ESTUDO DE CASO- VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DA AREIA BRITAGEM BASÁLTICA EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AREIA NATURAL PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO DOSADO EM CENTRAL

K.P. GUIMARÃES
Graduanda em Engenharia Civil
UFMS
Mato Grosso do Sul; Brasil
kattlen.guimaraes@hotmail.com

S. R. BERTOCINI
Professora Orientadora
UFMS
Mato Grosso do Sul; Brasil
sandra.bertocini@ufms.br

RESUMO

Os frequentes impactos ambientais provenientes da extração de recursos naturais, assim como a escassez de alguns agregados ou dificuldade de transporte dos mesmos, abrem portas a novas pesquisas sobre materiais alternativos para uso no concreto. Com esse cenário surgiu o objetivo desse estudo, que busca analisar a adição de areia de britagem produzida pela pedreira Esteio de Dourados-MS, em substituição parcial da areia natural, para sua inserção no mercado da cidade, fornecendo assim uma destinação ambientalmente correta e com valor de mercado. Pelos estudos realizados, verificou-se que os concretos com esse resíduo de britagem apresentaram características satisfatórias para análise de absorção de água e índice de vazios, módulo, resistência à compressão axial e diametral. Do ponto de vista comercial, seu uso representa economia de 6,24%, desde que os processos de produção sejam controlados. Assim, concluiu-se que essa substituição garantiu uma destinação mais sustentável, tecnológica e economicamente viável para a areia de britagem estudada.
Palavras-chave: Reaproveitamento de resíduo de britagem. Concreto. Agregados.

ABSTRACT

The frequent environmental impacts from extraction of natural resources, as well as the scarcity of some aggregates or difficulty of transportation, open doors to new researches about alternative materials for use in the concrete. From this scenario, the objective of this study was to analyze the addition of crushing sand produced by Esteio de Dourados – MS quarry, in partial replacement of natural sand, for its insertion in the city market, thus providing an environmentally correct destination and with market value. From the studies carried out, it was verified that the concretes with this crushing residue presented satisfactory characteristics for analysis of water absorption and void index, modulus, resistance to axial and diametrical compression. From a commercial point of view, its use represents savings of 6,24% since that the production processes are controlled. Therefor, it was concluded that this replacement ensured a more sustainable, technological and economically viable destination for the crushing sand studied.
Keywords: Reutilization of crushing sand residue. Concrete. Aggregates.

1. INTRODUÇÃO

BERTOCINI (2002) destaca que muitos são os fatores que contribuem para a escassez e o consequente encarecimento de agregados miúdos produzidos próximos aos grandes centros urbanos. Entre eles a expansão urbana cada vez mais próxima às zonas produtoras faz com que estas busquem regiões mais distantes.

LIMA (2004) ressalta que a dificuldade de obtenção de areia natural de qualidade e a proibição da sua retirada em algumas áreas geram a necessidade de extração da areia em locais distantes dos principais centros de consumo, elevando gastos com transporte, que correspondem a cerca de 70% do custo final da areia.

Diante desse aumento do valor para obtenção desse agregado, juntamente com as dificuldades legais para sua extração, a construção civil busca alternativas para a produção de concretos convencionais, como por exemplo a utilização de areia de britagem. Esta, por sua vez, é proveniente de subprodutos dos processos de britagem de pedreiras que se acumulam em grandes pilhas que devem ser periodicamente tratadas e muitas vezes realocadas, o que desprende muito tempo e dinheiro. Todavia, não basta apenas encontrar

uma nova alternativa para o uso desse resíduo. Sua inserção no mercado deve ser acompanhada de controle tecnológico do agregado e controle dos seus processos de produção, BERTOCINI (2002).

Sabe-se ainda que os agregados representam a maior parte do peso do concreto e que o seu uso influencia na retração e resistência, assim como o seu tamanho, densidade e forma ajudam a definir várias características desejadas em um concreto, tais como: propriedades mecânicas, trabalhabilidade, homogeneidade, retração e abrasão (CARVALHO e FILHO, 2015). Dessa forma, de acordo com HELENE e TERZIAN (1993), é necessário conhecer as características dos seus constituintes para que se determine a interferência deles no resultado final do concreto. Para tanto, os agregados passam por vários ensaios que seguem um conjunto de normas técnicas regidas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) que servem para definir sua granulometria, massa especifica real, aparente e unitária, impurezas orgânicas, teor de material passante na peneira 0,075mm, entre outros.

No meio acadêmico, a característica mais notória do concreto é a sua resistência à compressão axial e esta é obtida através do ensaio regido pela ABNT NBR 5739 (2008). Contudo, segundo SANTOS, CABRAL, MONTEIRO E HELENE (2013), para considerar de maneira mais completa o comportamento do material no cálculo estrutural de peças de concreto é importante conhecer, não somente sua resistência a compressão e tração, mas também suas propriedades de deformação relacionadas com o módulo de elasticidade.

