da brita na região.



Figura 1 - Cascalho Do Rio Ivaí



Figura 2 - Brita de basalto de Maringá

### 1.1 Resistência à Compressão Axial do Concreto

A Resistência à Compressão Axial é utilizada como parâmetro de qualidade e dimensionamento do concreto. A mesma é determinada por ensaios de compressão axial de corpos de prova moldados para tal finalidade<sup>21</sup>.

Em relação às dimensões dos corpos de prova que são normatizados para o ensaio a compressão axial, são permitidos mais de um formato. Sendo assim especificados pelas normas americanas e nacionais, métodos para o adensamento manuais e mecanizados dos corpos de prova. No entanto, as nacionais indicam o adensamento manual como o melhor procedimento para execução do ensaio. Para o rompimento dos corpos de prova por carga axial, a superfície deste deve estar plana e perpendicular ao eixo, resultando em um carregamento uniforme distribuído, não alterando no valor da resistência do corpo de prova<sup>21</sup>.

O conhecimento da resistência do concreto à compressão axial é de extrema importância para engenharia em geral, devido à tal propriedade pode ocasionar na redução da dimensão dos pilares e vigas de um estrutura, aumento da velocidade das obras e até na redução do peso da estrutura<sup>22</sup>.

A ABNT NBR (12655:2006)<sup>8</sup> determina que a resistência para concreto estrutural ( $f_{ck}$ ) é dada pela fórmula ( $f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \cdot S_d$ ) sendo o  $f_{cj}$  a resistência em dias do concreto no laboratório, e o  $S_d$  o desvio padrão que pode ser 4; 5,5 ou 7 de acordo com a qualidade do concreto, variando respectivamente de um concreto com boa qualidade para um concreto de menor qualidade. A mesma norma supracitada também refere que o concreto para ser considerado estrutural necessita de um  $f_{ck}$  mínimo de 20 Mpa.

### 1.2 Resistência de Tração por Compressão Diametral do Concreto

A Resistência à Tração é um importante parâmetro para a caracterização do concreto. Há muito tempo vários métodos eram executados, com o objetivo de obter os resultados da resistência à tração, mas não tiveram sucesso, devido a resultados de difícil interpretação analítica<sup>23</sup>.

Em 1943, o Professor Lobo Carneiro desenvolveu o Ensaio Brasileiro de Compressão Diametral para Resistência à Tração. Este ensaio ficou conhecido por ser de fácil e rápida execução, devido à utilização do mesmo corpo de prova cilíndrico do ensaio de compressão axial. Isso acontece pois a aplicação da força concentrada diametralmente em um corpo cilíndrico gera tensões de tração uniformes perpendiculares à este diâmetro, podendo obter assim os resultados da resistência à tração do concreto<sup>24</sup>.



## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Comparar os resultados obtidos, por meio de ensaios laboratoriais procedidos, conforme as normas técnicas vigentes, com o intuito de gerar uma conclusão convincente da possível utilização do cascalho como agregado graúdo, na substituição da brita de origem basáltica na confecção do concreto.

Para o estudo foram realizado os seguintes ensaios:

- a) Composição Granulométrica (ABNT NBR NM 248:2003)<sup>9</sup>;
- b) Agregados: Determinação da Massa Unitária (ABNT NBR NM 45/2006)<sup>25</sup>;
- c) Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção do Agregado Graúdo (ABNT NBR NM 53:2009)<sup>26</sup>;
- d) Agregado Miúdo - Determinação da Massa específica e Massa Específica Aparente (ABNT NBR NM 52:2009)<sup>27</sup>;
- e) Inchamento do Agregado Miúdo (ABNT NBR NM 6467/2006)<sup>28</sup>;
- f) Finura do Cimento Portland (ABNT NBR NM 11579/91)<sup>29</sup>;
- g) Tempo de Pega do Cimento Portland (ABNT NBR NM 65/2003)<sup>30</sup>;
- h) Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone (ABNT NBR NM 67:1998)<sup>31</sup>.
- i) Resistência à Compressão Axial (ABNT NBR 5739:2007)<sup>32</sup>.
- j) Resistência à Tração por Compressão Diametral (ABNT NBR 7222:2009)<sup>33</sup>.

Os ensaios descritos acima foram realizados para que se apresentassem as características de todos os materiais utilizados na confecção dos concretos sendo eles: brita basáltica, cascalho, cimento e a areia. Os resultados dos ensaios serão apresentados sob forma de tabelas e gráficos, para uma melhor compreensão.

Para que fossem alcançados os objetivos almejados, foram executados 3 traços de concreto com cascalho, 3 traços com brita basáltica e 3 traços com uma composição entre os agregados graúdos. Essa composição foi determinada pelo ensaio da massa unitária regido pela norma ABNT NBR NM 45/2006<sup>26</sup>, sendo eles os traços rico, normal e pobre. Sucessivamente foram preenchidos 81 corpos de prova de concreto, sendo 27 destes produzidos com cascalho, 27 com brita basáltica e os outros 27, com a composição entre os dois agregados. Os tipos de concretos foram elaborados de maneira igualitária, se diferindo apenas do agregado graúdo e quantidade de água necessária para atingir o mesmo abatimento (Slump) entre todos os traços.

