

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A areia é um material de origem natural comumente utilizado como agregado miúdo na produção do concreto. Sua exploração ao longo dos anos elevou seu custo e promoveu sua gradual escassez. Foram então, criadas normas para regulamentação do uso e extração da areia natural visando a preservação das jazidas. A Figura 1 mostra uma típica jazida de areia natural do tipo leito de rio.



Figura 1 – Jazida tipo leito de rio.
(SBRIGHI NETO, 2011)¹

A própria atividade de extração de minerais provoca danos ao meio ambiente comprometendo os rios. Pode haver um aumento da vazão de água e, então, a aceleração do processo de erosão das margens. A erosão por sua vez retira a

¹ SBRIGHI NETO, C. Agregados naturais, britados e artificiais para concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto: ciência e tecnologia**. 1ª.ed. São Paulo: Ipsis, 2011. Volume 1, Capítulo 7, páginas 233-260.

cobertura vegetal dessas áreas e torna o solo estéril, sem crescimento de vegetação e sem possibilidade de recomposição do ambiente explorado².

Outro ponto a se destacar sobre a utilização da areia natural na produção do concreto é o alto custo de seu transporte, já que os portos geralmente estão distantes dos grandes centros consumidores.

Uma alternativa que se apresenta neste cenário, é o uso da areia industrializada na produção do concreto em substituição parcial à areia natural. Essa substituição é justificada pela inserção dos princípios da sustentabilidade. A construção civil é um dos ramos que mais impacta o meio ambiente e, portanto, é necessário incorporar materiais e métodos construtivos para diminuir o impacto negativo.

Há pouco tempo a areia industrial era considerada rejeito de pouco valor e de difícil inserção no mercado. Esta realidade foi mudada com a evolução de estudos teóricos e experimentais sobre a aplicabilidade do material, e justificados pela necessidade de minimizar os impactos ambientais causados pela extração de minerais diretamente da natureza.

A areia industrial, também denominada por alguns autores como areia artificial, é um produto derivado da britagem de rocha sã. A Figura 2 ilustra uma pedreira para produção de agregado. O processo de britagem é realizado até a particulação do material atingir uma granulometria inferior a 4,8mm. Ao final do processamento os equipamentos de lavagem retiram da massa particulada dos agregados, os finos excedentes que correspondem à areia industrializada³.

²TEODORO, Sabrina Bastos. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), UFJF, Juiz de Fora, 2013.

³ GONÇALVES, Sebastião Mariano. **Estudos de areias artificiais em concreto betuminoso**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Kennedy, Belo Horizonte, 2009.



Figura 2 – **Pedreira para produção de agregado.** (SBRIGHI NETO, 2011⁴)

Podem ser usados vários termos na construção civil para denominar o mesmo material. Para areia industrial os seguintes termos também são comumente utilizados: areia de brita, areia britada, pó de pedra, finos de pedras britadas ou finos de britagem.

Classificando pelo tamanho dos grãos, a areia industrial pode ser média ou grossa e suas aplicações variam de acordo com sua granulometria. A areia industrial média pode ser utilizada para produção de argamassas de revestimentos e a areia industrial grossa adequa-se a produção de concreto estrutural⁵.

Os estudos envolvendo composições alternativas para o concreto e o desenvolvimento de suas propriedades inserem-se no campo de pesquisa denominado Tecnologia do Concreto. O objetivo é produzir concretos com elevado desempenho e com o menor impacto sobre o meio ambiente.

Neste contexto, estudar as características da areia de britagem disponível na região de Caratinga, e como esta material influência a resistência mecânica do concreto, contribui tecnicamente na produção de concretos.

⁴ SBRIGHI NETO, C. Agregados naturais, britados e artificiais para concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto: ciência e tecnologia**. 1^a.ed. São Paulo: Ipsis, 2011. Volume 1, Capítulo 7, páginas 233-260.

⁵ BRITADOR SÃO GERALDO. Manual areia industrial. Caratinga: 2015.

1.2 OBJETIVOS

O presente estudo tem por objetivos:

- Formação de base teórica sobre os principais conceitos que caracterizam as areias industriais e naturais;
- Sistematização do conhecimento a respeito das propriedades dos agregados que interferem nas características dos concretos;
- Desenvolvimento de ensaios com dosagens de concreto com e sem substituição parcial da areia natural por areia industrial;
- Análise comparativa dos resultados obtidos nos ensaios sob o foco da resistência à compressão e abatimento do tronco de cone.

1.3 JUSTIFICATIVA

A substituição de areia natural por areia industrial tem potencial para ser uma alternativa técnica e economicamente viável, além de ser mais sustentável a medida que aproveita subprodutos industrializados diminuindo a extração de recursos naturais.

A substituição de um material de uso consolidado no mercado, por outro é limitada pela falta de conhecimento sobre as características e desempenho destes. Estudar o uso da areia industrial na construção civil, no município de Caratinga – MG, nas características do concreto é importante para conhecimento e divulgação técnica. Aumentando as alternativas para a produção de concretos com desempenho e custo satisfatórios.

O presente trabalho se justifica por contribuir com um estudo tecnológico da produção de concretos com areia industrial; por então apresentar uma alternativa que pode trazer benefícios econômicos locais e também menores impactos ambientais.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o cumprimento dos objetivos propostos neste trabalho foram adotados os seguintes procedimentos metodológicos: revisão bibliográfica e prática experimental.

A pesquisa bibliográfica foi direcionada para o estudo das características e propriedades dos agregados utilizados na produção dos concretos convencionais, com ênfase na areia artificial.

A prática experimental destinou-se a execução de ensaios com dosagens pré-estabelecidas de concretos com e sem a substituição parcial da areia natural pela areia industrial.

Houve também uma pesquisa bibliográfica para amadurecimento do conhecimento dos autores objetivando analisar e apresentar conclusões adequadas dos resultados obtidos nos ensaios.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Capítulo 1. Abrange as considerações iniciais sobre o tema proposto, objetivos, justificativa, procedimentos metodológicos e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2. Aborda os conceitos fundamentais pertinentes às areias artificiais e às areias naturais, como também as características dos agregados que influenciam significativamente as propriedades dos concretos.

Capítulo 3. Neste capítulo são descritos os procedimentos adotados para realização da prática experimental.

Capítulo 4. Reserva-se a discussão dos resultados obtidos nos ensaios.

Capítulo 5. Apresenta as conclusões e considerações finais deste estudo.

2 AGREGADOS PARA CONCRETO

Os agregados estão presentes em proporções elevadas no volume de concreto e suas características afetam propriedades importantes do concreto endurecido, como a resistência mecânica, e também a trabalhabilidade no estado fresco. Portanto, estudá-los é de fundamental importância para produzir concretos com desempenho e custo satisfatórios. Tendo em vista também a questão da sustentabilidade o presente estudo limita a pesquisa aos agregados miúdos: areia artificial e areia natural.

