



Estudo da influência da areia industrial sobre as propriedades mecânicas do concreto de cimento Portland

Cristiane Carine dos Santos¹

Resumo

A areia natural, material amplamente utilizado em obras de engenharia, vem sofrendo um esgotamento progressivo de suas jazidas, causando sérios problemas ambientais, provocando uma busca por soluções alternativas. No presente trabalho efetuou-se um estudo da viabilidade de substituição da areia natural do concreto pela areia industrial, oriunda da britagem de rochas. Realizaram-se ensaios de resistência à compressão axial e módulo de elasticidade, bem como analisou-se o módulo de elasticidade estimado pela ABNT NBR 6118 (2014). Foram produzidos doze traços de concreto, de modo que a areia natural foi substituída nas proporções de 25, 50 e 75%, sendo utilizadas relações água/cimento de 0,35, 0,50 e 0,65 para cada teor de substituição. Os resultados apontaram que o maior valor de resistência à compressão foi obtido utilizando-se 25% de substituição e relação água/cimento 0,35 e o maior módulo foi obtido utilizando-se 50% de substituição e relação água/cimento 0,50. Quanto à estimativa do módulo de elasticidade pela equação da Norma, os resultados apresentaram diferenças em relação ao módulo ensaiado. O objetivo geral desta pesquisa foi alcançado, uma vez que se comprovou a viabilidade da substituição da areia natural pela industrial em concretos, demonstrando os melhores teores de substituição e relações água/cimento, levando em consideração as propriedades estudadas.

Palavras-chave: Concreto; Areia industrial; Resistência à compressão; Módulo de elasticidade.

Study of the influence of industrial sand on the mechanical properties of Portland cement concrete

Abstract

Natural sand, a material widely used in engineering works, has been suffering from a progressive depletion of its deposits, causing serious environmental problems, leading to a search for alternative solutions. In the present work a feasibility study was made of the substitution of the natural sand of the concrete by the industrial sand, coming from the crushing of rocks. Tests of axial compression strength and modulus of elasticity were performed, as well as the modulus of elasticity estimated by ABNT NBR 6118 (2014). Twelve traces of concrete were produced, so that the natural sand was replaced in the proportions of 25, 50 and 75%, using water / cement ratios of 0.35, 0.50 and 0.65 for each substitution content. The results showed that the highest compressive strength value was obtained using 25% replacement and water / cement ratio 0,35 and the largest modulus was obtained using 50% replacement and water / cement ratio 0,50. Regarding the estimate of the

¹ Cristiane Carine dos Santos, doutora em Engenharia Civil; Brasil, Universidade Federal de Santa Maria, Professora Adjunta; cristiane.c.santos@ufsm.br; <https://orcid.org/0000-0002-0988-2682>; <http://lattes.cnpq.br/4101897913771990>.



modulus of elasticity by the Standard, the results showed differences in relation to the tested module. The general objective of this research was achieved, since it was proved the viability of the substitution of the natural sand by the industrial one in concrete, demonstrating the best substitution contents and water / cement ratios, considering the studied properties.

Keywords: Concrete; Industrial sand; Compressive strength; Modulus of elasticity; Feasibility.

Recebido em: 14/03/2024

Aceito em: 02/04/2024

Publicado em: 20/05/2024

1 Introdução

O concreto é um material amplamente utilizado na construção civil, o qual possui uma estrutura heterogênea que apresenta em sua composição basicamente agregado graúdo e miúdo, aglomerante, água e ar, também podendo ser utilizado aditivo químico em alguns casos para melhoria das características e desempenho do material. A qualidade de um concreto depende, antes de qualquer coisa, da qualidade dos materiais que farão parte dessa composição, dessa forma é primordial o conhecimento das suas características por meio de ensaios e testes laboratoriais. A dosagem e o traço do concreto devem atender a certos requisitos de trabalhabilidade, resistência e durabilidade, os quais são considerados propriedades fundamentais do mesmo.

De acordo com Bauer et al. (2012) há algum tempo atrás a resistência à compressão era praticamente um dos únicos fatores de interesse de projetistas e tecnólogos de concreto. Contudo, com a introdução da verificação das estruturas para estados limites de utilização e necessidade de antecipar a entrada em carga das estruturas, outros parâmetros passaram a necessitar de acompanhamento, como o módulo de elasticidade, a resistência à tração e a porosidade.