Depois de rodado todos os traços, e moldado os corpos de prova dos 3 diferentes tipos de concreto, os mesmos tiveram seu processo de cura submerso em tanques, sucessivamente foram rompidos, com a mesma idade 3,7 e 28 dias. Foram rompidos 9 corpos de prova de cada concreto por data de rompimento, sendo 2 por compressão axial e 1 sobre tração por compressão diametral dos três traços executados, totalizando os 81 corpos de prova. Os resultados destes serão também apresentados por meio de gráficos para melhor entendimento.

### 2.1 Composição dos Agregados Graúdos por Meio da Determinação da Massa Unitária

A composição escolhida entre os agregados utilizados para confecção do terceiro concreto foi determinada pelo ensaio de massa unitária regida pela ABNT NBR NM (45/2006)<sup>26</sup>. Os materiais foram misturados, aumentando a brita em proporção de 10 em 10%, até chegar na amostra com 100% da brita. Em seguida, foram pesados e, realizados então, os cálculos, obtendo os valores da massa unitária de cada composição, sendo a maior massa unitária como a composição a ser definida para confecção do concreto.

### 3. RESULTADOS

O presente capítulo será composto por resultados obtidos em todos os ensaios que foram realizados, de acordo com os métodos. A mesma ordem será respeitada para um melhor entendimento da sequência dos tópicos e temas.

#### 3.1 Composição Granulométrica dos Agregados

A norma que rege o ensaio de composição granulométrica é a ABNT NBR NM (248:2003)<sup>15</sup> e a que rege a redução de amostra de campo é a ABNT NBR NM 27:2001.

Primeiramente, foi obtido o diâmetro máximo de cada material para então serem realizados os ensaios de composição granulométrica com certa quantidade de cada agregado, de acordo com a tabela a seguir.

Tabela 1 - Diâmetro Máximo Dos Agregados Utilizados

	DIÂMETRO MÁXIMO (mm)	QUANTIDADE MÍNIMA DA AMOSTRA (kg)
Areia	< 4,5 mm	0,3
Brita	19 mm	5
Cascalho	19 mm	5

Após estabelecer a massa mínima de cada amostra, são alcançados os resultados para que surja, então, a curva granulométrica, expressa por meio de porcentagem retida acumulada dos agregados em cada peneira da série normal intermediária, de acordo com a ABNT NBR NM (248:2003)<sup>15</sup>, expressa conforme a Figura 3.

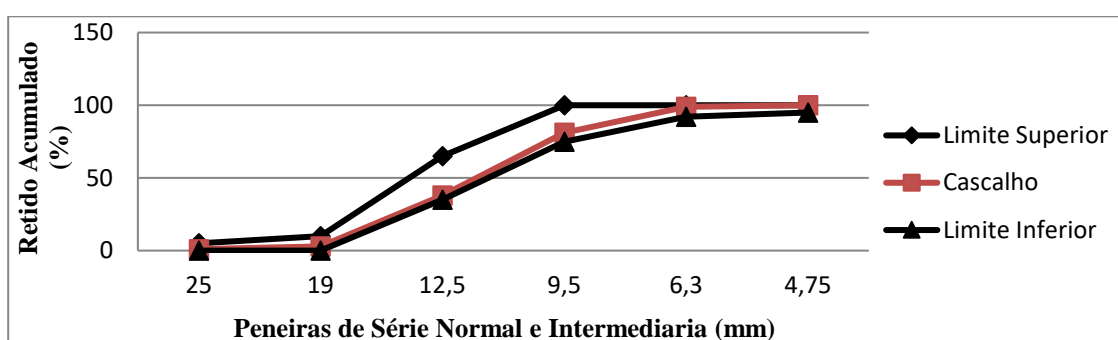


Figura 3 - Curva Granulométrica Do Cascalho

Como pode se notar, a maior parte do cascalho é retido nas peneiras de 12,5 mm, 19 mm e 6,3 mm. Abaixo da peneira de malha igual a 4,75 mm o material é caracterizado como agregado miúdo, não oferecendo então, quantidade significativa, por possuir poucos grãos miúdos, que nada mais são que areia, considerando, portanto, que a areia e o cascalho possuem a mesma origem. Apesar do cascalho ser um agregado de origem natural ele se encontra dentro dos parâmetros aceitáveis.

Em seguida, foi realizado o mesmo procedimento com a brita basáltica, obtendo os resultados que compõem o gráfico de composição da brita, conforme a Figura 4.

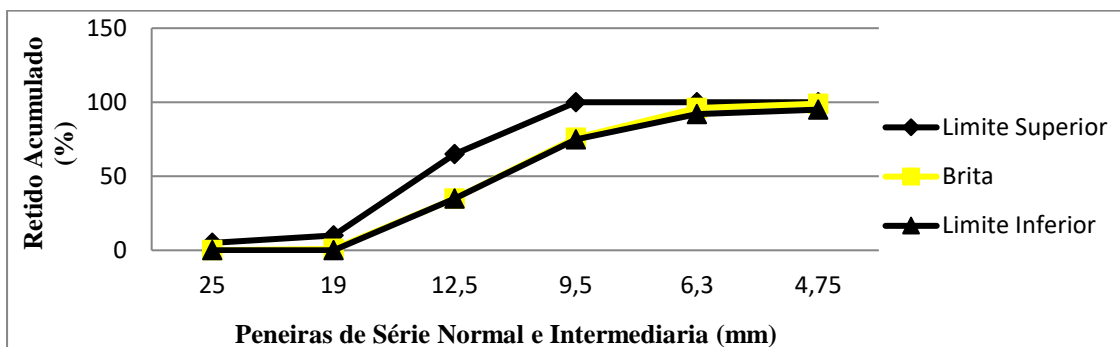


Figura 4 - Curva Granulométrica da Brita Basáltica

A brita possui uma menor granulometria que o cascalho, quase a mesma que o limite inferior determinado pela norma.