2.1 AREIA INDUSTRIAL

2.1.1 Definição

A areia artificial ou areia industrial é um produto resultante da britagem de rochas, até atingir a granulometria desejada. Este processo se inicia com a perfuração da rocha, onde as pedras são transportadas até o conjunto de britagem e trabalhadas para atingir granulometria menor que 4,8 mm⁶. Na maioria dos processos industriais, este produto é conduzido até os equipamentos de lavagem que retiram do produto final os finos excedentes⁷.

Através do processamento da rocha para obtenção de agregado graúdo é gerado uma quantidade significativa de um material mais fino que, anteriormente era considerado rejeito, mas que por suas características físicas, mostrou potencial para ser utilizado na produção de concretos.

⁶ TEODORO, Sabrina Bastos. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), UFJF, Juiz de Fora, 2013.

⁷ BRITADOR SÃO GERALDO. Manual areia industrial. Caratinga: 2015.

Este material fino, até então subproduto da britagem de rochas, foi empregado na produção de concretos sob a forma de agregado miúdo, originando assim a areia industrial. Essa areia de britagem se encontra praticamente isenta de impurezas de natureza orgânica e argilosa, isentando o concreto dos possíveis problemas decorrentes da presença destes materiais⁸.

As características da areia britada utilizada, poderão afetar a qualidade da argamassa e conseqüentemente do concreto. Portanto, para a produção deste material estrutural deve-se selecionar as areias industriais que apresentem características físicas e mecânicas adequadas e que de fato, apresentem também, vantagens econômicas, barateando o custo da mistura.

2.1.2 Classificação comercial

A classificação granulométrica das areias é dada pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas e poderá ser⁹:

- Areia muito fina ou filler: possui faixa granulométrica inferior a 0.075mm, sendo utilizada para correção da curva granulométrica no concreto estrutural em acabamentos onde requer um reboco extremamente fino.
- Areia fina: sua faixa granulométrica está compreendida entre 0.075mm e 1mm e sua utilização é feita para acabamento (reboco) e alvenaria.
- Areia média: possui faixa granulométrica entre 1mm a 2.4mm e é utilizada em obras que necessitem de uma areia que atenda as necessidades para a realização tanto de um concreto estrutural como para acabamento (reboco).
- Areia grossa: já a areia grossa possuiu faixa granulométrica compreendida entre 2.4mm a 4.8mm. Sua utilização é mais ampla, podendo ser em concretos

⁸ BRITADOR SÃO GERALDO. Manual areia industrial. Caratinga: 2015.

⁹ AÇOMIX. Disponível em:

<http://acomixltda.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=10>. Acesso em: 20/11/2015.

estruturais, seja manuais em betoneiras ou centrais de concreto, usinas de asfalto (CBUQ, PMF, PMQ), Fabricas de Pré-moldados de Concreto (Lajes, Blocos, Tubos, pisos intertravados), utilizada como produto drenante e filtros em ETE – Estação de Tratamento de Esgoto.

2.1.3 Produção de areia artificial

A produção da areia artificial acontece através de uma britadeira especial que faz a "rebritagem" do fino da brita, deixando este produto nas mesmas condições da areia natural. Segundo Honório¹⁰, dentre os vários tipos de britadores, destacam-se os de mandíbula, giratório, cônico, impacto, martelo simples, rolo, rotativo e rolo duplo.

Na região de Caratinga, o Britador São Geraldo é a única empresa que produz areia industrial, e destaca como vantagens sobre a areia convencional de rio, começando pelo aspecto ambiental, já que a areia industrial trouxe uma ótima justificativa para a atividade extratora¹¹. Economicamente, uma das grandes vantagens da areia artificial é sua produção próxima ao mercado consumidor, o que reduz o custo do material.

A areia industrial é apresentada como um produto final bem homogêneo. Isto porque o processo de britagem garante uma uniformidade aos grãos e, assim como a brita, possui um formato anguloso e superfície áspera e, se o formato dos grãos forem mais achatados, resultarão em maior aderência às superfícies de aplicação, entretanto podem limitar a trabalhabilidade ao concreto.

Já quando em forma de cubos, como as provenientes de granitos e pedras com grande proporção de sílica, possibilitam uma maior interação com a mistura, causando uma diminuição na quantidade de vazios do concreto. A areia de

¹⁰ HONÓRIO, O. *Estudo de aumento de capacidade da planta de britagem da Usina I de Germano*, 2010.

¹¹ BRITADOR SÃO GERALDO. *Manual areia industrial*. Caratinga: 2015.

britagem se encontra praticamente isenta de impurezas de natureza orgânica e argilosa bem como dos possíveis problemas originados pelas mesmas¹².

Segundo Cabral¹³, a influência da granulometria e conteúdo de finos na trabalhabilidade variam com a dosagem de cimento. Em geral a influência da granulometria diminui como aumento da dosagem de cimento, enquanto que o aumento de finos pode afetar a coesão da mistura, isto é, pode haver perigo de segregação.

O processo de produção de brita e posteriormente de areias artificiais, são essencialmente mecânicos e consistem em britagem primária, secundária e rebritagem, que podem ser realizadas a seco ou a úmido. No caso de ocorrer lavagem, as partículas menores são estritamente produzidas nas fases seguintes e são isentas de quaisquer impurezas anteriores, como capeamento, matéria orgânica, dentre outras¹⁴.

Quando não há lavagem, é comum a separação de bica corrida após a primeira britagem, onde o material é enviado para ser comercializado. Para diminuir o pó em suspensão provocado pela atividade de britagem, algumas pedreiras utilizam sistemas de aspersores de água instalados nas bocas dos britadores e nas correias transportadoras¹⁵.

A Figura 3 demonstra todo o processo ocorrido nas pedreiras.

¹² COSTA, M. J. **Avaliação do uso da areia artificial em concreto de cimento Portland: Aplicabilidade de um Método de Dosagem.** Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil-UNIJUÍ, (2005).

¹³ CABRAL, K. O. **Influência da areia artificial oriunda da britagem de rocha granitognaisse nas propriedades do concreto convencional no estado fresco e endurecido.** Dissertação defendida no Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, (2007).

¹⁴ BRITADOR SÃO GERALDO. Manual areia industrial. Caratinga: 2015.

¹⁵ Idem.