Segundo Almeida (2012) o módulo de elasticidade é habitualmente obtido por meio de equações empíricas com base no ensaio de resistência à compressão axial do concreto. No entanto, a avaliação do módulo de elasticidade no ensaio de compressão se aplicaria apenas a materiais que obedecem à lei de Hooke, segundo a qual a deformação elástica de um sólido é proporcional à tensão aplicada. Desse modo verifica-se a importância da realização do ensaio laboratorial do módulo de elasticidade para obtenção de resultados mais próximos da realidade, não baseando-se apenas em equações empíricas.



A construção civil é um dos maiores consumidores de matérias-primas naturais. De acordo com a ANEPAC (Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção, 2015), a produção mineral global no ano de 2014 foi de 65 bilhões de toneladas, sendo que desse total, 45 bilhões eram atribuídos aos agregados. No Brasil o consumo de agregados no mesmo ano chegou a 741 milhões de toneladas (ANEPAC, 2015). Sendo assim, o desafio atual centra-se num aproveitamento racional dos resíduos oriundos de processos industriais, um exemplo é a areia industrial, material gerado da britagem de rochas.

1.1 Justificativa e identificação do estudo

A atividade de extração da areia natural em leitos de rios acaba gerando danos ao meio ambiente, uma vez que afeta inúmeras espécies de vegetações que se localizam próximas as margens dos cursos d'água. Com isso, os órgãos ambientais estão restringindo progressivamente a extração de areia natural em leitos de rios, o que torna esse material cada vez mais escasso, resultando numa exploração consideravelmente mais distante dos centros urbanos. Dessa forma, o preço final da areia natural torna-se mais alto, visto que a distância entre produtor e consumidor também aumenta.

Segundo Barea (2013) pesquisas que caracterizam materiais oriundos da reciclagem, reutilização e otimização obtêm grande importância. A exemplo disso tem-se os finos provenientes da britagem de rochas, material que muitas vezes é descartado e pode ter uma aplicação como agregado miúdo em concretos, substituindo a areia natural, sendo designado como areia industrial.

O presente trabalho buscou investigar a viabilidade técnica da utilização da areia industrial em substituição à areia natural, verificando a influência da mesma na resistência à compressão e no módulo de elasticidade do concreto. Além disso, objetivou-se comparar os resultados de módulo obtidos nos ensaios laboratoriais com os valores previstos pelas equações da NBR 6118 (ABNT, 2014). Buscou-se contribuir com o meio ambiente, encontrando uma solução para diminuir o impacto ambiental causado pela extração da areia natural e poder auxiliar os produtores de concreto a obterem um agregado miúdo sem altos custos de transporte, pois os reservatórios desse mineral estão cada vez mais escassos.

2 Concreto de cimento Portland

O concreto de cimento Portland é o atual material mais importante das estruturas e da construção civil (HELENE e ANDRADE, 2010). De acordo com Bastos (2002) dentre as



principais características do sucesso dessa difusão pode-se ressaltar suas propriedades técnicas como boa resistência à compressão, elevada resistência à água e facilidade de produzir peças com diferentes geometrias, além da propriedade de incorporar reforços para resistir à tração e cisalhamento, ao mesmo tempo que apresenta vantagens em relação ao seu custo, sendo relativamente menor.

Segundo Ambrozewicz (2012), para serem obtidas as características essenciais do concreto, como a trabalhabilidade de manuseio quando fresco, boa resistência mecânica, durabilidade e impermeabilidade quando endurecido, é necessário conhecer os fatores que influenciam na sua qualidade. Dentre esses fatores pode-se apontar a qualidade dos materiais, proporções adequadas, manipulação adequada, cálculo estrutural, execução das fôrmas, entre outras.

2.1.1 Cimento Portland

Conforme Castro et al. (2011) inúmeros fatores influenciam a reologia de materiais à base de cimento, dentre eles pode-se citar a relação água/cimento, a composição química e tempo de hidratação do cimento e a reatividade química do filer, além da massa específica, textura superficial e geometria das partículas, distribuição granulométrica, propriedades do aditivo químico, temperatura e umidade do meio onde é preparado e aplicado, condições de mistura e procedimento de ensaio adotado.

Assim, existem diversos fatores a serem considerados, sendo que a complexidade aumenta visto que acontecem interações físico-químicas entre esses fatores. De acordo com Castro et al. (2011) no caso do cimento, as propriedades físicas mais importantes em termos de fluidez da mistura são a granulometria e área superficial. Já em relação aos parâmetros químicos, os que mais exercem influência sobre as propriedades da mistura são a perda ao fogo, teor e a morfologia do Aluminato de Cálcio (CAC), teor de álcalis e o tipo de sulfato de cálcio adicionado ao clínquer.