Como o concreto é um material heterogêneo, a proporcionalidade entre força aplicada e deformação (Lei de Hooke) nem sempre é verificada. Dessa forma, é importante conhecer os fatores que influenciam o módulo de elasticidade, sendo a porosidade, tipo, forma e textura do agregado, relação água cimento do concreto, sua idade, entre outros, alguns desses fatores- BATTAGIN (2008). A porosidade, por sua vez, está relacionada com a rigidez no material, característica que o capacita a resistir a deformações.

HELENE e TERZIAN (1993) sugerem que a resistência do concreto também está em função da relação água/cimento. De acordo com FERREIRA (2012), em análise do estudo feito por Duff A. Abrams em 1918 (Design of concrete mixtures), é possível utilizar uma curva logarítmica para associar a resistência do concreto com sua relação água/cimento – Curva de Abrams. Sendo essa curva obtida por regressão linear simples.

Para auxílio dos estudos de dosagem também foi empregada, além de métodos práticos, a metodologia do IPT/USP (1993), que tem por objetivo definir a proporção mais adequada entre cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água e aditivo (quando este for utilizado), visando atender às condições de projeto, de exposição, operação, custo e confecção para que sejam alcançadas resistências e durabilidades desejadas (HELENE e TERZIAN, 1993).

Por fim, dentro dessa filosofia de custo-benefício, visando uma aplicação mais sustentável dos materiais usados no concreto e priorizando pela qualidade e controle tecnológico dos materiais que o compõe, buscou-se como alternativa a substituição total da areia natural grossa extraída da Ilha Grande, região à 212 km de distância de Dourados/MS, por uma areia de britagem produzida nesta região, pela empresa Esteio, para confecção de concretos convencionais, buscando fornecer a esse resíduo uma destinação mais sustentável, tecnológica e economicamente viável.

2. METODOLOGIA

Esse trabalho se baseou na caracterização dos agregados segundo as normas técnicas brasileiras, no ensaio de empacotamento empírico e realização de traços práticos de concreto segundo a metodologia IPT/USP, verificando a resistência à compressão axial aos 3, 7 e 28 dias de idade e resistência à compressão diametral, na determinação do módulo estático de elasticidade à compressão, na análise de absorção de água e índice de vazios do concreto, na determinação do consumo de cimento dos traços e na confecção da Curva de Abrams para análise de viabilidade econômica.

2.1 Materiais

Os agregados utilizados para realização do concreto são de Dourados-MS, a água é proveniente do poço de abastecimento da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul e foi usado 0,8% de aditivo plastificante,

conforme a tabela 1. Não foi realizado qualquer ensaio para o cimento Portland e o aditivo. Além disso, durante o estudo, foram recebidas duas amostras de areia de britagem da cidade de Dourados-MS e ambas foram usadas na confecção dos traços de concreto.

Tabela 1 – Especificações dos materiais.

Material	Especificações
Cimento (C)	CP II F 32 – Cauê (granel)
Areia Natural Fina (AF)	Extração de Areia- Nossa Senhora Aparecida
Areia Natural Grossa (AG)	Extração de Areia- Ilha Grande
Areia de Britagem (AB)	Pedreira Esteio – Dourados - MS
Pedrisco (Pe)	Pedreira Esteio – Dourados - MS
Brita 1 (B1)	Pedreira Esteio – Dourados - MS
Aditivo Plastificante (AD)	PXT 874 – Maxchem Produtos Químicos LTDA

Fonte: Autora.

2.2 Métodos

2.2.1 Caracterização dos agregados

Os ensaios de caracterização dos agregados foram realizados de acordo com as normas brasileiras vigentes ABNT NBR NM 45 (2006), ABNT NBR NM 46 (2003), NBR NM 49 (2001), NBR NM 52 (2009), NBR NM 53 (2009), NBR NM 248 (2003), NBR 7211 (2009).

2.2.2 Empacotamento dos agregados

Buscando definir a proporção ideal da mistura de areia natural fina e areia de britagem, realizaram-se ensaios de empacotamentos empíricos entre esses agregados, sendo empregado o “Método C” da ABNT NBR 45 (2006) para determinar a massa unitária de material.

2.2.3 Ensaio de resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral

Corpos-de-prova cilíndricos de concreto, com 10cm de diâmetro e 20cm de altura, foram moldados de acordo com a ABNT NBR 5738 (2016), submetidos a ensaios de compressão axial conforme com a ABNT NBR 5739 (2007) e a ensaios de compressão diametral segundo ABNT NBR 7222 (2011).

2.2.4 Ensaio de módulo estático de elasticidade à compressão

A determinação do Módulo de Elasticidade dos traços em estudo foi obtida por meio do “método A” da norma técnica ABNT NBR 8522 (2008). Os resultados foram comparados com os limites da ABNT NBR 6118 (2014).