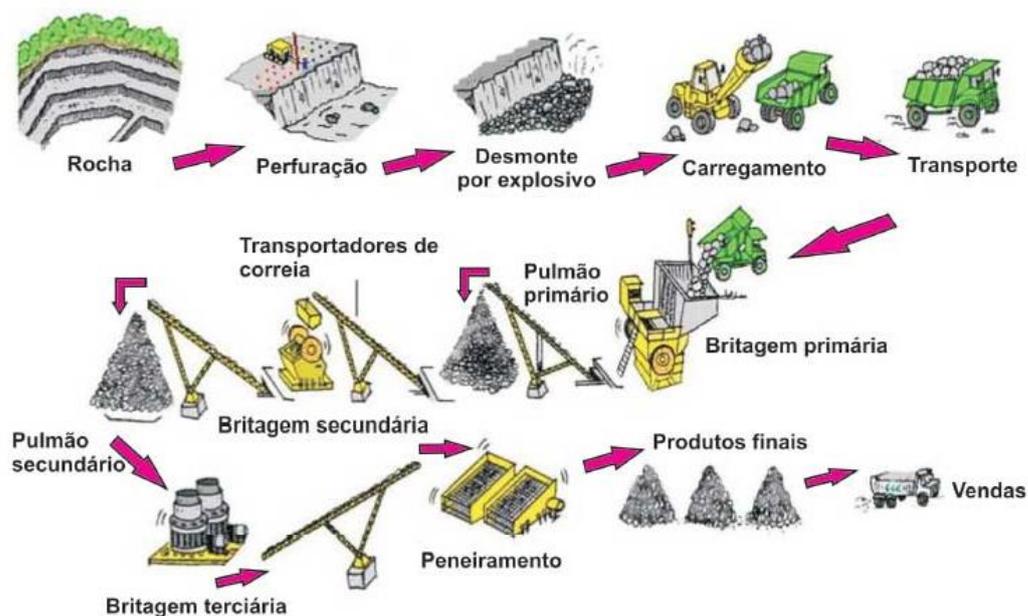


Figura 3 – **Processo de britagem** (SCIELO, 2015)¹⁶

Assim, nos últimos anos tem-se desenvolvido tecnologias para as pedreiras obterem um material mais adequado ao uso na construção civil. Vários projetos foram criados, resultando em diversos modelos de equipamentos que atuam pelo mundo todo¹⁷.

2.1.4 A areia industrial e o meio ambiente

A areia artificial desponta como uma alternativa derivada da preocupação com a preservação do meio ambiente e tem impulsionado uma série de projetos alternativos¹⁸. Mas assim como na extração da areia natural, alguns cuidados devem ser tomados para que o impacto ambiental não seja tão prejudicial ao meio ambiente na produção de areia industrial.

¹⁶ SCIELO. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370-44672009000400014&script=sci_arttext>. Acesso em: 15/11/2015

¹⁷ TEODORO, Sabrina Bastos. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), UFJF, Juiz de Fora, 2013.

¹⁸ KUCK, Denis Weiz. **Areia artificial para construção de edifícios**. Disponível em: <www.cienciaevida.com.br> . Acesso em: 15/11/2015.

Segundo a Resolução N° 001 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente)¹⁹ em seu artigo primeiro:

Artigo 1º - Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais.

A areia artificial é originada da britagem de rochas e a extração de minerais interfere no meio ambiente, sendo necessária uma avaliação prévia da compatibilidade de seu desenvolvimento com a preservação ambiental, evitando-se assim danos irreparáveis provocados pela mineração.

Segundo a norma ISO 14001²⁰, impacto ambiental é qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização.

Qualquer tipo de empreendimento, seja minerário, agrícola ou industrial, provoca modificações ambientais; a exploração da areia, cascalho e argila provoca danos na maioria dos casos reversíveis, desde que devidamente previstos e avaliados.²¹

Portanto, a produção de areia industrial deve ser cercada de cuidados ambientais para que o impacto seja positivo tanto economicamente, quanto ecologicamente.

¹⁹ CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 17/11/2015.

²⁰ Certificação ISO. Disponível em: <<http://certificacaoiso.com.br/iso-14001/>>. Acesso em: 17/11/2015.

²¹ GONÇALVES, Sebastião Mariano. **Estudos de areias artificiais em concreto betuminoso**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Kennedy, Belo Horizonte, 2009.

2.2 AREIA NATURAL

2.2.1 Definição

A areia é uma substância que tem uma idade incalculável, haja visto que as rochas ígneas das quais a areia é proveniente só podem ter sido formadas, sob uma enorme pressão e a uma profundidade de 9 a 24 quilômetros da crosta terrestre, onde foram convertidas em granito²².

A areia natural, segundo o conceito da ANEPAC é:

[...] um bem mineral constituído predominantemente por quartzo de granulação fina e pode ser obtida a partir de depósitos de leitos de rios e planícies aluviais, rochas sedimentares e mantos de alteração de rochas cristalinas. Areias de praias e dunas litorâneas não apresentam boa qualidade como material para construção civil devido à presença de sais.²³

Utilizada amplamente na construção civil e também para a fabricação de vidros, a areia é constituída por fragmentos de mineral ou de rocha de tamanhos variáveis.

Por tratar-se de um recurso de total origem natural, sua exploração ao longo dos anos elevou seu custo e promoveu sua gradual escassez, portanto foram criadas normas de regulamentação do uso e extração da areia natural.

²² GRUPO ESCOLAR. Disponível em: <<http://www.grupoescolar.com/pesquisa/areia.html>> Acesso em: 17/11/2015

²³ ANEPAC - Associação nacional das entidades de produtores de agregados para construção civil. Disponível em: <<http://anepac.org.br/wp/agregados/areia/>>. Acesso em: 18/04/2015.

2.2.2 Classificação comercial

A classificação granulométrica das areias naturais também é normatizada pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, podendo ser²⁴:

- Areia fina: sua faixa granulométrica está compreendida entre 0.15mm a 0.6mm, sendo utilizada em acabamentos, reboco, produção de argamassa e composição granulométrica para concreto.
- Areia média: possui faixa granulométrica entre 0.6mm a 2.4mm e é utilizada em todas as fases da obra, desde a produção de argamassa até o concreto.
- Areia grossa: já a areia grossa possuiu faixa granulométrica compreendida entre 2.4mm a 4.8mm e tem sua utilização principalmente na produção de concreto para fechamento de curva granulométrica, bem como pré-moldados e demais artefatos de concreto.

2.2.3 Extração e comercialização

As areias naturais geralmente são extraídas dos fundos dos rios por meios de dragas. De acordo com o tipo de depósito mineral, varia o processo de lavra, que pode ser por desmonte hidráulico, escarificação, ou simplesmente por dragagem.

Na Figura 4 observam-se os métodos de lavra de areia e seus respectivos depósitos minerais.