2.1.2 Areia natural

De acordo com Azevedo (2017) o agregado miúdo é o segundo material mais utilizado na produção de concretos, ficando atrás somente dos agregados graúdos, e é um material de importante relevância na contribuição para as características do concreto. Sendo que as principais características as quais relacionam os agregados miúdos são durabilidade, resistência à compressão e trabalhabilidade.



Ainda, segundo Azevedo (2017), em função da granulometria de um agregado em relação ao outro, a resistência à compressão do concreto pode ser alterada. Agregados com alto teor de finos tendem a causar maior índice de vazios no concreto. Para proporcionar uma vida útil longa à estrutura é preciso garantir que o concreto não reaja com agentes externos e nem com o aço das armaduras, para isso o agregado deve ser inerte.

A areia utilizada como agregado miúdo deve atender aos requisitos estabelecidos pelas normas técnicas, como resistência aos esforços mecânicos, o conteúdo máximo de substâncias nocivas, por exemplo, torrões de argila, material pulverulento, matérias carbonosas e impurezas orgânicas. Também devem ser analisadas outras características em casos de areias oriundas de jazidas pouco conhecidas, como resistência à sulfatos de sódio e magnésio e a reatividade potencial, que se relaciona às reações de interação entre os álcalis do cimento e o agregado (MARTINS, 2008).

As jazidas de onde se processa a extração da areia podem ser jazidas de rio, jazidas de cava e jazidas de dunas e praias (AMBROZEWICZ, 2012). Segundo Valverde (2001) 90% da areia no Brasil é produzida em leito de rios. Já a areia de dunas e praias deve ser evitada na produção de concreto em função da finura e da presença de cloretos.

2.1.3 Pedra britada

Segundo Ambrozewicz (2012) a pedra britada é o agregado industrializado mais utilizado na construção civil. Metha e Monteiro (2014) expressa que uma das características que afetam o módulo de elasticidade do concreto, relacionado ao agregado graúdo, é a porosidade, considerada a mais importante. Isto é, a porosidade do agregado determina a sua rigidez, a qual controla a capacidade do agregado de restringir a deformação da matriz. Ainda conforme Cabral (2014) outras propriedades dos agregados também influenciam no módulo de elasticidade do concreto como por exemplo: forma, dimensão, textura superficial, granulometria e composição mineralógica. Estas podem influenciar a maior ou menor fissuração na interface, e com isso, afetar a forma da curva tensão-deformação.

2.1.4 Areia de britagem (industrial)

A areia artificial (industrial) até pouco tempo era considerada como rejeito com difícil colocação no mercado da construção civil, devido à falta de conhecimento e pesquisas desenvolvidas neste domínio. Trata-se de um material comumente encontrado em pedreiras



onde forma-se uma montanha de areia artificial que se acumula a partir da britagem da rocha na produção do agregado graúdo.

A areia de britagem possui uma distribuição granulométrica bem homogênea. De acordo com Teodoro (2013) isso se dá pelo processo de britagem que garante uma uniformidade aos grãos, bem como a brita, apresenta um formato anguloso e superfície áspera. Ainda conforme Teodoro (2013) apresentados em forma de placas, como as oriundas do basalto, os grãos conferem maior aderência às superfícies de aplicação, porém geram uma menor trabalhabilidade do concreto. Já quando em forma de cubos, como as oriundas do granito, proporcionam uma maior interação com a mistura, reduzindo assim a quantidade de vazios do concreto.

2.1.5 Módulo de elasticidade do concreto

Segundo Neville (1997 apud CABRAL, 2014) o módulo de elasticidade, também chamado de módulo de Young, é um parâmetro mecânico que proporciona a medida de rigidez de um material e está relacionado com as propriedades mecânicas, como tensão de ruptura, tensão de escoamento, temperatura de propagação de fissuras, etc. É uma propriedade particular dos materiais e depende da composição química, microestrutura e defeitos.