2.2.5 Ensaio de absorção de água e índice de vazios

O ensaio de absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica, foi feito conforme a metodologia da ABNT NBR 9778 (2009).

2.2.6 Curva de Abrams

Baseado nos estudos propostos por Duff A. Abrams (1918), montou-se uma curva logarítmica (Curva de Abrams) em que se associou a resistência do concreto, aos 28 dias de idade, com sua relação água/cimento.

2.2.7. Dosagem do concreto

Este estudo foi dividido em três partes. Inicialmente reproduziu-se em laboratório, conforme as normas técnicas vigentes, o traço referência (TRR) comumente utilizado pela Empresa Polimix de Dourados/MS. A composição do traço referência dessa empresa está descrita na tabela 2.

Tabela 2 – Traço referência

COMPOSIÇÃO DO TRAÇO REFERÊNCIA - Empresa Polimix de Dourados/MS				
Traço em massa				
C	AF	AG	Pe	B1
1	1,054	1,058	1,397	2,095
Características				
Aditivo	Relação A/C	α (%)	m	Slump (mm)
0,8%	0,6	51	6,127	120±20
Legenda: C= cimento, AF= areia natural fina, AG= areia natural grossa, Pe= pedrisco, B1= brita 1, A/C=água/cimento, α= teor de argamassa, m=agregados totais.				

Fonte: Autora.

Em seguida, conforme a proposta do estudo em questão, substituiu-se a areia natural grossa pela areia de britagem produzida na pedreira Esteio de Dourados/MS. Dessa forma, para definir a proporção entre a areia fina e a areia de britagem foi utilizado o ensaio de empacotamento dos agregados, de acordo com o estudo descrito no item 2.2.2 desse trabalho que se baseia na metodologia do IPT/USP. Todavia, as demais características do traço referência foram mantidas para definição da nova mistura. A partir desse novo traço composto por areia natural fina, areia de britagem, pedrisco e brita 1, aumentou-se o teor de argamassa para 53% para verificar a interferência do mesmo na trabalhabilidade, homogeneidade e demais propriedades mecânicas do concreto, chegando-se à conclusão que o teor de argamassa inicial 51% era o ideal para continuidade do estudo. Em seguida, para verificar a eficácia do empacotamento, empregou-se outras proporções entre areia natural fina e areia de britagem (com % de areia de britagem entre 50 e 100, variando de 10 em 10%). Dessa forma, concluiu-se que a composição com 50% de cada agregado obteve melhor comportamento quando consideradas as propriedades mecânicas do concreto e resultados de resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias.

Por fim, a partir do traço referência e com essa proporção, montou-se a Curva de Abrams com os traços com agregados totais (m) variando de 4 a 7 (de 1 em 1) e analisou-se a viabilidade econômica do estudo realizado. As especificações dos traços que compuseram essa pesquisa estão descritas na tabela 3.

Tabela 3 – Traços da pesquisa

COMPOSIÇÃO DOS TRAÇOS ANALISADOS						
TRAÇO	% de Agregado				m	α (%)
TRAÇO REFERÊNCIA						
	AF	AG	Pe	B1		
TRR	40	60	40	60	6,127	51
ESTUDOS PRELIMINARES						
TR50	50	50	40	60	6,127	51
TR60	40	60	40	60	6,127	51
TR70	30	70	40	60	6,127	51
TR80	20	80	40	60	6,127	51
TR90	10	90	40	60	6,127	51
TR100	0	100	40	60	6,127	51
TRAÇOS FINAIS PARA CURVA DE ABRAMS						
TRm4	50	50	40	60	4	51
TRm5	50	50	40	60	5	51
TRm6	50	50	40	60	6	51
TRm7	50	50	40	60	7	51
Legenda: AF= areia natural fina; AG= areia natural grossa; AB: areia de britagem; Pe: pedrisco; B1: brita 1; m=agregados totais; α=teor de argamassa.						

Fonte: Autora.

3. RESULTADOS

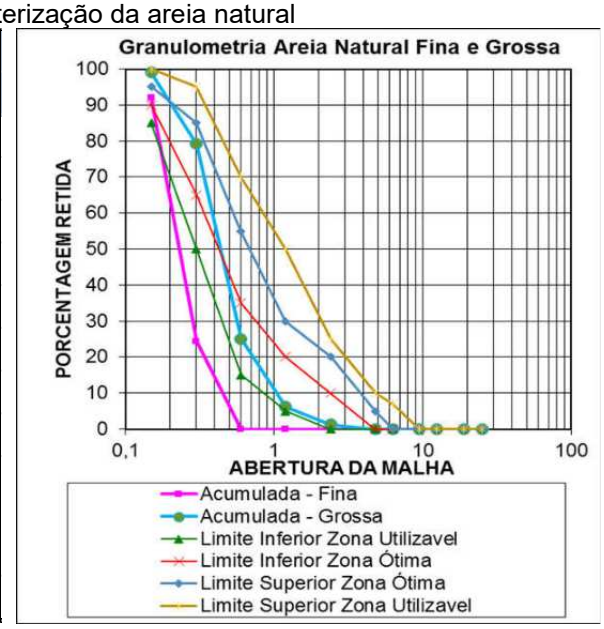
3.1 Caracterização agregados

Todos os ensaios seguiram as normas da ABNT e estão expostos nas figuras a seguir.

