Concreto Sustentável: Substituição da Areia Natural por Pó de Brita para Confecção de Concreto Simples

SILVA, L. S., DEMETRIO, J. C. C., DEMETRIO, F. J. C. *

Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, São Luís - MA
**fernandojcd@hotmail.com*

Resumo

O trabalho proposto neste artigo foi o de analisar a viabilidade técnica e econômica da substituição da areia natural de rio por pó de brita na mistura do concreto convencional, verificando a redução do impacto ambiental com o uso do pó de brita, mostrar a viabilidade do uso do pó de brita em dosagem de concreto convencional e apresentar uma dosagem de concreto mais sustentável ambientalmente. O pó de brita possui a vantagem, além de ser mais econômico na composição dos serviços, também pelo fato de sua utilização eliminar um rejeito do processo de britagem dando um fim adequado, de reduzir os danos causados pela exploração da areia nos leitos dos rios.

Palavras-chave: *brita, sustentável, concreto, areia, viabilidade.*

1. Introdução

O Brasil vive uma era de enorme crescimento econômico e dentre os três setores da economia (agricultura, serviços e construção civil) é o setor da construção civil que vem crescendo cada vez mais, impulsionado devido os grandes empreendimentos que vem surgindo no território brasileiro, da exploração do petróleo a grandes eventos esportivos. Este setor possuiu uma representação de cerca de 5,7% do Produto Interno Bruto (PIB) no ano de 2013, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e também é um dos setores que mais geram empregos.

Na Engenharia Civil é notável que as estruturas de concreto sejam as mais empregadas. E a qualidade do concreto é diretamente proporcional à qualidade dos agregados nele empregado, uma vez que a definição de concreto se baseia na mistura homogênea de agregados, cimento e água devidamente dosados.

A indústria da construção civil consome cerca de 75% dos recursos naturais produzidos em todo o planeta (PINTO, 1999) . Dentre os produtos, destas atividades mineradoras, os mais utilizados nas obras de construção civil são o cimento e os agregados. Os agregados miúdos possuem uma maior importância para proporcionar uma boa qualidade ao concreto, e um dos mais utilizados é a areia natural. Diante do crescente aumento da demanda por areia natural, os recursos naturais estão ficando cada vez mais escassos. Essa escassez tem refletido no custo desses agregados e por consequência no custo do metro cúbico do concreto, seja ele usinado ou fabricado na obra.

Atualmente os órgãos ambientais estão restringindo cada vez mais a extração da areia natural em leitos de rios, uma vez que, estas atividades extrativistas degradam qualquer que seja as espécies de

vegetação localizadas próximas às margens dos cursos d'água, áreas essas conhecidas como áreas de preservação permanentes visto que o Código Florestal Brasileiro (1965), por meio da Lei 4.771/65, considera como áreas de preservação permanentes as florestas e demais formas de vegetações naturais situadas ao longo dos rios ou cursos d'água. (CARBONARI; GUIZILINI; KLEIN, 2006). Como a areia natural é obtida, principalmente, através da extração em leito de rios, as licenças para exploração deste material têm sido suspendidas, tornando a areia natural um material mais caro e escasso (SILVA et. al., 2005; ALMEIDA E SILVA, 2005).

Portanto, a substituição da areia natural de rio por materiais alternativos tem se tornado uma realidade promissora e o agregado miúdo, utilizado na fabricação do concreto convencional, substituído por "pó de pedra" mostra ser uma alternativa significante. Segundo Valverde (2001): "a utilização de areias provenientes de britagem de rochas graníticas encontra-se ainda em um nível reduzido, estima-se que apenas 9% da areia utilizada no estado de São Paulo na construção civil tenha esta origem". Então, surge a necessidade de analisar a viabilidade técnica e econômica da substituição da areia natural de rio por pó de brita na mistura do concreto convencional, verificando a redução do impacto ambiental com o uso do pó de brita, mostrar a viabilidade do uso do pó de brita em dosagem de concreto convencional e apresentar uma dosagem de concreto mais sustentável ambientalmente.

2 Metodologia

Inicialmente foi definido o que seria abordado na elaboração de concreto simples com 20 Mpa, pois a resistência do concreto trata-se de um assunto muito extenso tornando inviável analisar todas. O estudo focou-se apenas na resistência de 20 Mpa, pois é a resistência mais utilizada para a confecção de estruturas de concreto do tipo pisos, contrapisos, vigas e pilares.

Em seguida, foi efetuada uma ampla revisão bibliográfica as quais foram feitas pesquisas por meio do estudo e da análise de materiais publicados, abrangendo livros, artigos científicos, monografias, revistas técnicas, normas regulamentadoras que apresentassem em seu conteúdo informações e dados relevantes a respeito do objeto deste estudo. Após a revisão bibliográfica foram feitos ensaios laboratoriais objetivando caracterizar todos os materiais componentes do concreto, o estudo das resistências à compressão e análises de custo econômico.