Alguns materiais, quando submetidos à carregamentos de certa magnitude, apresentam um comportamento linear entre a tensão e deformação, sendo chamados de linearmente elásticos. Outros materiais, como o concreto por exemplo, não apresentam um comportamento linear-elástico. Segundo Araújo (2008) esse comportamento é em consequência da microfissuração progressiva que acontece na interface entre pasta de cimento e agregado graúdo. O ponto onde a tensão induz a uma deformação permanente é chamado de limite elástico. Segundo Djanikian Filho (2010) quando as tensões a que são submetidos os corpos de prova de concreto durante uma prova de carga são suprimidas, a deformação por este sofrida desaparecerá parcialmente, e a propriedade do material que faz com que o mesmo volte ao seu estado inicial é denominada elasticidade. A capacidade de deformação do concreto é baixa e a parcela de deformação que não desaparece quando a tensão é suprimida no ensaio é definida como deformação permanente.

Segundo Neville (1997) é usual a determinação do módulo de Young do concreto por meio de equações empíricas ou mediante a determinação da curva tensão-deformação no regime elástico, obtida no ensaio de resistência à compressão axial. Como o concreto não é um material que obedece rigidamente a lei de Hooke e é muito sensível a esforços, devem ser



tomados procedimentos especiais. Nesse caso, partir das retas traçadas da origem até tensões que variam de 0,5 MPa à 30 MPa – 45% da resistência à compressão simples, são calculados módulos tangente e secante.

2.2 Estimativa do módulo de elasticidade por meio de modelo de previsão proposto na NBR 6118 (ABNT, 2014)

As estimativas do módulo de elasticidade são importantes na etapa de elaboração de um projeto. Na ausência de maiores informações e especificações, as estimativas permitem avaliar o comportamento de um material antes mesmo da realização de ensaios laboratoriais de caracterização. Dessa forma, a estimativa do módulo de elasticidade pode ser realizada por meio de equações empíricas ou modelos teóricos de previsão, encontrados em normas. Conforme Metha e Monteiro (2008) estas equações geralmente relacionam o módulo de elasticidade com a densidade e a resistência do concreto e devem ser utilizadas nas etapas iniciais do projeto, quando não há especificações detalhadas dos materiais que irão compor a mistura.

De acordo com Gidrão (2015) as resistências individuais dos materiais constituintes do concreto estão intimamente ligadas à resistência final do mesmo, logo essa resistência influirá diretamente na capacidade de restrição às deformações impostas à matriz. Outro fator que está atrelado ao módulo de elasticidade é a porosidade do agregado e uma boa estimativa desta porosidade se dá por meio do peso unitário do concreto produzido. Pode-se ainda, alternativamente, considerar algum coeficiente que represente o tipo de agregado que será utilizado na mistura.

A norma que estabelece a determinação do módulo de elasticidade e de deformação do concreto, no Brasil, é a NBR 6118 (ABNT, 2014). Essa Norma vem sofrendo atualizações ao longo do tempo, a evolução das equações ao longo dos anos está representada na Tabela 1.



Tabela 1. Evolução das equações para cálculo do módulo de elasticidade ao longo dos anos.

Versão	Módulo de Elasticidade (Eci)
1978	$E_{ci} = 6600 \times \sqrt{f_{ck} + 3,5}$
2003	Para $f_{ck} \leq 50$ Mpa
2007	$E_{ci} = 5600 \times \sqrt{f_{ck}}$
2014 (atual)	<p>Para $20 \leq f_{ck} \leq 50$ Mpa</p> $E_{ci} = \alpha_e 5600 \times \sqrt{f_{ck}}$ <p>Para $55 \leq f_{ck} \leq 90$ Mpa</p> $E_{ci} = 21,5 \times 10^3 \times \alpha_e \times \sqrt[3]{\frac{f_{ck}}{10}} \times 1,25$ <p>Em que:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\alpha_e = 1,2$ para basalto e diabásico $\alpha_e = 1,0$ para granito e gnaisse $\alpha_e = 0,9$ para calcário

Fonte: Adaptado das NBRs 6118 (ABNT, 1978; 2003; 2007 e 2014).

2.3 Resistência à compressão axial

Segundo Teodoro (2013) a resistência à compressão pode ser considerada como a propriedade mais importante do concreto. Isso se justifica ao fato de estar diretamente ligada à sua estrutura interna, indicando uma estimativa do desempenho em termos mecânicos e indiretamente, da durabilidade.

Para se projetar estruturas de concreto armado, o engenheiro/projetista calculista estipula uma resistência característica à compressão, que é definida como valor de referência e adotada como base de cálculo e está associada a um nível de confiança de 95% (HELENE e ANDRADE, 2010). De acordo com Helene e Andrade (2010), para que uma estrutura atenda aos requisitos de segurança, do ponto de vista estrutural, essa resistência estipulada deve ser atingida pelo concreto na estrutura, devendo ser avaliada, demonstrada e registrada durante todo o processo de produção.