MÉTODO	DEPÓSITOS MINERAIS	SITUAÇÃO
Dragagem	Sedimentos inconsolidados quaternários	Leito de rio
		Cava submersa (Leito desviado de rio)

²⁴ GRUPO ESCOLAR. Disponível em: <<http://www.grupoescolar.com/pesquisa/areia.html>> Acesso em: 20/11/2015.

Desmonte hidráulico	Planícies fluviais, coberturas e sedimentos inconsolidados quaternários	Cava seca (Leito desviado de rio)
	Rochas sedimentares cenozoicas	Cava Seca
	Manto de alteração de rochas pré-cambrianas	

Figura 4 – **Métodos de lavra de areia e depósitos minerais.**
(ANEPAC, 2015)

O beneficiamento da areia é bastante simples, baseado em classificação por peneiras, silos de decantação, e/ou hidrociclonação, que separam granulometricamente as frações interessantes aos setores de aplicação²⁵.

Nos portos de areia em leito de rio e cava submersa, praticamente todo o material extraído é comercializado, e os resíduos (predominantemente silicosos, granulometria menor que 0,074 mm) retornam ao local em lavra, para preenchimento da cava²⁶.

A areia é quase sempre comercializada na forma como é extraída, passando, na maioria das vezes, apenas por grelhas fixas que separam as frações mais grossas (cascalho, pelotas, concreções) e eventuais sujeiras (matéria orgânica, folhas, troncos), e por uma simples lavagem para retirada de argila. No Brasil, os depósitos de areia utilizados como materiais em construção civil, normalmente provêm de sedimentos fluviais recente e sub-recente de paleocanais e terraços de rios próximos ou mesmo no interior dos grandes centros urbanos²⁷.

Além das questões geológicas, deve-se levar em consideração os problemas de desmonte, escavação, custo de transporte e outros e quando se fala em material

²⁵ ANEPAC - Associação nacional das entidades de produtores de agregados para construção civil. Disponível em: <<http://anepac.org.br/wp/agregados/areia/>>. Acesso em: 17/11/2015.

²⁶ ANEPAC - Associação nacional das entidades de produtores de agregados para construção civil. Disponível em: <<http://anepac.org.br/wp/agregados/areia/>>. Acesso em: 17/11/2015.

²⁷ GRUPO ESCOLAR. Disponível em: <<http://www.grupoescolar.com/pesquisa/areia.html>>. Acesso em: 17/11/2015.

de construção, a areia só é economicamente explorável, se estiver próximo ao mercado consumidor. Isso em virtude de sua ampla distribuição no mundo²⁸.

A exploração econômica deste material é influenciada por suas características físicas, como granulometria ou a geometria das partículas, já que cada tipo de areia é destinado a um tipo de produto final.

2.2.4 O impacto ambiental das areias naturais

Nem sempre a extração de areia natural irá prejudicar o meio ambiente, pois em algumas situações o processo de extração contribui para o desassoreamento dos leitos dos rios onde é realizado, quando há o devido acompanhamento por especialistas.

Outro aspecto positivo de sua extração é a geração de empregos diretos e indiretos na região da mineradora, melhorando as condições de vida e bem estar da população local.

Entretanto, a grande demanda principalmente da construção civil, faz com que não só sejam extraídos recursos minerais em áreas abundantes, mas também em locais onde os recursos estão praticamente esgotados, além do mais, todo e qualquer tipo de atividade poderá envolver riscos ambientais de consequências reversíveis ou não.

Dentre os impactos causados pela extração de areia enumera-se os seguintes:²⁹

- Alteração na paisagem - A simples operação dos equipamentos de extração, transporte e veículos das pessoas afetas ao empreendimento, afeta de maneira significativa a paisagem local, soma-se a esse fato a destruição da paisagem no local de estocagem do material até o mesmo ser removido em definitivo. Um

²⁸ ANEPAC - Associação nacional das entidades de produtores de agregados para construção civil. Disponível em: <<http://anepac.org.br/wp/agregados/areia/>>. Acesso em: 17/11/2015.

²⁹ GRUPO ESCOLAR. Disponível em: <<http://www.grupoescolar.com/pesquisa/areia.html>>. Acesso em: 17/11/2015.

outro fator digno de nota é a construção de vias de acesso, uma vez que a grande maioria dos depósitos se encontra na zona rural.

- Supressão de vegetação - Provocada, também, pela operação dos equipamentos, pela disposição do material extraído e dos rejeitos e pela circulação de veículos. É porem, reversível se houver manejo adequado da vegetação existente no local.
- Modificações na estrutura do solo - A atividade extrativa acarreta mudanças nas características do solo, aumentando o seu grau de compactação, de exposição ao sol e mudanças de ordem microbiológica.
- Interferência sobre a fauna. - A remoção de vegetação, a modificação na estrutura do solo, o aumento ou a introdução de ruídos, a circulação de caminhões, entre outros fatores, provoca a evasão ou alteração nos hábitos da fauna no entorno do local. Um fato observável, quando a extração ocorre em zonas pouco povoadas é a morte de pequenos animais por atropelamento pelos caminhões responsáveis pelo transporte do material extraído.
- Alterações nas calhas dos cursos d'água. - São provocadas pelo uso de equipamentos de desagregação sobre os leitos dos rios, o que acarreta eliminação de barramentos naturais ou a produção de bancos de sedimentos, que podem interferir na velocidade e na direção dos cursos d'água.
- Trepidação. - Acarretada principalmente pela circulação de equipamento de desmonte, carregamento e transporte. A presença de trepidação provoca perturbações nas estruturas de pontes, estradas, construções, etc. existentes próximas ao local.
- Poluição sonora. - Produzida pelo motor da draga de sucção, dos caminhões, do trator, da carregadeira de pneus, ou seja, dos equipamentos que fazem parte do empreendimento.
- Poluição atmosférica. - O processo extrativo contribui para esse tipo de poluição pela emissão de partículas minerais na atmosfera. E o funcionamento dos equipamentos de extração, carregamento, estocagem e transporte, com a

emissão de partículas gasosas e sólidas provenientes da queima de combustíveis.

- Contaminação pôr óleos e graxas. - Acontece quando o equipamento é manuseado de maneira inadequada, ainda por falta de manutenção do equipamento, a existência de vazamentos e a falta de medidas preventivas afim que não haja lançamentos de resíduos nos leitos dos cursos d'água. Esse tipo de contaminação traz sérios danos ambientais ao ecossistema, como exemplo mais claro tem-se a mortandade de peixes.
- Turbidez das águas. Turbidez é definida como sendo a resistência que a água oferece à passagem de luz, que é causada por sólidos em suspensão finamente divididos na água.