Na sequência, com o intuito esclarecer o conteúdo, foi apresentado ao orientador seminários, objetivando o intercâmbio entre pontos de vista sobre os assuntos discutidos anteriormente. Depois de realizado todos os estudos, ensaios laboratoriais, análises e esclarecidas todas as dúvidas, como parte final do trabalho o aluno reuniu todo material analisado e redigiu um texto em formato de monografia, seguindo as normas técnicas de formatação de texto cientifico para apresentação a uma banca especializada que avaliará o trabalho desenvolvido.

A metodologia deste estudo ficou dividida em caracterização dos materiais e a etapa de dosagem. Onde a etapa de caracterização dos materiais englobou:

Ensaio de determinação da massa específica do cimento Portland: conforme NBR NM 23/2001 "Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica": mais conhecido como Ensaio do Frasco de Le Chatelier, foram ensaiadas duas amostras de 60g. Esse método consistiu em: encher o frasco com um líquido que não reaja com o material com densidade igual ou superior a 0,731 g/cm3 a 15°C, no caso foi colocado querosene, até o nível compreendido entre as marcas correspondentes a zero e 1 cm3 e registra-se a leitura V1. Em seguida foi introduzido 60 g de cimento com o auxílio de um funil de haste curta, atentando para que não ocorra aderência de material nas paredes internas do frasco. Feito isso o frasco foi tampado e girado em posição inclinada ou suavemente em círculos horizontais até que não subam borbulhas de ar para a superfície do líquido. E então registrado a leitura V2. Com isso foi possível utilizar-se da seguinte formula:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Onde:
- ρ = massa específica do material ensaiado; deve ser expressa em g/cm3;

- m = massa do material ensaiado; deve ser expressa em g;
- V = volume deslocado pela massa do material ensaiado (V2 – V1); deve ser expressa em cm3;

Ensaio de granulometria dos agregados miúdos (areia natural e pó debrita) – conforme ABNT NBR 7217/1987 "Agregados – Determinação da Composição Granulométrica": O ensaio consistiu em basicamente separar os grãos do agregado miúdo de acordo com a dimensão, por meio do peneiramento, após foi medido a massa retida em cada peneira, em seguida feito o somatório das porcentagens retidas acumuladas da série, dita pela norma como normal, obtendo o módulo de finura. E em seguida calcula-se o diâmetro máximo das partículas (Dmax) que é correspondente ao valor do número da peneira da série normal na qual a porcentagem acumulada seja inferior ou igual a 5%. Foram realizados ensaios para duas amostras de Areia Natural (a NBR 7217 recomenda a realização do ensaio com no mínimo duas amostras) e para três amostras de Pó de Brita. A escolha de três amostras de pó de brita foi escolhida devido ao fato de ser um material resíduo do processo de britagem e por isso ele não possui, em muitas pedreiras do Brasil, um bom controle tecnológico;

Ensaio de determinação da massa específica da areia natural por meio do frasco Chapman – conforme ABNT NBR 9776/1987 "Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman": Esse método foi escolhido para determinar a massa específica da Areia Natural a qual foi ensaiado duas amostras de 500g. Esse método consistiu em: colocar água no frasco até marca indicada pela norma NBR 9776/1987 de 200 cm3, deixando-o por um tempo em repouso, para que a água aderida às faces internas escorra totalmente; em seguida introduziu-se, com cuidado e precisão, 500 g de agregado miúdo seco no frasco o qual foi evidamente agitado para eliminação das bolhas de ar e deixado em repouso novamente para que água e os grãos aderidos às faces internas escorressem totalmente. Após isso foi feita a leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco, essa leitura indica o volume, em cm3, ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo.

Com os valores obtidos no ensaio a NBR 9776, dita o uso da seguinte

fórmula:

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

Onde:
- Y = massa específica do agregado miúdo; deve ser expressa em g/cm3;
- L = leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo).

Ensaio de determinação da massa específica da composição de 32% de areia natural com 64% de pó de brita por meio do frasco Aferido – conforme NM 52, 2009 "Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente": com isso foram ensaiadas amostras de 160g de Areia Natural e 340g de Pó de Brita. Esse método consistiu em: inicialmente foi pesado (500,0 ± 0,1) g de amostra (ms), depois a amostra foi colocada em um frasco aferido e registrado a massa do conjunto (m1). Em seguida o frasco foi cheio com água até próxima da marca de 500 ml, posteriormente foi movido de forma a eliminar as bolhas de ar e depois colocado em um banho mantido à temperatura constante de (21 ± 2) °C. Após 1 h, aproximadamente, completou-se com água até a marca de 500 cm3 e determinou-se a massa total com precisão de 0,1 g (m2). Feito isso o agregado miúdo foi retirado do frasco e secado a (105 ± 5) °C em estufa até massa constante (± 0,1 g). Depois de seco foi pesado com precisão de 0,1 g (m).