E por último, foi realizado o ensaio de granulometria do agregado miúdo com a troca das peneiras, de acordo com a norma ABNT NBR NM (248:2003)<sup>15</sup>, obtendo a curva granulométrica representada na figura 5.

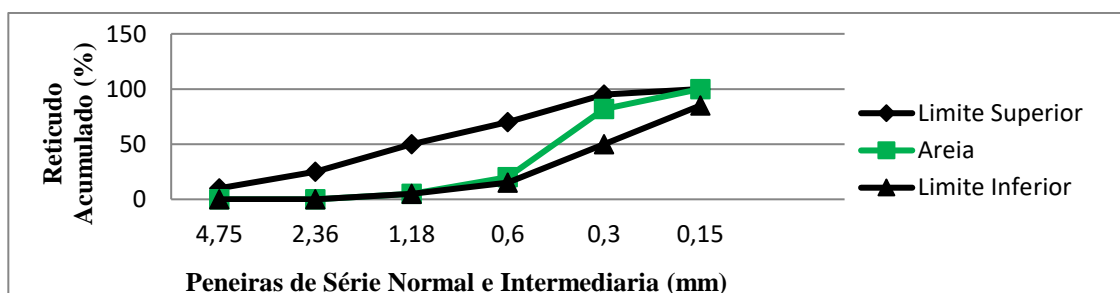


Figura 5 - Curva Granulométrica da Areia.

Com os resultados obtidos foi possível descobrir que o módulo de finura da areia é igual a 2,04 mm, portanto, a areia é classificada como areia fina MF < 2,40 mm, quanto a curva granulométrica da areia percebeu que está dentro dos parâmetros impostos pela norma.

### 3.2 Agregados: Determinação da Massa Unitária

A norma que rege o ensaio é a ABNT NBR NM (53:2009)<sup>26</sup>. A princípio se realizou ensaios com o intuito de determinar a massa unitária dos agregados graúdos, brita e cascalho, e, também foi realizado ensaio para descobrir a maior massa unitária entre a composição dos dois agregados. Ademais, será confeccionado um terceiro tipo de concreto, o qual possui mistura entre os dois materiais. Os resultados estão representados à seguir no gráfico representado pela figura 6.



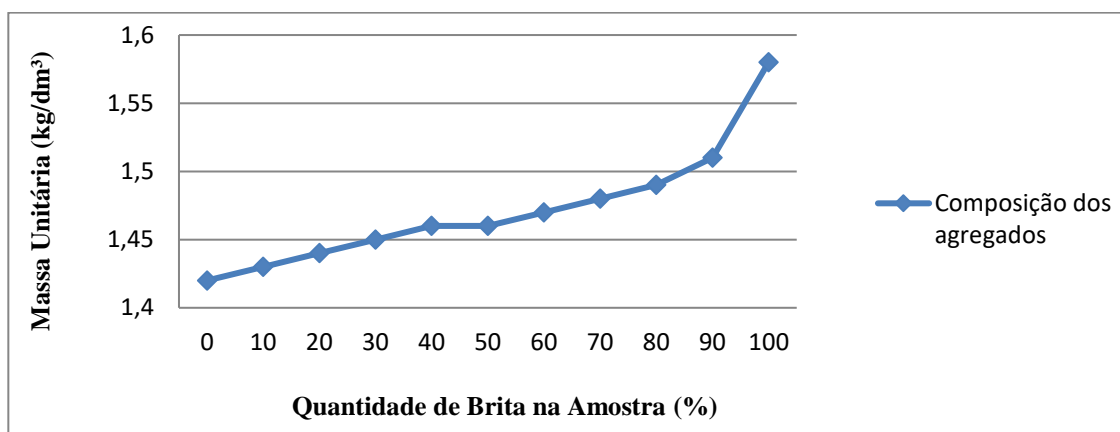


Figura 6 - Massa Unitária Da Composição Dos Agregados Graúdos.

Como podemos observar, não possui uma mistura que a massa unitária seja maior que a pura brita, portanto, como o ensaio foi realizado aumentando em 10 em 10% a quantidade da brita, o terceiro concreto será confeccionado com 90% de brita e 10% de cascalho, ou seja, a última mistura antes de atingir 100% da brita. A massa unitária do cascalho equivalente a 1,42 kg/dm³ e da brita 1,58 kg/dm³.

Já a determinação da massa unitária da areia está representada na tabela 2, a seguir.

Tabela 2 - Massa Unitária da areia

AMOSTRAS	MASSA UNITÁRIA (kg/dm³)
1	1,59
2	1,52
3	1,56
Média=	1,55

A média das três amostras é referente ao valor da massa unitária do agregado miúdo utilizado na confecção dos concretos, equivalente a 1,55 kg/dm³.