O ensaio de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos deve seguir as especificações e procedimentos da NBR 5739 (ABNT, 2018). Esta define os tratamentos que podem ser empregados no topo dos corpos de prova, umidade, velocidade de carregamento, dentre outras condições de ensaios que podem influenciar nos resultados.

2.4 Utilização da areia industrial em concretos

Vários estudos contemplam a análise do comportamento de concretos com a utilização de agregados alternativos, como é o caso da areia industrial. Costa (2005) em seu estudo a respeito do uso da areia artificial em concretos de cimento Portland analisou concretos empregando 25 e 50% de substituição, chegando a valores de resistência à compressão axial superiores ou muito próximos aos traços de referência, na idade de 28 dias. Bezerra et al. (2017) em um estudo da utilização do resíduo de pó de pedra como agregado miúdo em concretos analisou substituições de 0, 25, 75 e 100%. Este verificou que na medida em que se aumentaram os percentuais de substituição do resíduo ocorreu o aumento de resistência à compressão em todos os traços, como ocorreu o melhoramento da consistência.

Já Lodi (2006) em seu estudo a respeito da viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento Portland na região de Chapecó-SC analisou concretos com 75% e 65% de substituição da areia natural, alternando dois tipos de areia de britagem. Lodi (2006) verificou que a resistência à compressão aumentou no concreto produzido com porcentagem de areia de britagem em relação ao de areia natural, mas em compensação o módulo de elasticidade foi 6% menor no concreto de britagem, em comparação ao produzido com areia natural. Menossi (2004) analisou em seu estudo, concretos com substituições de 25, 50, 75 e 100% de areia natural pelo pó de pedra basáltica. Este verificou que, para as idades de 7, 28 e 91 dias, o concreto com adição do pó de pedra apresentou um ganho de resistência à compressão em todos os traços analisados.

Analisando os dados obtidos nos estudos já realizados sobre o tema, observa-se que os autores em alguns casos atingem resultados satisfatórios, onde as propriedades dos concretos são melhoradas com a adição da areia industrial. Já em outros estudos, atingem resultados onde as propriedades são agravadas.

3 Metodologia

Do ponto de vista de sua natureza, o presente trabalho trata-se de uma pesquisa aplicada, a qual buscou a partir de um levantamento bibliográfico realizado por meio da



seleção de trabalhos já elaborados sobre o tema proposto, aplicá-los em um estudo do módulo de elasticidade e da resistência à compressão de concretos, utilizando diferentes teores de areia industrial. Posteriormente realizou-se a comparação dos resultados de módulo de elasticidade obtidos nos ensaios laboratoriais com os valores previstos nas equações da NBR 6118 (ABNT, 2014). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção - LMCC da URI, Campus de Frederico Westphalen.

3.1 Caracterização dos materiais utilizados

3.1.1 Cimento

O cimento utilizado para a produção das misturas foi o Cimento Portland Composto CP II-Z-32 da marca Votoran, empresa Votorantim Cimentos, o qual apresenta em sua composição silicatos de cálcio, alumínio e ferro, sulfato de cálcio, filler carbonático e pozolana. Esse cimento é fabricado segundo a NBR 16697 (ABNT, 2018) - Cimento Portland – Requisitos.

3.1.2 Agregados

Os agregados utilizados nos ensaios foram: brita basáltica (agregado graúdo) e areia quartzosa (agregado miúdo), ambos disponibilizados pelo LMCC da URI. Também foi utilizada areia industrial (agregado miúdo), oriunda da britagem de rochas basálticas, disponibilizada por uma empresa de pavimentação da cidade de Frederico Westphalen.

A determinação da composição granulométrica dos agregados miúdos e graúdos para os concretos teve como base a NBR NM 248 (ABNT, 2003) - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Ela especifica como deve se proceder o ensaio, aparelhagem a ser utilizada e definições. Por meio dos ensaios realizados e as curvas granulométricas geradas observou-se que a areia natural se apresenta dentro da zona utilizável, em conformidade com a norma NBR 7211 (ABNT, 2009), satisfazendo os limites estabelecidos. Já a curva granulométrica da areia industrial apresentou-se parcialmente dentro da zona ótima e o restante na zona utilizável, satisfazendo assim, os limites estabelecidos. De acordo com a curva granulométrica do agregado graúdo, também em conformidade com a norma NBR 7211 (ABNT, 2009), pode-se classificar como brita 1.