Os valores obtidos no ensaio foram registrados e aplicados nas seguintes formulas preconizados na própria norma:

$$d3 = \frac{m}{(V-Va) - \frac{(ms-m)}{\rho a}}$$

Onde:

- d3 = massa específica do agregado; em g/cm3;

- m = é a massa da amostra seca em estufa; em g;
- V = é o volume do frasco; em cm3;
- ms = é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, em g;
- ρa = é a massa específica da água; em g/cm3.
- Va = é o volume de água adicionado ao frasco dado pela fórmula da NM 52/09 abaixo; em cm3;

$$Va = \frac{m2-m1}{\rho a}$$

Onde:
- m1 = é a massa do conjunto (frasco + agregado); em gramas;
- m2 = é a massa total (frasco + agregado + água); em gramas;
- ρa = é a massa específica da água; em g/cm3.

Ensaio de determinação da umidade relativa da areia natural por meio do frasco de Chapman – conforme ABNT NBR 9775/1987 "Agregados – Determinação da umidade superficial em agregados miúdos por meio do frasco de Chapman": O procedimento foi realizado semelhante ao ensaio de massa específica da NBR 9776, a diferença é que para o ensaio de umidade a amostra foi ensaiada no seu estado natural de umidade relativa. E os valores obtidos foram aplicados na fórmula:

$$h = \frac{100 \times [500-(L-200) \times Y]}{Y \times (L-700)}$$

Onde:

- h = porcentagem de umidade;
- Y = massa específica do agregado miúdo; em g/cm3;
- L = leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo).

Ensaio de granulometria dos agregados graúdos (brita) – conforme ABNT NBR 7217/1987 "Agregados – Determinação da Composição Granulométrica": foram adotadas duas amostras de Brita, 5000g cada e sendo a série normal de peneiras adotada.

Ensaio de determinação da massa específica da brita por meio do picnômetro – conforme IPT M9/76 "Determinação da massa específica do agregado graúdo pelo método do picnômetro": Foi usado picnômetro com capacidade de 1000ml e 1000g de amostra seca de brita, onde depois o picnômetro foi completado com água até a marca indicada e pesada, depois foi adicionado a massa de brita de 1000g e pesado o conjunto picnometro-água-amostra e aplicado os valores obtidos na formula seguinte:

$$\rho = \frac{ms}{(m1+ms)- m2}$$

Onde:

- ρ = massa específica do agregado; em g/cm3;
- ms = massa da amostra; em g;
- m1 = massa do conjunto picnômetro-água; em g;
- m2 = massa do conjunto picnômetro-água-amostra; em g.

Definição do Aditivo plastificante multifuncional retardador de pega: O aditivo utilizado foi o Muraplast FK 101, do fabricante MC-Bauchemie Brasil. Muraplast FK 101. Foi adotado esse aditivo por ele possuir as seguintes propriedades e características: reduz a tensão superficial da água de mistura, boa dispersão das partículas de cimento, melhora da trabalhabilidade, ganho de tempo devido à facilidade da aplicação do concreto, melhoria o adensamento junto à armadura, provoca um pequeno retardo no tempo de pega, permite ótimas formulações de concreto e permite uma manutenção da trabalhabilidade adequada nos ambientes quentes.

Já a etapa de dosagem é compreendida pelos seguintes itens abaixo listados:

Escolha do método de dosagem: O método adotado para realizar a dosagem, foi o Método da ABCP; Definição dos dados iniciais: foi definido que o fck será de 20Mpa, com Sd de 4,0 Mpa, abatimento de 100 +- 20mm e com lançamento convencional, itens esses escolhidos pelos motivos já explicados anteriormente no trabalho;

Cálculo da resistência de dosagem: por meio da fórmula

fcj = fck + (1,65 x Sd).

Onde:
fck = Resistência média do concreto;
j = Idade do concreto (28 dias);
fck = Resistência característica do concreto à compressão;
Sd = Desvio padrão de dosagem.

Determinação do fator água/cimento (A/C) com base no Ábaco de Abrams: foi calculada a resistência média à compressão aos 28 dias pela fórmula do item l e com esse valor foi acessado o ábaco de Abrams na linha correspondente ao cimento Portland CP32 e encontrado a relação A/C.

Determinação da estimativa do consumo de água/m3 de concreto: com base na dimensão máxima característica do agregado graúdo e sabendo o abatimento que se deseja obter foi acessada a tabela 6 e retirado o valor do consumo de água/m3 de concreto em L/m3.

Cálculo do consumo de cimento por m3 de concreto: foi divido o consumo de água pelo fator A/C e descoberto o consumo de cimento em kg.

Estabelecimento das proporções entre agregados: foi utilizado o ábaco de França (anexo B), descobrindo o coeficiente S em função do consumo de cimento por metro cúbico de concreto e a dimensão característica do agregado graúdo e com isso aplicando nas fórmulas de França abaixo:

$$A\% = \frac{100}{1+S}$$

$$B\% = 100 - A\%$$

Onde:
A% = Porcentagem de agregado miúdo;
B% = Porcentagem de agregado graúdo;
S = Relação entre percentual de agregado graúdo e miúdo;