### 3.3 Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção do Agregado Graúdo

Serão elencados no presente tópico, os resultados dessas três propriedades da brita e do cascalho, a partir da correta procedência, de acordo com a norma ABNT NBR NM (53:2009)<sup>26</sup>.

A tabela 3 apresenta os resultados do ensaio realizado com amostras do cascalho

Tabela 3 - Massa Especifica, Massa Especifica Aparente e Absorção do Cascalho

		Amostras			Média
		I	II	III	
Ph	Peso ao ar agr. Sat./sup. Seca	600,35	600,05	600,20	-
Pi	peso agr. Imerso	364,20	365,08	363,20	-
Ps	peso agr. Seco	591,97	590,07	590,32	-
<b>Dr = Ps / Ps - Pi</b>	<b>Densidade Real (g/cm³)</b>	2,66	2,62	2,60	<b>2,63</b>
<b>Da = Ps/Ph-Pi</b>	<b>Densidade Aparente (g/cm³)</b>	2,50	2,51	2,49	<b>2,50</b>
<b>Abs=Ph-Ps/Ps</b>	<b>Absorção %</b>	1,42%	1,69%	1,67%	<b>1,59%</b>

Os resultados do ensaio com amostras da brita basáltica estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Massa Especifica, Massa Especifica Aparente e Absorção da Brita

	AMOSTRAS	MÉDIA
--	----------	-------

		I	II	III	
Ph	Peso ao ar agr. Sat./sup. Seca	600,37	600,26	600,16	-
Pi	peso agr. Imerso	392,54	393,23	392,97	-
Ps	peso agr. Seco	590,82	591,17	590,89	-
<b>Dr = Ps / Ps - Pi</b>	<b>Densidade Real (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,97	2,97	2,99	<b>2,98</b>
<b>Da = Ps/Ph-Pi</b>	<b>Densidade Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,84	2,85	2,85	<b>2,85</b>
<b>Abs=Ph-Ps/Ps</b>	<b>Absorção %</b>	1,62%	1,54%	1,56%	<b>1,57%</b>

A partir dos resultados obtidos, é possível observar que, apesar do cascalho ter uma granulometria maior que a brita, sua massa específica é menor que a massa específica da brita basáltica. Quanto à absorção, podemos dizer que os dois materiais são iguais, apresentando uma diferença insignificante entre eles.

### 3.4 Massa Específica de Agregados Miúdo

Em acordo com a norma ABNT NBR NM (52/2009)<sup>27</sup>, ensaios foram realizados, nos quais foi possível obter o resultado de que a massa específica da areia utilizada na confecção dos concretos é equivalente a 2,63 g/cm<sup>3</sup>.

### 3.5 Inchamento do Agregado Miúdo

A norma que rege o ensaio é a ABNT NBR NM (6467/2006)<sup>28</sup> e os resultados do teor de umidade e do coeficiente de inchamento do agregado miúdo colaboram para a elaboração do gráfico da curva de inchamento, o mesmo que será representado na figura 7.

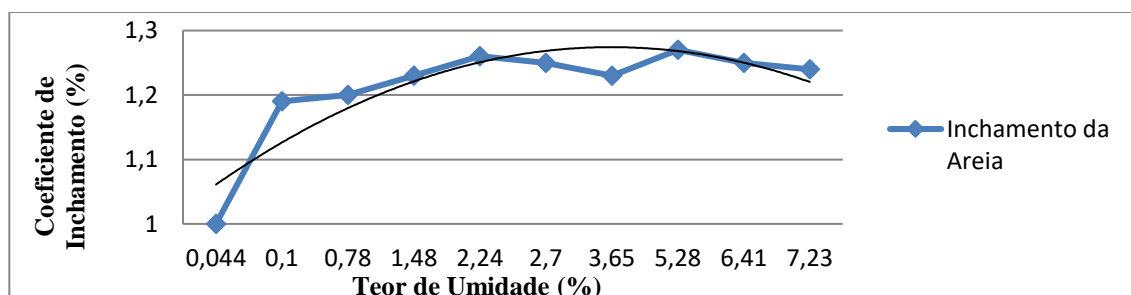


Figura 7 - Curva de Inchamento da areia

Com os resultados obtidos foi possível observar que o coeficiente máximo de inchamento da areia resultou em 1,27% resultante ao teor de umidade de 5,28%.

### 3.6 Finura do Cimento Portland

O cimento utilizado para a confecção do concreto foi o CP II - Z - 32, sendo a norma que rege o ensaio a ABNT NBR NM (11579/91)<sup>29</sup>, para melhor entendimento os resultados serão descritos a seguir.

Coletou-se 50g do material e utilizou ainda, a peneira 0,075 mm, seguindo corretamente conforme se refere a norma. Em seguida, pesou e obteve então que a quantidade do material retido foi de 48,54 g. Portanto, sendo a diferença o material passante, 1,46g. Com tais resultados é possível se concluir que o índice de finura do cimento utilizado é equivalente a 2,92%.

### 3.7 Tempo de pega do cimento Portland

A norma que rege o presente ensaio é a ABNT NBR NM (65/2003)<sup>30</sup>. O mesmo foi realizado com o cimento CP II - Z - 32. A quantidade necessária para o cimento atingir a consistência da massa foi de 30% (150 mililitros de água) e os resultados do tempo de pega do cimento serão apresentados a seguir:

Início da Pega: 02h52min (duas horas e cinquenta e dois minutos).