3.1.1 Areia natural fina e grossa

Figura 1 – Caracterização da areia natural

Caracterização Areia Natural		
Tipo ->	FINA	GROSSA
Massa Específica (g/cm³)	2,61	2,61
Massa Unitária (kg/m³)	1542,06	1613,07
Teor de material pulverulento (%)	0,64	0,32
Impurezas Orgânicas (ppm)	Menor que 300	Menor que 300
Dimensão Máx Característica (mm)	0,60	2,36
Módulo de Finura	1,16	2,11



Fonte: Autora.

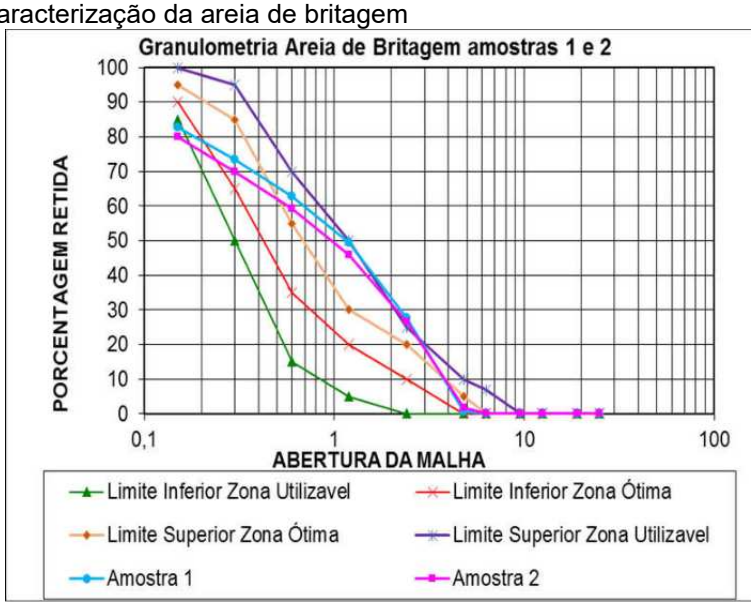
Pelas curvas granulométricas da figura 1, tem-se que a areia natural fina ficou abaixo do limite inferior da zona utilizável, enquanto a areia natural grossa ficou acima. Além disso, a areia fina apresentou módulo de finura abaixo na faixa normativa de 1,55 a 2,20, previsto pela ABNT NBR 7211 (2009), enquanto a areia grossa ficou entre esse intervalo. Os demais resultados não ultrapassaram os parâmetros das suas respectivas normas técnicas.

3.1.2 Areia de britagem

Foram recebidas duas amostras de areia de britagem. A primeira foi utilizada para rodar o traço referência e os que compuseram a análise preliminar. A segunda amostra, por sua vez, compôs os traços finais usados na Curva de Abrams, conforme discriminado na tabela 3.

Figura 2 – Caracterização da areia de britagem

Caracterização Areia de Britagem		
Amostras ->	Amostra 1	Amostra 2
Massa Específica (g/cm³)	2,87	2,82
Massa Unitária (kg/m³)	1779,52	1735,13
Teor de material pulverulento (%)	16,36	15,43
Impurezas Orgânicas (ppm)	Menor que 300	Menor que 300
Dimensão Máx Característica (mm)	4,75	4,75
Módulo de Finura	2,97	2,83



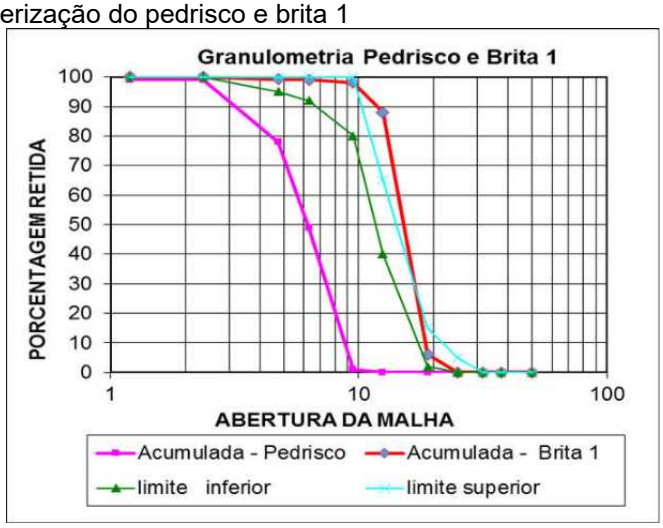
Fonte: Autora.