Cálculo do consumo de agregados por m3 de concreto: foi considerado o dimensionamento de um traço para 1 m3 (sabendo que 1 m3 é igual a 1000L) de concreto e utilizado as os valores das massas de cimento, areia, brita e água dividido pelas suas respectivas massas específicas, aplicando, então, na seguinte expressão:

$$\frac{\text{M cimento}}{\text{M.E cimento}} + \frac{\text{M areia}}{\text{M.E areia}} + \frac{\text{M brita}}{\text{M.E brita}} + \frac{\text{M água}}{\text{M.E água}} = 1000$$

Cálculo do traço em peso: para o traço ser em peso foi divido a massa de cada material pela massa do cimento, e apresentado da seguinte forma:

c : a : b : a/c

Onde:
c = Quantidade de cimento em peso (igual a 1) para 1 m3 de concreto;
a = Quantidade de agregado miúdo em peso para 1 m3 de concreto;
b = Quantidade de agregado graúdo em peso para 1 m3 de concreto;
a/c = Fator água cimento para 1 m3 de concreto.

Correção do traço pela umidade da areia: o traço calculado no item anterior foi corrigido retirando-se o teor de umidade da areia, utilizando do ensaio de Chapman e subtraindo essa porcentagem do total de agregado miúdo e essa mesma porcentagem de umidade do Chapman foi retirada do total d élitros de água.

Correção do traço pela proporção de brita/areia: a proporção entre brita e areia é foi feita dividindo o valor em peso do traço da brita pelo da areia.

Composição do traço de pó de brita com areia natural: com base no objetivo do trabalho que é, resumidamente, mostrar o potencial do pó de brita de substituir a areia natural, foram feitas algumas proporções entres esses dois materiais. A proporção adotada foi de 32% de areia natural com 68% de pó de brita, essa proporção foi escolhida com base nos limites de zona ótima de distribuição granulométrica do agregado miúdo da norma NBR 7211,2009 "Agregados para Concreto – Especificações" (ver tabela 01) utilizando o recurso Solver do Microsoft Office Excel 2007.

Desenvolvimento de método Solver Microsoft Office Excel 2007: O Solver é componente de um pacote de softwares, do Excel, chamado de ferramentas de teste de hipóteses. O Solver permite encontrar um valor ideal, seja ele máximo ou mínimo, para uma expressão matemática alocada em uma célula, chamada de célula de objetivo, de acordo com as restrições e limites impostos, sobre os valores de outras células de fórmulas matemáticas em uma planilha.

A metodologia do Solver engloba um grupo de células, chamadas variáveis de decisão, que participam em conjunto do cálculo das fórmulas nas células de objetivo e de restrição, ajustando automaticamente os valores nas células variáveis de decisão, satisfazendo, assim, aos limites sobre células de restrição e enfim produzindo o resultado desejado para a célula objetiva.

Determinação de traços a serem analisados e de traços auxiliares: foi adotado dois tipos base de traço, com e sem aditivo. Os traços auxiliares foram adotados com base em Helene e Tutikian (2011) que dizem que há a necessidade de criar mais dois traços (chamado de traço pobre e traço rico) além do dimensionado mantendo o teor de argamassa constante. Com isso foram criados 12 traços:
-100% areia com aditivo + traço pobre com aditivo + traço rico com aditivo;
-100% areia sem aditivo + traço pobre sem aditivo + traço rico sem aditivo;
-32% de areia com 68% de pó de brita com aditivo + traço pobre com aditivo + traço rico com aditivo;
-32% de areia com 68% de pó de brita sem aditivo + traço pobre sem aditivo + traço rico sem aditivo;

Elaboração de um programa de ensaios laboratoriais: definindo datas e ensaios a serem realizados, ensaios esses: corpo de prova cilíndrico 10cm x 20cm; Slump Test 10cm x 5cm x 30cm e ensaios à compressão simples dos corpos de prova com idade de 3, 7 e 28 dias; Análise dos resultados com elaboração de planilhas e gráficos comparativos; Elaboração de mapa-gráfico comparativo das regiões brasileiras (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul): com os valores unitários por m3 de areia natural e pó de brita sem considerar o valor do frete;

Após os testes foi feita uma análise da viabilidade econômica da composição de areia e pó de brita para confecção de concreto convencional para o Estado do Maranhão com preços SINAPI/CAIXA ECONÔMICA do mês de novembro/2014 e elaborado uma conclusão

A execução das fases da metodologia desta pesquisa foi realizada em dois locais distintos:
-A parte da caracterização dos materiais foi realizada no LSP-UEMA
-E a etapa da dosagem e fabricação do concreto foi realizada na concreteira REDIMIX

Para que os objetivos desse trabalho de pesquisa fossem alcançados satisfatoriamente, antes de qualquer ensaio e dosagem, foi feito um estudo de obras literárias acerca das características do concreto convencional lançado de maneira simples e dos métodos de dosagem respaldos tecnicamente e dos procedimentos de avaliação técnica do concreto convencional.

Os ensaios de avaliação do concreto, nessa pesquisa adotada, foram estabelecidos no intuito de obter as informações mais importantes e incisivas das propriedades essências do concreto convencional (CC), como a resistência característica à compressão, consistência e trabalhabilidade. Os ensaios

escolhidos foram: Ensaio à Compressão Simples (ECS) e Ensaio do Abatimento do Tronco de Cone (EATC).