Portanto, por constituírem um processo longo, dinâmico e extremamente complexo, a recuperação e a reabilitação das áreas afetadas devem ser observadas desde a fase de concepção até o término da extração.

São utilizadas técnicas que recuperam as características do solo (fertilidade, estrutura, textura etc.), envolvendo, quase sempre, práticas como o reflorestamento e a recomposição paisagística, no sentido de possibilitar um retorno à vocação inicial da área, ou oferecer uma nova alternativa de uso, levando sempre em consideração os anseios dos interessados no processo³⁰.

Assim, conhecendo os danos causados pela atividade de mineração, é possível também minimizar seus efeitos, de modo que o impacto ambiental tenha equilíbrio em relação ao impacto social.

2.3 CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS PARA CONCRETO

O concreto é um material composto formado por cimento, água, agregado graúdo, agregado miúdo e ar aprisionado. Esta mistura pode ainda conter

³⁰ LELLES, Leandro Camilo de. **Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água.** Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n3/a11v29n3>>. Acesso em: 18/11/2015.

adições minerais, tais como sílica ativa, cinza volante, escória de alto-forno e ainda, aditivos químicos que desempenham o papel de aperfeiçoar as funções do concreto.

Compondo aproximadamente 75% do volume de concreto é perfeitamente plausível acreditar que a qualidade dos agregados seja importantíssima para a qualidade do concreto³¹. Embora, por ser um material inerte, seja comumente visto apenas como um componente de enchimento³².

Duas propriedades desejáveis aos concretos convencionais é a resistência mecânica e a trabalhabilidade no estado fresco. Ambas são influenciadas, em níveis diferentes, pelas características dos agregados, tais como resistência mecânica, composição mineralógica, forma e textura superficial dos grãos e distribuição granulométrica.

A trabalhabilidade é uma propriedade do concreto no estado fresco e se relaciona diretamente com a consistência do concreto e seu desempenho no processo de adensamento nas fôrmas dos elementos estruturais tais como vigas, pilares, lajes, etc. Para Neville e Brooks³³:

[...] a trabalhabilidade pode ser definida como a quantidade de trabalho interno útil necessário à obtenção do adensamento total. O trabalho interno útil é uma propriedade física inerente do concreto e é o trabalho ou energia exigido para vencer o atrito interno entre as partículas individuais do concreto.

Ressalta-se que um bom concreto não é o mais resistente, mas o que atende as necessidades da obra com relação à peça que será moldada. Logo, a trabalhabilidade é uma propriedade importante e que deve ser, junto com a resistência mecânica, um dos fatores a serem estudados na etapa de escolha dos materiais constituintes do concreto.

³¹ NEVILLE, A. M. BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2ª edição. 2013.

³² MEHTA, K. P. MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Ibracon. 2ª edição, 2014.

³³ NEVILLE, A. M. BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2ª edição. 2013.

Os fatores que interferem na trabalhabilidade do concreto são a quantidade de água; tipo, forma, textura e granulometria dos agregados; o proporcionamento entre agregados e cimento; uso ou não de aditivos e adições; finura do cimento; tempo e temperatura³⁴.

Ainda segundo os autores citados acima, o principal fator interveniente é a quantidade de água de mistura, pois é pela adição de água que se obtém a lubrificação das partículas. E é justamente por interferir nesse consumo de água que características como forma, tipo e granulometria são importantes para a trabalhabilidade do concreto.

Para os concretos convencionais, a resistência mecânica é limitada pela resistência da pasta de cimento e não pela resistência dos agregados habitualmente utilizados na produção do concreto³⁵.

Agregados naturais e os produzidos de rochas sãs, como granito, gnaiss, basalto, hematita, barita, assim como os de escória de alto-forno, têm resistência à compressão muito superior à da argamassa de concretos de composição usual (f_{ck} 20 – 30MPa), não apresentando, sob o ponto de vista da resistência, qualquer restrição ao uso em concretos de características normais³⁶.

Para Neville e Brooks³⁷, o papel dos agregados na resistência do concreto é secundária sob o ponto de vista das propriedades deste. Há de se destacar, entretanto, que além do ganho na trabalhabilidade, um agregado com granulometria adequada favorece o ganho de resistência por diminuir o volume de vazios. Essa diminuição de vazios também aumenta a durabilidade do concreto³⁸.

³⁴ NEVILLE, A. M. BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2ª edição. 2013.

³⁵ SBRIGHI NETO, C. Agregados naturais, britados e artificiais para concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto: ciência e tecnologia**. 1ª.ed. São Paulo: Ipsilon, 2011. Volume 1, Capítulo 7, páginas 233-260.

³⁶ ALBUQUERQUE, A.S. Agregados. In: BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: LTC. 5ª edição revisada. Vol 1, 2014. Capítulo 4.

³⁷ NEVILLE, A. M. BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2ª edição. 2013.

³⁸ MEHTA, K. P. MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Ibracon. 2ª edição, 2014.

Por influenciarem tanto a trabalhabilidade quanto a resistência à compressão, ainda que de modo secundário, será discutido brevemente, a seguir, a maneira como a forma e textura superficial do agregado assim como sua distribuição granulométrica interferem nas propriedades do concreto mencionadas.

2.3.1 Forma e textura dos grãos

Os grãos dos agregados podem ser classificados, conforme seu formato, segundo Albuquerque³⁹, “cuboides, alongados e lamelares.” Farias e Palmeira⁴⁰ usam os termos cúbico, lamelar, alongado, e alongado-lamelar para descrever as formas dos agregados, esquematizados na Figura 5.

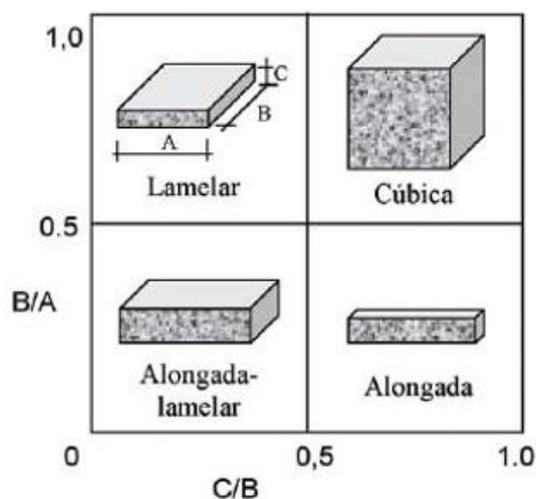


Figura 5 – Formato dos grãos de agregados.
(FARIAS; PALMEIRA, 2010)⁴¹

O cascalho apresenta grande porcentagem de grãos cuboides, de formas arredondadas e superfícies lisas. Os agregados industrializados têm formas de grãos que dependem da natureza da rocha mater e, para uma mesma rocha, do tipo de britador final da linha

³⁹ ALBUQUERQUE, A.S. Agregados. In: BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: LTC. 5ª edição revisada. Vol 1, 2014. Capítulo 4.