Fim da Pega: 04h03min (quatro horas e três minutos).

### 3.8 Massa Específica dos Três Tipos de Concreto Confeccionado

A massa específica do traço normal dos três tipos de concreto será apresentada no decorrer do presente tópico, pois há uma diferença quase insignificante em relação aos traços rico e pobre. O concreto confeccionado com a brita basáltica obteve uma massa específica resultante de 2.470kg/m<sup>3</sup>, enquanto o concreto confeccionado com o cascalho atingiu os 2.166 kg/m<sup>3</sup>, e por último, o concreto com 90% da brita e 10% do cascalho resultou em 2.452 kg/m<sup>3</sup>. Todos os concretos são caracterizados como normal de acordo com ABNT NBR (12655/2006)<sup>8</sup>, porém com uma grande diferença entre o concreto confeccionado com a brita e o concreto confeccionado com o cascalho.

### 3.9 Ensaio do Concreto no Estado Fresco

Para este estado do concreto, se utilizou o ensaio do abatimento do tronco de cone, regido pela norma ABNT NBR NM (67:1998)<sup>31</sup>, para que fosse constatada a consistência de cada lote de concreto e o que ele representa em relação à esta propriedade, considerando o uso do cascalho e da brita e a diferente dosagem de água para amassamento. É possível a visualização, na tabela a seguir, os valores do abatimento de cada traço, assim como a quantidade de água que gerou tal consistência.

Tabela 5 - Resultado Do *Slump* (Abatimento) em relação a dosagem de água.

CONCRETO	TRAÇO	FATOR ÁGUA/CIMENTO	SLUMP (cm)
Cascalho	Pobre (1; 2,97; 3,53)	0,71	10
	Normal (1; 2,18; 2,82)	0,57	8
	Rico (1; 1,39; 2,11)	0,44	8,5
Brita	Pobre (1; 2,97; 3,53)	0,7	8
	Normal (1; 2,18; 2,82)	0,56	9,5
	Rico (1; 1,39; 2,11)	0,48	10
10% Casc. 90% Brita	Pobre (1; 2,97; 3,53)	0,71	8
	Normal (1; 2,18; 2,82)	0,57	8,5
	Rico (1; 1,39; 2,11)	0,45	9

O fator água/cimento foi alterado de forma à atingir o *slump* entre 7-11 cm para todos os traços acima na tabela.

### 3.10 Ensaio do Concreto no Estado Endurecido

Para o estado endurecido do concreto se estabeleceu dois ensaios de rompimento: Resistência à Compressão e resistência a tração por compressão diametral.

#### 3.10.1 Compressão a Compressão

Os gráficos a seguir são tratados dos resultados obtidos por meio do Processo de Rompimento por Compressão Axial dos Corpos de Prova regido pela ABNT NBR NM (5739:2007)<sup>32</sup>.

Na Figura 8 dá-se a representação no gráfico das resistências à compressão ( $f_{cj}$ ) dos traços pobres.

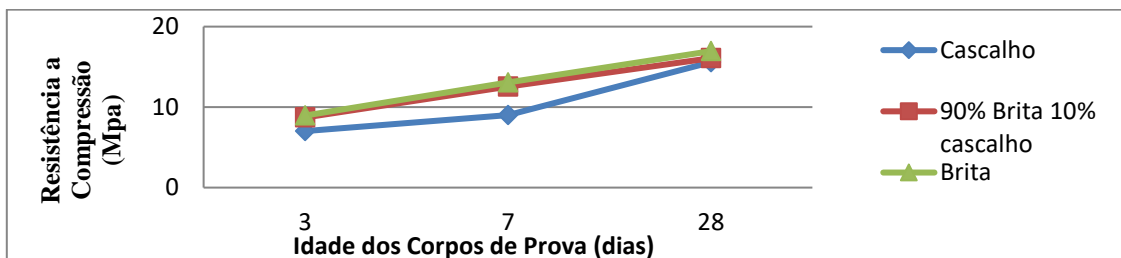


Figura 8 - Resistência à compressão dos traços pobres.

Na Figura 9 se dá a representação do gráfico do rompimento dos corpos de provas dos traços normais.

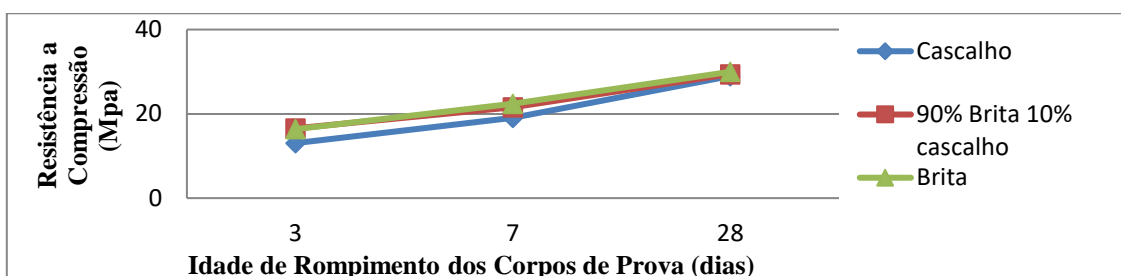


Figura 9 - Resistência a compressão dos traços normais.