Os materiais constituintes do concreto (areia natural, pó de brita, brita 25mm, cimento e aditivo FK 101) foram adquiridos na REDIMIX. O acondicionamento do cimento foi feito em pellets de madeira a fim de prolongar a sua vida útil e o pó de brita foi adquirido de maneira gradativa assim que havia necessidade, uma vez que esse material não se situava próximo nem da REDIMIX nem do LSP-UEMA.

No laboratório da empresa concreteira REDIMIX foi separado de maneira distinta e catalogado, no decorrer da fabricação dos diferentes traços dessa pesquisa e de acordo com os quantitativos desses mesmos, a areia natural, a brita 19mm e o pó de brita em quantidades suficientes para todo o desenvolvimento da pesquisa, evitando desperdícios, acúmulo de material e desorganização da área de trabalho disponível.

3 Resultados e Discussão

3.1 Relação água/cimento

A tabela 1 apresenta os valores da relação A/C e o abatimento encontrado, este prefixado em 100mm +- 20mm. Tem-se, na tabela, o traço de referência com e sem aditivo seguido dos traços pobre e rico assim como, também, temos o traço com 32% de areia e 68% de pó de brita com e sem aditivo seguido dos traços pobre e rico.

Tabela 1: Resultados dos fatores A/C dos traços laboratoriais

Traços Com Aditivo									
Traço	*nº*	*T. Argamassa*	*Cimento*	*Areia*	*Pó de Brita*	*Brita*	*Aditivo (ml)*	*A/C*	*Slump (mm)*
T.Ref.C	1	0,55	1,000	2,068	-	2,480	6,778	0,57	120
T.Ref.R.C	1.1	0,55	1,000	1,501	-	2,047	6,778	0,49	110
T.Rerf.P.C	1.2	0,55	1,000	2,601	-	2,947	6,778	0,49	105
T.Test.C	2	0,55	1,000	0,662	1,406	2,480	6,778	0,57	110
T.Test.R.C	2.1	0,55	1,000	0,480	1,021	2,047	6,778	0,57	120
T.Test.P.C	2.2	0,55	1,000	0,832	1,769	2,947	6,778	0,49	120
Traços Sem Aditivo									
Traço	*nº*	*T. Argamassa*	*Cimento*	*Areia*	*Pó de Brita*	*Brita*	*Aditivo (ml)*	*A/C*	*Slump (mm)*
T.Ref.S	3	0,55	1,000	2,068	-	2,480	-	0,57	115
T.Ref.R.S	3.1	0,55	1,000	1,501	-	2,047	-	0,63	105
T.Rerf.P.S	3.2	0,55	1,000	2,601	-	2,947	-	0,63	100
T.Test.S	4	0,55	1,000	0,662	1,406	2,480	-	0,59	105
T.Test.R.S	4.1	0,55	1,000	0,480	1,021	2,047	-	0,59	120
T.Test.P.S	4.2	0,55	1,000	0,832	1,769	2,947	-	0,74	120

Com base na tabela 1, observa-se que, os traços auxiliares do traço referência com aditivo (T.Ref.R.C e T.Ref.P.C) obtiveram a mesma relação A/C, assim como os sem aditivo (T.Ref.R.S e T.Ref.P.S), onde o traço auxiliar rico, devido a menor proporção de agregado graúdo, obteve Slump maior que o do traço pobre.

Os traços testes de pó de brita número 2 e 4 em comparação com os traços referências sem pó de brita 1 e 3, respectivamente, obtiveram Slump menor. Isso se dá devido o fato da presença maior de finos na composição do pó de brita e tem influência direta na trabalhabilidade e resistência. Organizando melhor, de uma maneira geral, podemos retirar uma média dos A/C na seguinte maneira:

- Para os traços com pó de brita com aditivo: (0,57+0,57+0,49)/3 = 0,59.
- Para os traços com 100% de areia com aditivo: (0,57+0,49+0,49)/3 = 0,51.
- Para os traços com pó de brita sem aditivo: (0,59+0,59+0,74)/3 = 0,64.
- Para os traços com 100% de areia sem aditivo: (0,57+0,63+0,63)/3 = 0,61.

Observou-se, também, que os traços sem aditivos obtiveram um abatimento de cone menor que os traços com aditivos.

3.2 Resistência à Compressão

Na análise de resistência mecânica, compararam-se os traços de referência com os traços empregando o pó de brita (traços testes). Na tabela 2 apresentam-se os resultados dos ensaios de resistência à compressão relacionando as respectivas idades do concreto.