Em relação à curva granulométrica das duas amostras, pela figura 2, percebe-se que ambas se encontram dentro do limite da zona utilizável. Para os demais resultados temos que, no quesito teor de finos, ambas as amostras ultrapassaram o limite previsto na ABNT NBR 7211 (2009) de 10%. Sobretudo, os demais dados ficaram dentro do padrão.

3.1.2 Pedrisco e brita 1

Figura 3 – Caracterização do pedrisco e brita 1

Caracterização Pedrisco e Brita 1		
Material ->	**Pedrisco**	**Brita 1**
Massa Específica (g/cm³)	2,91	2,69
Massa Unitária (kg/m³)	1604,19	1530,28
Teor de material pulverulento (%)	2,48	0,69
Absorção de Água (%)	-	2,92
Dimensão Máx Característica (mm)	9,5	25
Módulo de Finura	5,73	7,03



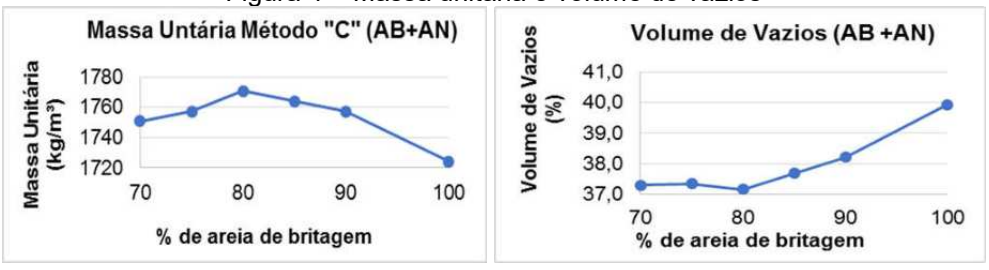
Fonte: Autora.

Pela figura 3, nota-se que a curva granulométrica do pedrisco ficou abaixo do limite inferior para agregados graúdos, enquanto a brita 1 ficou ligeiramente acima. Para os demais resultados temos que apenas o pedrisco apresentou teor de finos acima dos 1% estipulado pela ABNT NBR 7211 (2009).

3.2 Empacotamento dos agregados

Esse ensaio procedeu conforme descrito no item 2.2.2 desse estudo, em que se objetivou definir a proporção ideal entre a areia natural fina e areia de britagem (as duas areias que compuseram os traços desenvolvidos). Os resultados obtidos apontaram para a proporção com 20% de areia natural fina e 80% de areia de britagem, pois esta apresentou maior massa unitária com menor volume de vazios, conforme gráficos da figura 4.

Figura 4 – Massa unitária e volume de vazios



Fonte: Autora.

Todavia, na análise com outras proporções de areia natural fina e de britagem, apesar do concreto com 80% de areia de britagem ter apresentado resistência superior aos demais, no quesito trabalhabilidade, verificou-se que essa metodologia não foi a mais eficiente para definição da mistura ideal entre esses agregados. Dessa forma, definiu-se que a composição ideal entre esses materiais foi 50%. E através desta proporção foi dada continuidade ao estudo.

3.3 Ensaio de absorção de água por imersão, índices de vazios e massa específica

Esse ensaio foi realizado apenas para o traço referência (TRR) e para os que fariam parte da análise feita na Curva de Abrams (TRm4 ao TRm7), tabela 4.

Tabela 4– Resultados do ensaio de absorção

TRAÇOS	TRR	TRm4	TRm5	TRm6	TRm7
Aborção (%)	4,90	5,19	5,35	6,04	6,32
Índice de Vazios (%)	11,36	11,60	12,11	13,54	13,97
Massa Específica Seca (g/cm³)	2,32	2,23	2,28	2,24	2,21
Masssa Específica Saturada (g/cm³)	2,43	2,35	2,39	2,37	2,35
Massa Específica Real (g/cm³)	2,62	2,53	2,56	2,59	2,57

Fonte: Autora.

A durabilidade do concreto está relacionada com a sua porosidade, ou seja, capacidade de absorver água durante sua vida útil. Quanto mais poroso um concreto for, maior será sua absorção de água. Dessa forma, para o estudo dessas características, o mais importante são os dados de absorção de água e índices de vazios. Pela tabela 4, para os traços com 50% de areia de britagem e 50 % de areia natural fina (TRm4 ao TRm7), observa-se que o aumento da porosidade do concreto foi proporcional ao aumento dos agregados totais (m). Lembrando que isso pode estar relacionado a grande quantidade de finos.

Por sua vez, o traço referência (TRR) com areia natural grossa ao invés de areia de britagem em sua composição, apresentou resultado de absorção inferior aos demais. Isso pode estar relacionado ao melhor preenchimento de vazios quando se associou os agregados: areia natural fina, grossa, pedrisco e brita 1. Todavia, ainda que a absorção e o índice de vazios tenham se mostrado menores para essa mistura, não difere acentuadamente dos demais resultados que substituíram a areia natural grossa por areia de britagem, mostrando que essa substituição se mostrou viável para esse quesito também.