⁴⁰ FARIAS. PALMEIRA. Agregados para a construção civil. In: ISAIA, G. C. (organizador). **Materiais da construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Ibracon, 2010. v. 1.

⁴¹ FARIAS. PALMEIRA. Agregados para a construção civil. In: ISAIA, G. C. (organizador). **Materiais da construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Ibracon, 2010. v. 1.

de britagem, grãos esses de arestas vivas e de superfície altamente rugosa⁴².

Neville e Brooks⁴³ dizem que “a forma irregular e a textura rugosa de um agregado anguloso demandam mais água que um agregado arredondado”. A forma irregular também leva à maiores superfícies específicas o que aumenta o consumo de água para melhorar a trabalhabilidade⁴⁴.

Assim, as areias naturais, principalmente as originadas das cavas de rios, tendem a ter um superfície mais lisa e formato mais arredondado, características que melhoram a trabalhabilidade sem exigir maiores consumos de água. Os grãos irregulares, comuns nos agregados britados, como a areia industrial, consomem mais água para uma mesma trabalhabilidade do concreto no estado fresco.

Por outro lado, como destaca Albuquerque⁴⁵, grãos de superfície rugosa e formato irregular, justamente por essas características, levam a concretos, mantido o traço, com maiores resistências por proporcionarem maior aderência.

2.3.2 Distribuição granulométrica

Os agregados são classificados com base em diferentes critérios, tais como: tamanho dos grãos – miúdos e graúdos; origem – naturais e industrializados; massa específica – leves e pesados. Sendo assim, tem-se diferentes tipos de materiais empregados como agregados para concreto.

A composição granulométrica mostra a distribuição dos grãos que constitui os agregados, geralmente é expressão em termos de porcentagens individuais ou

⁴² ALBUQUERQUE, A.S. Agregados. In: BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: LTC. 5ª edição revisada. Vol 1, 2014. Capítulo 4.

⁴³ NEVILLE, A. M. BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2ª edição. 2013.

⁴⁴ ALBUQUERQUE, A.S. Agregados. In: BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: LTC. 5ª edição revisada. Vol 1, 2014. Capítulo 4.

⁴⁵ ALBUQUERQUE, A.S. Agregados. In: BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: LTC. 5ª edição revisada. Vol 1, 2014. Capítulo 4.

acumuladas retidas em cada uma das peneiras da chamada série normal ou intermediária que são estabelecidas na ABNT NBR 7211:2009⁴⁶.

É por meio da análise da composição granulométrica que se traça a curva granulométrica do agregado, sendo estas classificadas em contínua, descontínua e uniforme⁴⁷ (Figura 6). É através também da análise granulométrica que se pode estabelecer quando uma determinada granulometria é adequada ou não para a produção do concreto, comparando-se a curva de distribuição granulométrica do agregado ensaiado com as curvas granulométricas que delimitam a zona utilizável e a zona ótima.^{48,49}

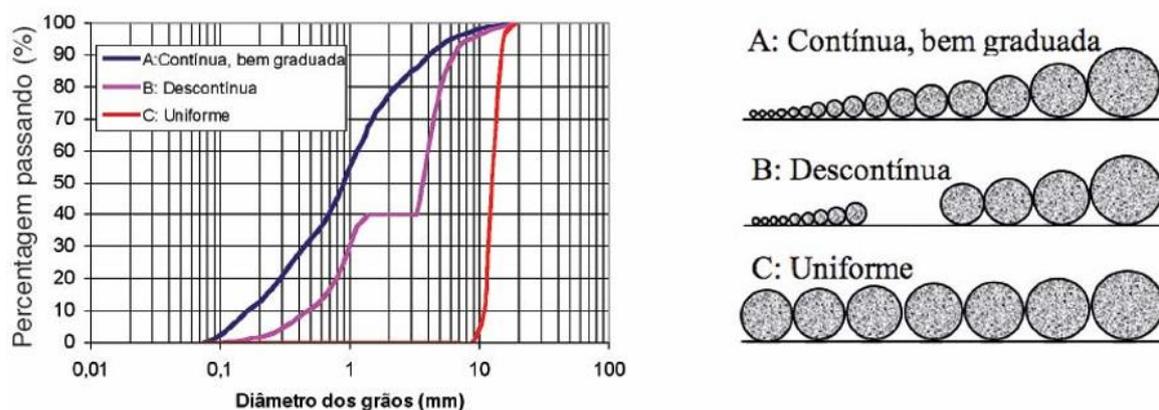


Figura 6 – Exemplos de curvas granulométricas. (FARIAS; PALMEIRA, 2010)⁵⁰

A granulometria interfere na trabalhabilidade, pois a diferente proporção entre os tamanhos dos grãos que compõem o agregado pode facilitar ou dificultar o adensamento do concreto, demandando um maior ou menor consumo de água que também reflete no custo da mistura. Agregados com curva granulométrica

⁴⁶ SBRIGHI NETO, C. Agregados naturais, britados e artificiais para concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto: ciência e tecnologia**. 1ª.ed. São Paulo: Ipsis, 2011. Volume 1, Capítulo 7, páginas 233-260.

⁴⁷ FARIAS, PALMEIRA. Agregados para a construção civil. In: ISAIA, G. C. (organizador). **Materiais da construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Ibracon, 2010. v. 1.

⁴⁸ NEVILLE, A. M. BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2ª edição. 2013.

⁴⁹ SBRIGHI NETO, C. Agregados naturais, britados e artificiais para concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto: ciência e tecnologia**. 1ª.ed. São Paulo: Ipsis, 2011. Volume 1, Capítulo 7, páginas 233-260.

⁵⁰ FARIAS, PALMEIRA. Agregados para a construção civil. In: ISAIA, G. C. (organizador). **Materiais da construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Ibracon, 2010. v. 1.

contínua, onde há massa retida em todas as peneiras, aumentam a trabalhabilidade do concreto sem um consumo excessivo de água.⁵¹

A proporção entre a quantidade relativa de brita e areia, por exemplo, também altera a trabalhabilidade. Para um volume maior de agregado graúdo sobre o volume de agregado miúdo, aumentam-se as chances de o concreto segregar o que acarreta perda de trabalhabilidade e qualidade. Uma mistura com mais finos leva a uma maior trabalhabilidade, mas o excesso de areia leva a concretos menos duráveis⁵².

⁵¹ ALBUQUERQUE, A.S. Agregados. In: BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: LTC. 5ª edição revisada. Vol 1, 2014. Capítulo 4.