Tabela 2: Resistência à compressão simples dos traços laboratoriais

Traços Com Aditivo				
Traço	*nº*	*Resistência aos 3 dias (Mpa)*	*Resistência aos 7 dias (Mpa)*	*Resistência aos 28 dias (Mpa)*
T.Ref.C	1	19,84	24,92	41,02
T.Ref.R.C	1.1	20,76	25,38	29,80
T.Rerf.P.C	1.2	15,53	20,14	31,84
T.Test.C	2	21,07	27,77	35,92
T.Test.R.C	2.1	12,36	23,99	27,16
T.Test.P.C	2.2	9,84	19,30	28,16
Traços Sem Aditivo				
Traço	*nº*	*Resistência aos 3 dias (Mpa)*	*Resistência aos 7 dias (Mpa)*	*Resistência aos 28 dias (Mpa)*
T.Ref.S	3	18,52	22,60	34,72
T.Ref.R.S	3.1	14,86	22,28	27,44
T.Rerf.P.S	3.2	20,63	19,42	29,30
T.Test.S	4	13,85	19,30	28,84
T.Test.R.S	4.1	13,48	21,57	28,06
T.Test.P.S	4.2	14,74	16,30	26,64

Para um melhor entendimento e visualização dos valores das resistências à compressão simples, os dados da tabela 2 foram traduzidos nos gráficos das figuras 1, 2, 3 e 4 a seguir.

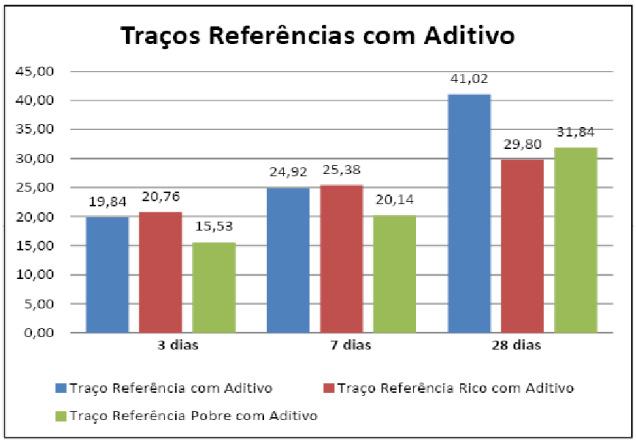

Fig. 1. Resistência à compressão simples dos traços referências com aditivo

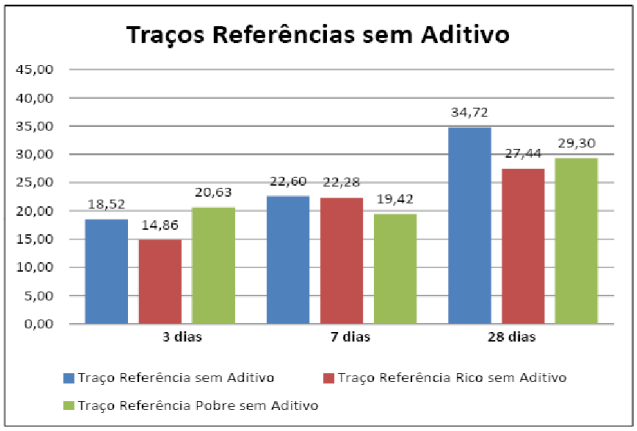

Fig. 2. Resistência à compressão simples dos traços referências sem aditivo

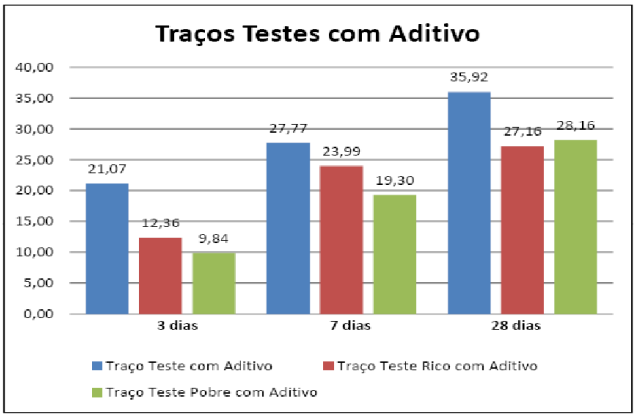

Fig. 3. Resistência à compressão simples dos traços testes com aditivo

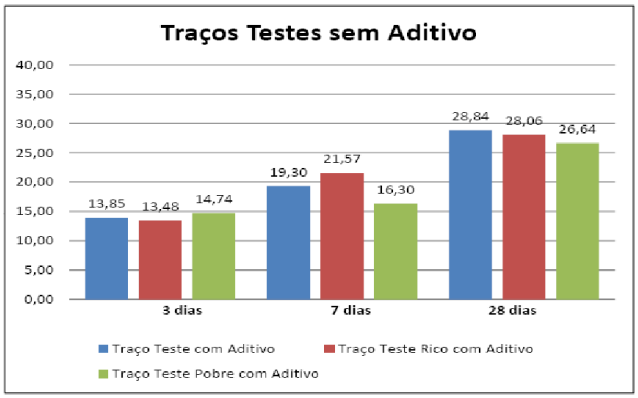

Fig. 4. Resistência à compressão simples dos traços testes sem aditivo

Percebe-se com base nos dados da tabela e dos gráficos das figuras 1, 2, 3 e 4 que de uma maneira geral os resultados foram satisfatórios, alcançando o fck de 20Mpa. É notório que os traços com aditivo obtiveram um relativo aumento de resistência em comparação com os traços sem aditivos, pelo fato de que o aditivo plastificante possui a característica de reduzir o fator água/cimento do concreto sem perda de trabalhabilidade, aumentando, assim, a resistência nominal do concreto.