Na Figura 10, dá-se a representação do rompimento dos corpos de prova dos traços ricos.

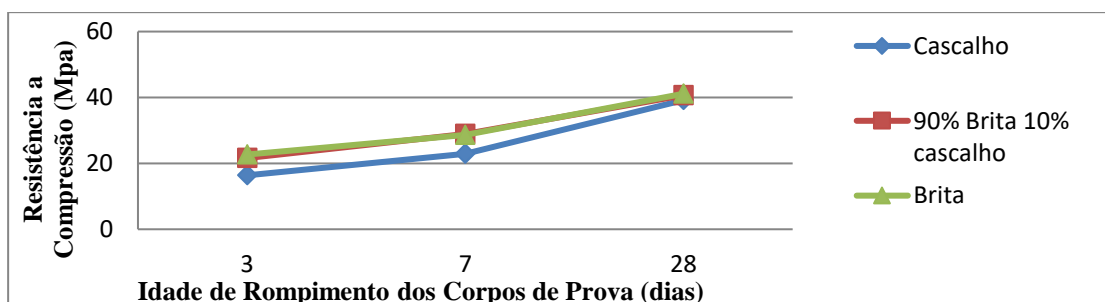


Figura 10 - Resistência a compressão dos traços ricos.

### 3.9.2 Tração por Compressão Diametral

Ao ser procedido conforme a ABNT NBR NM (7222:2009)<sup>33</sup>, obteve-se valores quantitativos referentes à resistência da tração por compressão diametral de todos os lotes de concreto.

Na Figura 11 dá-se a representação gráfica do rompimento dos corpos dos traços pobres.

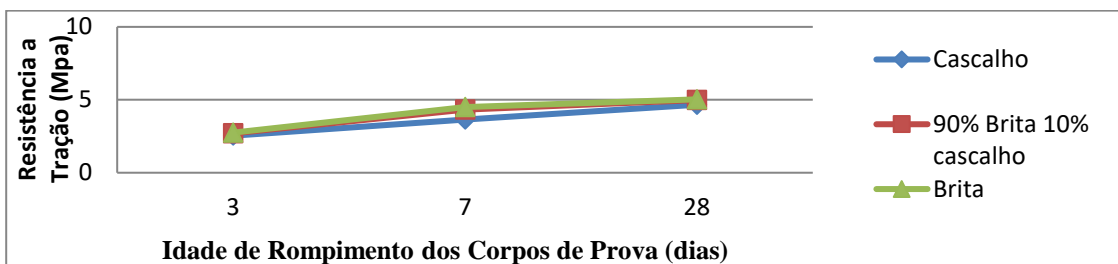


Figura 11 - Resistência a tração por compressão diametral dos traços pobres.

Na Figura 12 se dá representação gráfica do rompimento dos corpos dos traços normais.

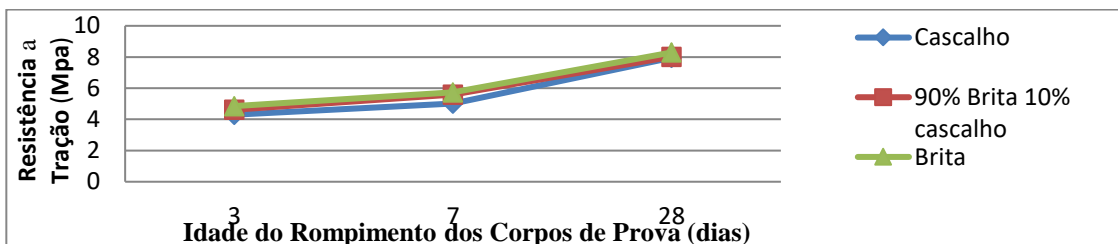


Figura 12 - Resistência a tração por compressão diametral dos traços normais.

Na Figura 13 dá-se a representação gráfica do rompimento dos corpos de provas dos traços ricos.

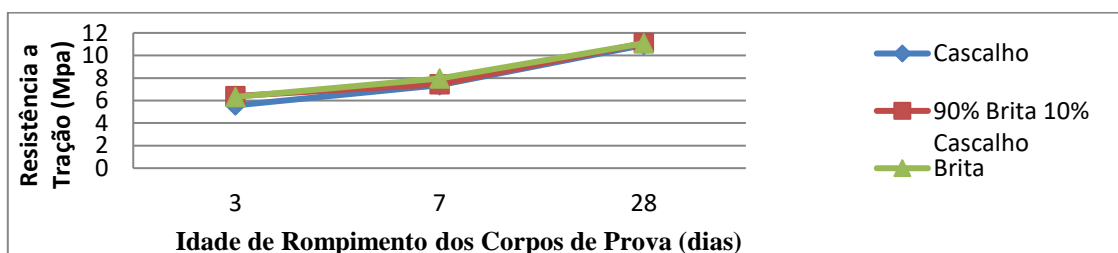


Figura 13 - Resistência a tração por compressão diametral dos traços ricos.

#### 4. DISCUSSÕES

O concreto tem como característica uma alta resistência à compressão e, por contrapartida, uma baixa resistência à tração, sendo essa aproximadamente 8 a 15% da resistência à compressão, tal discrepância pode ser observada no resultados<sup>34</sup>.