Ainda pela tabela 4, outro ponto a favor é que essa substituição gerou concretos com menor massa específica, característica importante para uso de peças estruturais.

3.4 Resistência à compressão axial e consumo de cimento

Para o estudo preliminar, em que se variou a quantidade de areia de britagem e areia natural fina para definição da melhor mistura entre esses componentes, foram feitos apenas ensaios de compressão axial para 7 e 28 dias, com exceção do TR80, que foi o traço definido no ensaio de empacotamento, tabela 5.

Tabela 5 – Resistência e consumo de cimento

TRAÇO	A/C	Slump (mm)	Resistência à Compressão Axial			Consumo de Cimento
			3 dias (MPa)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)	(kg/m³)
TRR	0,606	60	27,282	34,557	38,584	313,192
TR50	0,646	94	-	30,659	36,246	313,791
TR60	0,646	52	-	30,14	38,324	314,658
TR70	0,648	42	-	30,53	39,623	315,369
TR80	0,677	35	21,176	28,841	43,781	313,405
TR90	0,700	31	-	26,372	34,167	312,052
TR100	0,700	35	-	25,203	31,439	312,943
TRm4	0,469	105	34,687	46,249	55,473	445,937
TRm5	0,600	98	24,554	39,234	43,651	365,198
TRm6	0,652	101	22,865	27,282	35,856	316,956
TRm7	0,700	67	18,707	23,644	31,309	280,286
Legenda: A/C= relação água e cimento; Slump=abatimento em tronco de cone.						

Fonte: Autora.

Pela tabela 5, os resultados de resistência para o estudo preliminar (TR50 ao TR100) apontam crescimento da resistência à medida que a porcentagem de areia de britagem foi elevada, todavia isso foi verificado até a proporção de 80% de areia de britagem (AB) e 20% de areia natural fina (AF). Também é possível notar que quanto maior o teor de agregados totais, para traço com 50% de AB e 50% de AF, menor a resistência à compressão axial. Isso pode estar relacionado à maior presença de finos e consumo de água nessas misturas.

Para análise do consumo de cimento dos traços do estudo preliminar, observou-se que estes apresentaram certa diferença se comparados com o traço referência (TRR), fornecido pela empresa Polimix de Dourados/MS, e entre si, mas nada que comprometesse sua viabilidade.

Por fim, tem-se que para os traços com variação de agregados totais e proporção 50% de AB, o consumo de cimento foi inversamente proporcional ao teor de agregados totais (m). Isso foi verificado, pois, à medida que aumentou o “m”, a relação água/cimento também cresceu, fazendo o consumo de cimento acompanhar essa elevação inversamente.

3.5 Ensaio de Módulo Estático de Elasticidade à Compressão

Tabela 6– Resultados ensaio de módulo

Resultados do Ensaio de Módulo - NBR 8522:2008 (GPa)				
TRR	TRm4	TRm5	TRm6	TRm7
30,891	36,682	28,164	27,920	26,370

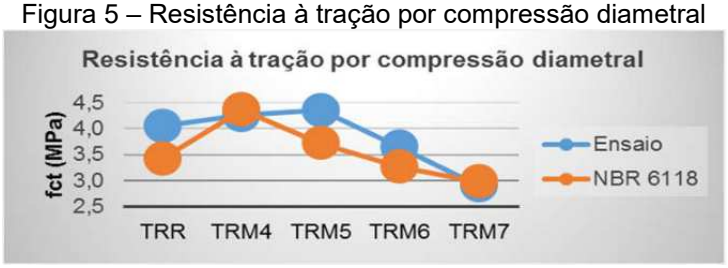
Fonte: Autora.

Esse ensaio procedeu para os traços descritos na tabela 6. A NBR 8522 (2008) estabelece limites de tolerância da dispersão dos resultados. Devendo ser no máximo 5%, caso contrário, os dados da amostra devem ser descartados. Adversidades com esse limite podem estar relacionadas a problemas no capeamento dos corpos-de-prova, procedimento que serve para nivelar a superfície do mesmo para que haja uniforme distribuição de carregamento em sua superfície. Assim, dos resultados da tabela 6, o traço TRm4 ultrapassou essa limitação, sendo o seu resultado não considerado nesse estudo. Pelos resultados da tabela 4 observa-se que nos traços com maiores agregados totais (m) há aumento da absorção de água e índices de vazios da mistura, o que justifica o decaimento do valor do módulo da tabela 6. Além disso, os valores encontrados foram inferiores aos da ABNT NBR 6118 (2014).