3.2 Viabilidade Econômica

Em uma maneira geral podemos fazer um levantamento por regiões dos preços do metro cúbico da areia natural media e do pó de brita, como pode ser observado na figura 5.

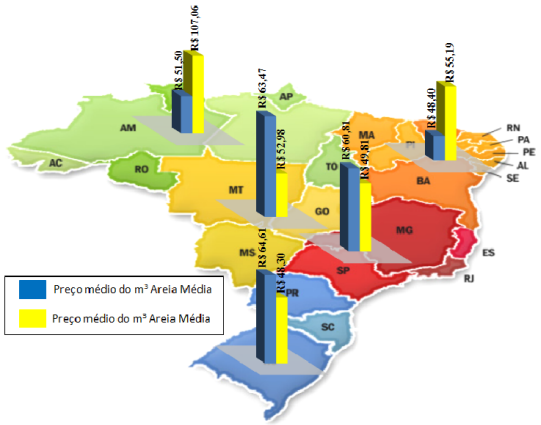

Fig. 5. Mapa das regiões brasileiras com valores médios comparativos com dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da construção civil (SINAPI) do mês de novembro/2013 a outubro/2014 sem considerar no preço o valor do frete e impostos.

A tabela 3 apresenta duas composições de custo unitário, onde São Luís foi a capital escolhida, desconsiderando o uso de aditivo, a primeira leva em consideração o uso apenas de areia natural para a confecção do concreto estrutural virado em obra, controle "A", Slump 100 +- 20mm, brita 1, 20 Mpa e a segunda composição considera o pó de brita.

Com base no traço 1 : 2,068 : 2,480, foi descoberto os índices abaixo, dividindo o peso dos agregados pelas suas respectivas massas específica (de acordo com o subitem b.1 do item 3.1.2 para a areia e de acordo com o subitem b do item 3.1.3 para a pedra britada):

- Para a areia: 2,068 / 2,61 = 0,79 m3
- Para a brita: 2,489 / 2,86 = 0,87 m3
- Para o pó de brita: 68% de 0,79 = 0,54 m3
- Para o cimento: sabemos que, de acordo com item 4.1.1.1.5, o consumo para 1 m3 de concreto é igual a 359,64 kg.

Tabela 3: Comparativo entre composições de custo unitário

Concreto estrutural virado em obra, controle " A " , Slump 100+-20mm, brita 1, 20 Mpa, com areia					
Item	*Descrição*	*Unid*	*Indice*	*P.Unit**	*P.Total*
1	Servente	h	6,00	7,65	45,90
2	Locação de Betoneira, elétrica, potência 2 Hp (1,5 kW), capacidade 400l	h	0,30	0,90	0,27
3	Areia lavada tipo média	m3	0,79	77,50	61,23
4	Pedra britada 1	m3	0,31	93,18	28,89
5	Cimento Portland CP-32	kg	359,64	0,56	201,40
			Total da composição		337,68

Concreto estrutural virado em obra, controle " A " , Slump 100+- 20mm, brita 1, 20 Mpa, com pó de brita (68%)					
Item	*Descrição*	*Unid*	*Indice*	*P.Unit**	*P.Total*
1	Servente	h	6,00	7,65	45,90
2	Locação de Betoneira, elétrica, potência 2 Hp (1,5 kW), capacidade 400l	h	0,30	0,90	0,27
3	Areia lavada tipo média	m3	0,25	77,50	19,59
4	Pó de brita	m3	0,54	55,13	29,62
5	Pedra britada 1	m3	0,31	93,18	28,89
6	Cimento Portland CP-32	kg	359,64	0,56	201,40
			Total da Composição		325,66

*Preços unitários de outubro de 2014 obtidos da tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), sem desoneração, com encargos sociais de 116,66% para horista, sem BDI (Benefícios e Despesas Indiretas)

Logo, com uma diferença de R$ 12,02 é possível concluir que o uso do pó de brita além de ser viável tecnicamente, é também viável economicamente.

6 Conclusões

De uma maneira geral, todas as etapas propostas nesse trabalho foram alcançadas com sucesso, provando e demonstrando que a substituição parcial da areia natural por pó de brita é bastante viável para a confecção de concretos convencionais, isto é, desde que o processo, de britagem e de dosagem do concreto, seja bem gerenciado e planejado, passando por um controle tecnológico eficaz, uma vez que, nem sempre há, nos processos de britagem, uma conformidade nos grãos do pó. Em muitos países desenvolvidos já se utiliza os agregados miúdos originários da britagem, já que em muitos desses países já se há o problema da escassez da areia natural. Já no Brasil, o uso da areia de britagem vem crescendo a cada dia, pois o país também já passa a vivenciar o mesmo problema da escassez em determinadas regiões.