⁵² NEVILLE, A. M. BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2ª edição. 2013.

3 ANÁLISE EXPERIMENTAL

Este capítulo apresenta a metodologia empregada no desenvolvimento experimental para verificar a influência do uso da areia artificial e da areia natural na produção do concreto.

Aqui serão abordados todos os procedimentos envolvidos no experimento, resumidos da seguinte maneira:

- Escolha dos materiais para realização dos testes;
- Produção dos corpos de prova;
- Rompimentos dos corpos de provas 28 dias;

Foram coletadas areias artificiais no Britador São Geraldo localizado na cidade, e naturais, extraídos no Rio da cidade de Ipatinga. Uma amostra da britagem de rochas “Gnaisse” da Pedreira “Britadora São Geraldo” foi colhida para a realização dos eventuais testes. As amostras de areias naturais foram coletadas no Rio da cidade de Ipatinga, conhecido como Rio Doce, em Minas Gerais.

3.1 TÉCNICA UTILIZADA

A técnica utilizada foi o “Ensaio de resistência à compressão do concreto”, muito utilizado na engenharia para a observação da resistência à compressão do concreto. Tal técnica foi realizada através de procedimentos práticos em laboratório.

3.2 PROCEDÊNCIA DOS MATERIAIS

Os materiais utilizados para produção dos corpos de prova foram caracterizados conforme as normas da ABNT. Os testes foram elaborados no laboratório de matérias de construção do curso de Engenharia Civil do Instituto Doctum de Educação e Tecnologia.

3.2.1 Agregados:

Os agregados miúdos e graúdos foram coletados na cidade de Caratinga/MG.

3.2.1.1 Areias artificiais:

Fornecidas pela empresa Britador São Geraldo. A areia britada é do tipo rocha gnaiss e possui classificação granulométrica definida como média.

3.2.1.2 Areias naturais:

As areias naturais foram fornecidas pelo laboratório de materiais de construção da faculdade Engenharia Civil do Instituto Doctum de Educação e Tecnologia, que é coletada no Rio Doce, na Região de Ipatinga. A areia é do tipo média.

3.2.1.3 Brita:

A brita utilizada é de origem de rocha gnaiss e tamanho 0, também fornecida pela empresa Base Forte.

3.2.1.4 Cimento:

O cimento utilizado foi Portland, hidratado com água potável.

3.3 ETAPAS DO ENSAIO

- 1) Separação das substâncias a serem usadas no teste.
- 2) Definição da quantidade de matéria-prima a ser utilizada na mistura.
- 3) Transferência do traço para uma betoneira.
- 4) Mistura da composição, adicionando água até dar a liga desejada.

- 5) Transferência da mistura na betoneira para os corpos de prova.
- 6) Repouso da composição submersa em um recipiente com água de acordo com a NBR 12655:96⁵³.
- 7) Realização dos testes com os corpos de prova para analisar a resistência.

Os corpos de provas feitos em conformidade com a NBR 5738:03⁵⁴, que descreve o procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. A referida norma se aplica a corpos de prova cilíndricos utilizados nos ensaios de compressão e de tração por compressão diametral e a corpos de prova prismáticos utilizados no ensaio de tração por flexão⁵⁵. O experimento foi realizado com a substituição parcial de areia natural por areia artificial e foram produzidos com 1,5 latas de areia industrial, com umidade de aproximadamente 6% + 1 lata de areia natural, 2,5 latas de brita 2, 25 quilos de cimento Liz CP-IV e 1 lata de água. Já os corpos de prova feitos 100% com areia natural foram produzidos com 2,5 latas de areia natural (úmida), 2,5 latas de brita 2, 25 quilos de cimento Liz CP-IV e 1,5 latas de água (Figuras 7 e 8).



Figura 7 – Material utilizado.

⁵³ CONSTRUPAC. Disponível em: <<http://www.construpac.com.br/pdf/NBR12655.pdf>>. Acesso em: 20/11/2015.

⁵⁴ ABNT Catálogo. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=328047>>. Acesso em: 06/06/2016.

⁵⁵ Idem.



Figura 8 – Material utilizado.

Após a mistura dos materiais na betoneira, o produto foi moldado em fôrmas metálicas cilíndricas padrão medindo 10cm x 20cm, conforme demonstrado nas Figuras 9, 10 e 11:



Figura 9 – Transferência da mistura.



Figura 10 – Corpos de prova.



Figura 11 – Corpo de prova 10cm x 20cm.

O total de 30 corpos de prova produzidos no dia 15/04/2016, sendo 15 de cada tipo, depois de serem devidamente elaborados com as misturas específicas, ficaram submersos em tanque de corpo de prova, conforme pode ser observado na figura 3.3, como um tanque de cura seguindo a NBR 12655:96⁵⁶, onde exige um repouso do corpo de prova submerso em água (Figuras 12 e 13).



Figura 12 – Repouso da composição submersa em água.



Figura 13 – Repouso da composição submersa em água.

⁵⁶ CONSTRUPAC. Disponível em: <<http://www.construpac.com.br/pdf/NBR12655.pdf>>. Acesso em: 20/11/2015.

Após 28 dias, os ensaios foram retirados do tanque de cura, para serem realizados os testes de resistência em prensa elétrica (Figuras 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 e 21) onde são aplicados vários golpes nos corpos de prova, até que o mesmo se rompa, finalizando assim a análise sobre a resistência.



Figura 14 – Desenforme dos corpos de prova.



Figura 15 – Desenforme dos corpos de prova.



Figura 16 – Corpos de prova



Figura 17 – Corpos de prova



Figura 18 – Realização dos testes de resistência.



Figura 19 – Realização dos testes de resistência.



Figura 20 – Realização dos testes de resistência.



Figura 21 – Realização dos testes de resistência.