Realizada a análise dos traços executados, se pode notar que todos os testes apresentaram o mesmo comportamento, portanto, utilizando o traço normal como comparação entre os tipos de concreto, é possível verificar que o concreto confeccionado com 100% do cascalho aos 28 dias atingiu um Resistência à Compressão Axial de 28,96 Mpa e Compressão à Tração de 7,31 Mpa, não diferindo muito do concreto confeccionado com 100% da brita basáltica que apresentou aos 28 dias uma Resistência à Compressão de 29,97 Mpa e Resistência à Tração de 8,29 Mpa. Apesar de os resultados possuírem valores próximos com essa idade, os concretos apresentaram uma diferença significativa aos 7 dias de idade. Analisando novamente o traço normal como base, o concreto confeccionado com cascalho resultou uma Resistência à Compressão de 19,04 Mpa, e Resistência à Tração de 5,21 Mpa, enquanto o concreto confeccionado com a brita basáltica apresentou uma Resistência à Compressão de 22,4 Mpa e a Tração de 7,74 Mpa, uma diferença relevante ao se tratar desta propriedade.

Ao analisar o comportamento da brita, em relação aos resultados de Compressão Axial dos Corpos de Prova, foi possível perceber melhor aderência da mesma na pasta de cimento,



devido ao fato de este agregado possuir textura áspera, permitindo uma maior facilidade de aderência e, conseqüentemente, maior dificuldade de a interface ser rompida com a adição de carga. Temos ainda a presença de maior porosidade neste material, proporcionando a entrada da pasta de cimento no agregado por capilaridade, gerando uma espécie de ancoragem dos grãos à todo material envolto.

Na observação dos aspectos dos resultados obtidos pelo Rompimento de Tração por Compressão Diametral a partir de cada lote ensaiado, é possível notar que esta proximidade quantificada vai além da coincidência, ou seja, é gerada pelos mesmos aspectos concluídos durante o ensaio de Compressão Axial, no qual se dissertou acerca da textura e forma da brita como causadora da maior resistência.

Feitos os cálculos para resistência do concreto estrutural ( $f_{ck}$ ) de acordo com a ABNT NBR (12655:2006)<sup>8</sup>, considerando ainda, um concreto de alta qualidade devido ter sido produzido em laboratório, os resultados obtidos para os traços ricos, normais e pobres foram aproximadamente à 33,4 Mpa; 23,4 Mpa e 9,4 Mpa respectivamente. Portanto como a norma determina um valor mínimo de 20 Mpa para concreto estrutural, percebeu que o traço pobre por haver menor quantidade de cimento não atingiu a resistência necessária para ser considerado um concreto estrutural, podendo ser utilizados para execução de calçadas e contra pisos, ou seja, concreto sem função estrutural.

## **5. CONCLUSÕES**

Por meio deste projeto e dos ensaios realizados houve a possibilidade de obtenção de resultados quantitativos em relação à qualidade do agregado graúdo, cascalho extraído do Rio Ivaí. Logo, se conclui que este cascalho possui as características necessárias para que se produza concreto de boa qualidade, referente ao parâmetro de resistência, porém como visto anteriormente, um pouco inferior quando comparado à brita.

É de fato, observado ainda, que o concreto confeccionado com o cascalho, ao ser rompido com 3 e 7 dias de idade, obteve uma resistência, tanto à Compressão quanto à Tração bastante inferior à brita basáltica, porém, ao ser rompido com 28 dias, o concreto com o cascalho atingiu uma resistência com uma leve inferioridade em relação ao concreto confeccionado com a brita, podendo ser analisado então, nos três tipos de traços executados, não alterando, em nenhum, o comportamento dos concretos.

Tal inferioridade pode ser explanada de diversas maneiras e pontos de vista, visto que ao comparar os lotes produzidos com tais materiais, houve a possibilidade de observar como ambos agiram neste composto, logo, conforme estudado, o cascalho não é muito recomendável em obras de curto prazo, pois necessitam dos 28 dias de total ação do cimento para que os mesmos tenham aderência necessária para resistir a maiores esforços conforme foi visto, justamente pelo fato de o material possuir textura lisa o que dificulta a aderência. Portanto, conforme a especificação de cada obra, poderá ser utilizado sem maiores problemas, tanto em estruturas como calçadas, entre outras aplicações.

Ademais, de acordo com as especificações apresentadas, apesar de o concreto produzido com brita possuir maior resistência aos primeiros dias, e pouca diferença nos últimos, é possível a utilização do cascalho na região do município de Loanda devido ao fácil acesso e valor de compra consideravelmente menor em relação à brita (cerca de 40%), já que a última incorpora um maior valor devido ao frete rodoviário incluso, para o devido transporte até a região. O cascalho poderá ser empregado em obras de pequeno, médio, ou até mesmo, de grande porte, desde que adequado em proporções de cimento e tipo de cimento para perfeita aderência.

Por fim, há ainda de se considerar, que o cascalho, devido ao fato de possuir menor densidade que a brita, possibilitou um concreto mais leve, gerando assim peças de concreto mais leves, o que conseqüentemente ocasionam, uma estrutura mais leve, mais econômica,

amparado no fato de haver menor carga transmitida à infraestrutura (blocos de fundação e estacas), ocasionando na fatível economia em seu dimensionamento.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade Ingá-UNINGÁ.