O pó de brita possui a vantagem, além de ser econômico o seu uso e também pelo fato de sua utilização eliminar um rejeito do processo de britagem dando um fim adequado, de reduzir os danos causados pela exploração, muita das vezes, indiscriminada da areia natural nos leitos dos rios oferecendo ao construtor uma alternativa diferente do emprego apenas da areia natural na confecção de concreto simples. A vantagem econômica está no valor unitário do metro cúbico que por ser menor garantiu a elaboração de uma composição de preço unitária com custos mais baixos se comparado a uma composição de preço de concreto confeccionado apenas com areia natural de rio.

Quanto à caracterização do agregado, o pó de brita demonstrou possuir as características físicas necessárias a utilização como agregado na fabricação de concreto convencional. O pó de pedra apresentou maior quantidade de água para se obter uma boa trabalhabilidade, como pode ser visto na média dos fatores água/cimento desse trabalho, isso se deve pelo fato que o pó de brita possui uma proporção mais elevada de partículas menores que 0,075mm que em comparação com a areia natural, ou seja, 9,29% de finos para o pó de pedra e 7,25% para a areia. Então, para não se empregar uma quantidade de água excessiva, surge a utilização de aditivos plastificantes como alternativa para se obter uma boa trabalhabilidade sem perda de resistência.

Quanto à resistência à compressão simples, os concretos convencionais simples, com pó de brita apresentaram valores satisfatórios em relação aos de referência. Conclui-se que os concretos fabricados com areia de pó de brita podem ser empregados no dia-a-dia, levando em consideração apenas as propriedades estudadas nesse trabalho.

No entanto, é sugerido que o estudo desse tema seja um pouco mais analisado, avaliando-se outras propriedades que não foram contempladas nesse trabalho, como por exemplo: a composição química dos materiais envolvidos, a retração por secagem, avaliação do comportamento do concreto por um período de tempo mais longo (superior a 28 dias) e analisar a durabilidade e resistência do material concreto com o uso de outros diferentes teores de substituições de areia artificial além dos desse trabalho.

Referências

ALMEIDA, Salvador Luiz Matos; LUZ, Adão Benvindo. **Manual de Agregados para Construção Civil**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2009.

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

ARAÚJO, R.C.L; RODRIGUES, E.H.V; FREITAS, E.G.A. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: Editora Universidade Rural do Rio de Janeiro, 2000. 203p.

BAUER, Falcão L.A. **Materiais de Construção:** novos materiais para construção civil. 5 ed. Vol 1. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2000. 447p.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto Armado Eu te Amo**. 7 ed. Vol 1. São Paulo: Editora Blucher, 2013. 526p.

CHAVES, A. P. Estado da arte da produção de areia de britagem. In: Anais do II SUFFIB – SEMINÁRIO: **O uso da fração fina da britagem.** São Paulo, 2005.

CARBONARI, B.T.; GUIZILINI, R.P.; KLEIN, N. S. Estudo do agregado miúdo para a produção de argamassas auto-densável: substituição da areia natural por areia de britagem. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2008, Fortaleza. **Geração de valor no ambiente construído: inovação e sustentabilidade**. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2008. p. 10.

CARVALHO, João Dirceu N. **Estruturas em Concreto I:** notas de aula. Maringá: Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá, 2008. 23p.

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 3ed. São Paulo: EdUFSCar, 2013. 368p.

COÊLHO, Ronaldo Sérgio de Araújo. **Orçamentação na Construção de Edificações**. São Luís: Editora UEMA, 2011. 520p.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal**: fundamentos e aplicações na engenharia civil. São Paulo: Editora PINI,1997.
HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Editora PINI, 1993.

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2004. 520p.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189F. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 1999.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras**: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos. São Paulo: Editora PINI, 2006.

MEHTA, Kumar P; MONTEIRO, Paulo J.M. **Concreto:** estrutura, propriedades e materiais. Tradução de Antonio Carmona Filho, Denise Carpena Coitinho dal Molin, Maria Alba Cincotto, Moema Ribas Silva, Mônica Prezzi, Paulo Roberto do Lago Helene, Silvia Maria de Souza Selmo. 1 ed. São Paulo: Editora PINI, 1994. 573p.

NETO, Cláudio Sbrighi. Agregados para concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto:** ensino, pesquisa e realizações. 2 ed. São Paulo: Ibracon, 2005.

PIMENTA, Dhiego Saraiva. **Produção de concreto convencional com a utilização de pó de brita.** 2012. 60 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

ROTH, Caroline das Graças; GARCIAS Carlos Mello. Construção civil e a degradação ambiental. **Desenvolvimento em Questão**, Rio Grande do Sul, ano 7, n. 13, p. 111 – 128, jan. 2008. Disponível em: <http://www.unijui.edu.br/ revistaseletronicas/index.php/
desenvolvimentoemquestao.html>. Acesso em: 13 nov. 2013.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Relatórios de Insumos e Composições**. Disponível em: http://www. caixa. gov. br/ gov/gov_social/municipal/programa_des_urbano/SINAPI/relatorio_insumos.html. Acesso em: 27 jan. 2014.

TCPO. **Tabelas de composição de preços para orçamentos**. 13 ed. São Paulo: Pini, 2008. 640p.

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