As forças foram aplicadas até a ruptura, onde pôde-se obter os seguintes resultados descritos na Tabela 1:

TABELA 1 - AREIA INDUSTRIAL + AREIA NATURAL (TNF)			
CP	FC 7	FC 14	FC 28
1	4,05	6,48	8,17
2	4,59	6,92	8,81
3	4,26	6,21	8,99
4	4,25	6,15	9,18
5	4,46	6,32	7,83
Fcm	4,32	6,42	8,60

1) FC7

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$F = 4,32 \text{ TNF} = 43,2 \text{ KN} = 43,2 \times 10^3 \text{ N}$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} = 7854,53 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{43,2 \times 10^3 \text{ N}}{7854,53 \text{ mm}^2} = 5,5 \text{ Mpa}$$

2) FC14

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$F = 6,42 \text{ TNF} = 64,2 \text{ KN} = 64,2 \times 10^3 \text{ N}$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} = 7854,53 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{64,2 \times 10^3 \text{ N}}{7854,53 \text{ mm}^2} = 8,17 \text{ Mpa}$$

3) FC28

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$F = 8,60 \text{ TNF} = 86,0 \text{ KN} = 86,0 \times 10^3 \text{ N}$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} = 7854,53 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{86,0 \times 10^3 \text{ N}}{7854,53 \text{ mm}^2} = 10,9 \text{ Mpa}$$

Já na Tabela 2, os resultados foram os seguintes:

TABELA 2 - AREIA NATURAL (TNF)			
CP	FC 7	FC 14	FC 28
1	7,89	11,28	12,46
2	7,44	11,32	12,89
3	5,96	10,44	12,57
4	6,89	10,24	12,97
5	7,27	11,73	11,53
Fcm	7,09	11,00	12,48

1) FC7

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$F = 7,09 \text{ TNF} = 70,9 \text{ KN} = 70,9 \times 10^3 \text{ N}$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} = 7854,53 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{70,9 \times 10^3 \text{ N}}{7854,53 \text{ mm}^2} = 9,02 \text{ Mpa}$$

2) FC14

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$F = 11,0 \text{ TNF} = 110 \text{ KN} = 110 \times 10^3 \text{ N}$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} = 7854,53 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{110 \times 10^3 \text{ N}}{7854,53 \text{ mm}} = 14 \text{ Mpa}$$

3) FC28

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$F = 12,48 \text{ TNF} = 124,8 \text{ KN} = 124,8 \times 10^3 \text{ N}$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} = 7854,53 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{124,8 \times 10^3 \text{ N}}{7854,53 \text{ mm}} = 15,9 \text{ Mpa}$$

Após a caracterização dos métodos utilizados, será apresentada a discussão dos resultados obtidos.

4 CONCLUSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos no experimento de produção de concreto com substituição parcial de areia natural por areia industrial britada.

Serão comparados os resultados referentes às características do concreto produzido 100% com areia natural e do produzido com a mistura de areia natural + areia artificial britada.

Como discutido no item 2.3 do Capítulo 2, as características dos agregados miúdos e graúdos na produção do concreto podem influenciar amplamente em sua resistência e trabalhabilidade, assim como a mistura de agregados de diferentes tamanhos pode ser benéfica, uma vez que os agregados menores podem preencher os espaços deixados pelos agregados maiores.

A resistência do concreto foi testada através de ensaio de resistência à compressão do concreto, onde foram produzidos 30 corpos de prova cilíndricos de 10cm x 20cm, sendo 15 referentes à mistura com 100% de areia natural e os outros 15 produzidos com a mistura areia natural + areia industrial. Todo o processo foi executado observadas as normas da ABNT.

A principal função deste ensaio é fornecer um método simples e conveniente para controlar a uniformidade da produção de concreto de diferentes betonadas. Para uma variação fora do normal no resultado do abatimento pode significar numa mudança imprevista nas proporções da mistura (traço), granulometria do agregado ou teor de água⁵⁷.

No sétimo dia de experimento, já pôde-se constatar que a resistência apresentada nos corpos de prova produzidos 100% com areia natural era maior do que nos que foram utilizada a mistura de areia industrial e areia natural.

⁵⁷ CLUBE DO CONCRETO. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/08/afinal-slump-test-para-que.html>. Acesso em: 23/11/2015.

Já com 14 e aos 28 dias foi feito o rompimento dos corpos de provas e observou-se que os corpos produzidos com a mistura de areia natural apresentam maior resistência uma vez que foi necessária a aplicação de uma força maior para seu rompimento, se comparados com o momento de ruptura dos corpos de prova produzidos com o mix de areia industrial + areia natural, conforme demonstrado nas tabelas 3.1 e 3.2.

REFERÊNCIAS

ABNT Catálogo. Disponível em:
<<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=328047>>. Acesso em:
06/06/2016.

AÇOMIX LTDA. Disponível em:
<http://acomixltda.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=10>. Acesso em: 20/11/2015.

ALBUQUERQUE, A.S. Agregados. In: BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: LTC. 5ª edição revisada. Vol 1, 2014. Capítulo 4.

ANEPAC - Associação nacional das entidades de produtores de agregados para construção civil. Disponível em: <<http://anepac.org.br/wp/agregados/areia/>>. Acesso em: 18/04/2015.

BRITADOR SÃO GERALDO. Manual areia industrial. Caratinga: 2015.

CABRAL, K. O. **Influência da areia artificial oriunda da britagem de rocha granitognaisse nas propriedades do concreto convencional no estado fresco e endurecido**. Dissertação defendida no Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, (2007).

CERTIFICAÇÃO ISO. Disponível em: <<http://certificacaoiso.com.br/iso-14001/>>. Acesso em: 17/11/2015.

CLUBE DO CONCRETO. Disponível em:
<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/08/afinal-s slump-test-para-que.html>. Acesso em: 23/11/2015.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em:
17/11/2015.

CONSTRUPAC. Disponível em:
<<http://www.construpac.com.br/pdf/NBR12655.pdf>>. Acesso em: 20/11/2015.

COSTA, M. J. **Avaliação do uso da areia artificial em concreto de cimento Portland: Aplicabilidade de um Método de Dosagem**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil- UNIJUÍ, (2005).

FARIAS, PALMEIRA. Agregados para a construção civil. In: ISAIA, G. C. (organizador). **Materiais da construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Ibracon, 2010. v. 1.

GONÇALVES, Sebastião Mariano. **Estudos de areias artificiais em concreto betuminoso**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Kennedy, Belo Horizonte, 2009.

GRUPO ESCOLAR. Disponível em: <<http://www.grupoescolar.com/pesquisa/areia.html>> Acesso em: 17/11/2015

HONÓRIO, O. **Estudo de aumento de capacidade da planta de britagem da Usina I de Germano**, 2010.

KUCK, Denis Weiz. **Areia artificial para construção de edifícios**. Disponível em: <www.cienciaevida.com.br>. Acesso em: 15/11/2015.

LELLES, Leandro Camilo de. **Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água**. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n3/a11v29n3>>. Acesso em: 18/11/2015.

MEHTA, K. P. MONTEIRO, P.J.M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Ibracon. 2ª edição, 2014.

NEVILLE, A. M. BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2ª edição. 2013.

SBRIGHI NETO, C. Agregados naturais, britados e artificiais para concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto: ciência e tecnologia**. 1ª.ed. São Paulo: Ipsis, 2011. Volume 1, Capítulo 7, páginas 233-260.

SCIELO. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370-44672009000400014&script=sci_arttext>. Acesso em: 15/11/2015

TEODORO, Sabrina Bastos. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), UFJF, Juiz de Fora, 2013.