## **REFERÊNCIAS**

- [1] Hagemann, Sabrina E. Materiais de Construção Básicos. 2011/2. 145 p. Apostila.
- [2] M. Antônio da Silva, R. Dias Toledo Filho, M. Schubert Pfeil. Desenvolvimento e caracterização experimental de concretos autoadensáveis de alto desempenho contendo seixo rolado. In: 3º Congresso Ibéroamericano sobre betão auto-compactável Avanços e oportunidades. Madrid, 3 e 4 de Dezembro de 2012, Rio de Janeiro, Brasil.
- [3] Viavelli L. Estudo da viabilidade da utilização do agregado miúdo britado em concreto convencional [Monografia] Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná; 2012.
- [4] Petrucci, Eladio G. R. Concreto de Cimento Portland. 13.ed. São Paulo: Globo,1998.
- [5] Isaia, Geralco C. A Água no Concreto. In: Isaia, Geraldo C. Concreto: Ciência e Tecnologia. 1.ed. São Paulo, SP: IBRACON, 2011. P. 311 – 347.
- [6] Silva, Moema Ribas. Materiais de Construção. 1.ed. São Paulo: PINI, 1985
- [7] Carlos JAG. Estudo das propriedades dos concretos confeccionados com cimento CP V-ARI e CPII - F32, sob diferentes temperaturas de mistura e métodos de cura [dissertação] Curitiba: Pós Graduação em Engenharia de Materiais e Processos da universidade Federal do Paraná; 2003.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 12655. Concreto de Cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro. ABNT, 2006.
- [9] Associação brasileira de Cimento Portland. Guia básico de utilização do cimento portland. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.
- [10] BAUER, Luiz A.F. Cimento Portland. In: Oliveira, Hélio M. Materiais de Construção.5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. P.35-6.
- [11] Bauer, Luiz A.F. Agregados. In: Albuquerque, Alexander S. Materiais de Construção. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. P. 63-119.
- [12] Inventta Consultoria. Agregados minerais para obras de construção civil e infraestrutura nas principais regiões metropolitanas do Brasil: Diagnósticos e cenários da cadeia produtiva, com seus desafios e oportunidades.. In: Convite Nº 06/2012 – Processo Nº 3751/2012 da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial; 2012, dezembro. Brasília, Distrito Federal; 2012.
- [13] Isaia, Geralco C. Agregados Naturais, Britados e Artificiais para Concreto. In: Neto, Claudio S. Concreto: Ciência e Tecnologia. 1.ed. São Paulo, SP: IBRACON, 2011. P. 233 – 261.
- [14] Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7211. Agregados para Concreto: Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- [15] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 248. Agregados: Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [16] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211. Agregados para Concreto: Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- [17] Bernardo F. Tutikian; Geraldo Cechella Isaia; Paulo Helene. Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho. [Tese] Ibracon: Concreto: Ciência e Tecnologia; 2011.

- [18] Andressa Varela da Rocha Silva, Hugo Alessandro Almeida Diniz, Janiele Alves Eugênio Ribeiro, Samuel Silva de Oliveira, Valtencir Lucio de Lima Gomes. Influência do processo de cura em concreto convencional em seis idades [Artigo] Natal: Instituto Federal do Rio Grande do Norte; 2012.
- [19] Ribeirão DS. Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado, visando a melhoria na sua durabilidade [Tese] Natal; Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Ciências exatas e da terra; 2006.
- [20] Alvarenga VM. Estudo comparativo das propriedades mecânicas e estruturais de blocos de concreto produzido com brita ou seixo rolado. [Monografia] São Paulo: Escola de Engenharia de Lorena; Universidade de São Paulo; 2012.
- [21] Cesar ASB. Influência das variáveis de ensaios nos resultados da resistência à compressão de concretos: Uma análise experimental e computacional. [Dissertação]. Belo Horizonte. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais; 2007.
- [22] Portal do Concreto. Dinamic Site. Resistência característica do concreto a compressão. [acesso 01.set. 2015] Disponível em: [www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/fck.html](http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/fck.html).
- [23] Luong, M. P. (1990) Tensile and Shear Strenghts of Concrete and Rock. Engineering Fracture Mechanics, Vol. 35, Nos. 1/2/3.
- [24] Carneiro, F. L. (1943) Um Novo Método para Determinação da Resistência à Tração dos Concretos. Comunicação, 5. Reunião Associação Brasileira de Normas Técnicas, Publ. Inst. Nac. Tecnol., Rio De Janeiro.
- [25] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 45. Determinação da massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro. ABNT, 2006.
- [26] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 53. Agregados: Redução da Amostra de campo para Ensaio de Laboratório. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- [27] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 52 Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- [28] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6464. Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- [29] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11579. Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75  $\mu\text{m}$  ( $n^{\circ}$  200) - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- [30] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 65. Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [31] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 67. Concreto: Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- [32] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739. Concreto: Ensaio de Compressão de Corpos-de-Prova Cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- [33] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7222. Argamassa e Concreto: Determinação da Resistência à Tração por Compressão diametral de Corpos-de-Prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- [34] Sergio Paulo SB. Fundamentos do concreto armado. Apostila Estruturais de Concreto I. Bauru; Universidade Estadual Paulista; 2011.