3.6 Ensaio para determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral

Na figura 5 temos a variação da tensão de ruptura à tração por compressão diametral. Para cada traço é possível notar que novamente a presença de maior quantidade de material fino afeta as propriedades do concreto, sendo para esse ensaio fator minimizante da resistência à compressão diametral. Também é possível perceber que os resultados obtidos estão acima do estipulado pela NBR 6118 (2014).

Figura 5 – Resistência à tração por compressão diametral



Fonte: Autora.

Pela figura 6 é possível notar que o concreto rompeu principalmente nos agregados, o que pode estar relacionado às características porosas que os mesmos apresentam. Ainda é possível verificar a presença de contaminação dos agregados, porque alguns apresentaram coloração amarelo-esverdeada e outros possuíam aspecto vítreo que, segundo análises petrográfica feitas pelo IPT é justificado pela presença de "vidro devitrificado em argilominerais verdes". Pelo mesmo estudo feito pelo IPT, também se verificou a reação álcali-agregado (RAA) potencialmente reativa.

Figura 6 – Corpo-de-prova rompido



Fonte: Autora.

3.7 Curva de Abrams e viabilidade econômica

Por meio de regressão linear simples, em que os parâmetros analisados foram relação água/cimento (a/c) e resistência à compressão (fcj) dos traços estudados, chegou-se à equação da Curva de Abrams para esse experimento, figura 7.

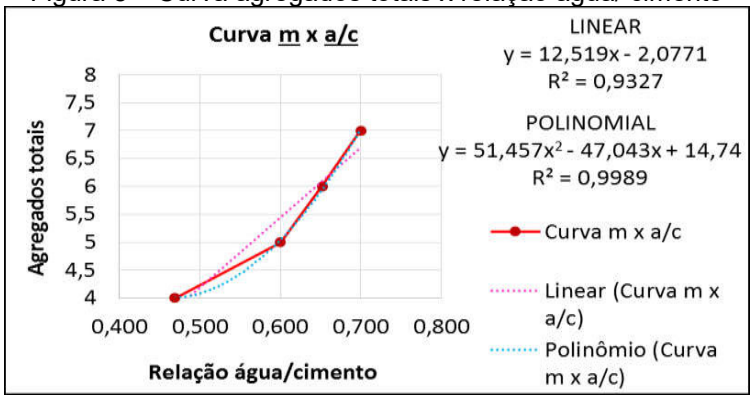
Figura 7 – Formulação de Abrams

Fórmula de Abrams
$fc = \frac{185,57059}{12,15543^{a/c}}$

Fonte: Autora.

Com a relação a/c e o teor de agregados totais (m) dos traços foi possível criar uma curva, figura 8.

Figura 8 – Curva agregados totais x relação água/ cimento



Fonte: Autora

A partir dessa curva foram traçadas duas linhas de tendência, uma linear e uma polinomial. A escolha da curva mais adequada foi relacionada ao coeficiente de determinação (R^2), que é a medida de ajustamento de um modelo estatístico. Seu valor varia de 0 a 1 e quanto mais próximo de 1, mais representativa a equação será. Portanto, a curva polinomial foi a escolhida nesse trabalho.

Dessa forma, com o fator água/cimento, encontrado a partir da Fórmula Abrams da figura 7, foi possível definir o valor dos agregados totais, figura 8. Com essas ferramentas tornou-se possível calcular traços unitários de concreto e seus consumos de cimento.

Por fim, foram elaborados dois traços por meio dessa metodologia, um sem considerar as condições de confecção do concreto e outro considerando em condição do tipo "A" da tabela 6 da NBR 12655 (2006), em que há controle de qualidade da produção que define desvio-padrão como 4MPa. Ambos foram traços com uso de areia de britagem em substituição total da areia natural grossa.

O custo para produzir essas misturas foi comparado com o custo para produzir o traço referência, com areia natural grossa em sua composição. Sendo o valor do transporte já considerado nesse estudo.

Para análise da viabilidade econômica partiu-se dos valores por tonelada de cada material, dados fornecidos pela empresa Polimix e pedreira Esteio de Dourado/MS, tabela 7.

Tabela 7 – Custo dos materiais

Materiais	Cimento Cauê- CP II F32	Ar. Nat.Fina	Ar. Nat. Grossa	Ar. de Britagem	Pedrisco	Brita 1	Aditivo PXT 574
R$/Tonelada	454,00	26,66	37,64	41,00	42,91	40,91	2,664

Fonte: Autora.

Tabela 8 – Custo- Traço Referência- Polimix

Traço Referencia- TRR					
Material	**Massa Especifica (g/cm³)**	**Traço Unitário (kg)**	**Consumo (kg/m³)**	**Custo Unitário**	**Custo Total**
Cimento Cauê- CP II F32	3,14	1,00	313,192	0,454	142,19
Areia Natural Fina	2,61	1,054	330,104	0,027	8,91
Areia Natural Grossa	2,82	1,581	495,157	0,038	18,82
Pedrisco	2,91	1,397	437,529	0,043	18,81
Brita 1	2,69	2,095	656,137	0,041	26,90
Aditivo PXT 574 (Plastificante)	1,07	0,80%	2,506	0,0026643	0,0067
Água	1	0,606	189,794	**Total**	**215,64**

Fonte: Autora.

Tabela 9 – Custo- traço sem considerar a características da produção do concreto

Traço Obtido pelas curvas					
Material	**Massa Especifica (g/cm³)**	**Traço Unitário (kg)**	**Consumo (kg/m³)**	**Custo Unitário**	**Custo Total**
Cimento Cauê- CP II F32	3,14	1,00	327,12	0,454	148,51
Areia Natural Fina	2,61	1,2327	403,24	0,027	10,89
Areia de Britagem	2,82	1,2327	403,24	0,041	16,53
Pedrisco	2,91	1,3318	435,66	0,043	18,73
Brita 1	2,69	1,9977	653,48	0,041	26,79
Aditivo PXT 574 (Plastificante)	1,07	0,8%	2,62	0,0026643	0,0070
Água/Cimento	1	0,629	205,69	**Total**	**221,47**

Fonte: Autora.

Tabela 10 – Custo- traço com controle de produção

Traço Sugestão - Com desvio padrão 4 Mpa					
Material	**Massa Especifica (g/cm³)**	**Traço Unitário (kg)**	**Consumo (kg/m³)**	**Custo Unitário**	**Custo Total**
Cimento Cauê- CP II F32	3,14	1,00	282,82	0,454	128,40
Areia Natural Fina	2,61	1,4880	420,83	0,027	11,36
Areia de Britagem	2,82	1,4880	420,83	0,041	17,25
Pedrisco	2,91	1,5280	432,15	0,043	18,58
Brita 1	2,69	2,2920	648,23	0,041	26,58
Aditivo PXT 574 (Plastificante)	1,07	0,8%	2,26	0,0026643	0,0060
Água/Cimento	1	0,700	197,97	**Total**	**202,18**

Fonte: Autora.

Pelas tabelas 8,9 e 10, tem-se que os concretos produzidos com areia de britagem e sem considerar controle dos processos produtivos apresentaram custo 2,7% superior em relação ao traço referência. Todavia, se houver controle de produção, conforme especificado pela tabela 6 da NBR 12655 (2006), é possível uma economia de 6,24% em relação ao traço referência.

Considerou-se o referido controle de produção da NBR 12655 (2006): cimento e agregados medidos em massa, água de amassamento medida em massa ou em volume (com dispositivo dosador) e corrigida em função da umidade dos agregados.

4. CONCLUSÕES

A partir de estudos ancorados em pesquisas e ensaios laboratoriais, foi possível observar e caracterizar o comportamento dos concretos com utilização de areia de britagem para substituição parcial de areia natural, verificando o impacto que essa substituição gera no consumo de cimento e na viabilidade econômica do concreto.

Primeiramente, observou-se que o controle de qualidade entre as amostras de areia de britagem foi de suma importância para garantir viabilidade da comparação feita entre os traços estudados. Outro aspecto verificado foi que o uso desse agregado gerou características satisfatórias para os estudos de absorção de água e índice de vazios, módulo, resistência à compressão axial e diametral. Por fim, de acordo com o principal objetivo desse estudo já supracitado; observou-se que o uso desse resíduo de britagem pode ter destinação ambientalmente correta, tecnologicamente eficiente e economicamente viável, já que seu uso, se feito com controle de processo de produção, gera economia de 6,24% se comparado com o concreto utilizando areia natural grossa.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 46:** Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 49:** Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas. Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739:** Concreto- Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificação. Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7222:** Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8522:** Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de agua, índices de vazios e massa específica. Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12655:** Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento. Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2006.

BATTAGIN I. L.S. **Módulo de Elasticidade do Concreto- Normalização, fatores de influência e interface com o pré-moldado**. ABCIC, 2008.

BERTOCINI, S. R. **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial à areia fina para a produção de concretos convencionais,** Florianópolis-SC, 2002.

CARVALHO, R.C.; FILHO, J. R. F. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado segundo a NBR 6118:2014**. Editora EDUFSCAR, São Carlos-SP, 2015.

DUFF A. ABRAMS **- Design of concrete mixtures**. Lewis Institute Chicago, 1918.

FERREIRA, R. B. **Dosagem de concreto – Regressão linear simples, método dos mínimos quadrados.** PUC Goiás, (2012).

HELENE, P.; TERZIAN, P. **IPT- Roteiro prático para dosagem dos concretos estruturais**, 1993.

LIMA, R. C. **Areia artificial: uma alternativa para uso em construção civil**. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, 2004.

SANTOS A., CABRAL L., MONTEIRO E. E HELENE P. **Análise do Módulo de Elasticidade Estático e Dinâmico para diferentes dosagens de concreto** In. Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto, 2013.