Os ensaios para determinação da massa específica dos agregados miúdos tiveram como base a NBR NM 52 (ABNT, 2009) – Agregado miúdo – Determinação da massa



específica e massa específica aparente. Para determinação da massa específica do agregado graúdo foi seguido o que estabelece a NBR NM 53 (ABNT, 2009) – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.

Para determinação da massa unitária dos agregados foi seguido o que estabelece a NBR NM 45 (ABNT, 2006) Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de caracterização física dos agregados.

Tabela 2. Caracterização física dos agregados.

Caracterização física dos agregados	Agregados		
	Brita	Areia natural	Areia industrial
Massa específica (g/cm ³)	-	2,611	2,849
Massa unitária (g/cm ³)	1,45	1,61	1,57
Módulo de Finura)	6,92	2,9	2,64
Diâmetro máximo (mm)	19	1,18	1,18

3.1.3 Água de amassamento

A água de amassamento utilizada para a realização dos ensaios laboratoriais foi a mesma água consumida nas dependências da URI, proveniente da rede pública de abastecimento.

3.2 Descrição dos processos

Foram produzidos doze traços diferentes de concreto, alterando a quantidade de areia industrial em substituição à natural, conforme mostra a Tabela 3.



Tabela 3 - Teores de substituição da areia natural pela industrial com base nos traços referência e relações água/cimento.

Nomenclatura adotada	Areia natural	Areia industrial	Relação água/cimento
TR 0,35	100%	0%	0,35
TR 0,50	100%	0%	0,50
TR 0,65	100%	0%	0,65
25% 0,35	75%	25%	0,35
25% 0,50	75%	25%	0,50
25% 0,65	75%	25%	0,65
50% 0,35	50%	50%	0,35
50% 0,50	50%	50%	0,50
50% 0,65	50%	50%	0,65
75% 0,35	25%	75%	0,35
75% 0,50	25%	75%	0,50
75% 0,65	25%	75%	0,65

O estudo de dosagem do concreto foi realizado de acordo com o método proposto por Helene e Terzian (1992). Foram adotadas três relações água/cimento (0,35, 0,50 e 0,65), abatimento de tronco de cone de 100 ± 20 mm e ainda, em alguns casos foi necessário melhorar a consistência do concreto, então foi utilizado aditivo superplastificante com poder de redução de água nas misturas. A Tabela 4 apresenta as denominações e composições dos traços unitários de acordo com as substituições de areia natural pela industrial, onde: c (cimento), a (areia natural), ai (areia industrial), b (brita) e a/c (relação água/cimento).



Tabela 4 - Denominação e composição dos traços unitários.

Traço	Traço unitário (c : a : ai : b : a/c)
TR 0,35	1 : 1,3 : 2,21 : 0,35
TR 0,50	1 : 2,06 : 2,94 : 0,50
TR 0,65	1 : 2,83 : 3,68 : 0,65
25% 0,35	1 : 0,98 : 0,32 : 2,21 : 0,35
25% 0,50	1 : 1,55 : 0,5 : 2,94 : 0,50
25% 0,65	1 : 2,12 : 0,71 : 3,68 : 0,65
50% 0,35	1 : 0,65 : 0,65 : 2,21 : 0,35
50% 0,50	1 : 1,03 : 1,03 : 2,94 : 0,50
50% 0,65	1 : 1,42 : 1,42 : 3,68 : 0,65
75% 0,35	1 : 0,32 : 0,98 : 2,2 : 0,35
75% 0,50	1 : 0,51 : 1,55 : 2,94 : 0,50
75% 0,65	1 : 0,71 : 2,12 : 3,68 : 0,65

3.3 Ensaio de abatimento do tronco de cone

Para realização do ensaio de abatimento dos concretos foi seguido o que rege a NBR 67 (ANBT, 1998) - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Esta norma especifica um método para determinar a consistência do concreto fresco por meio da medida de seu assentamento.



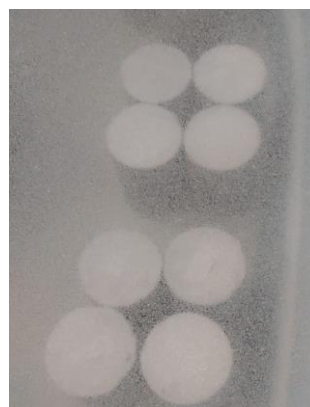
3.4 Moldagem e cura dos corpos-de-prova

Para as misturas dos traços foi utilizada uma betoneira com capacidade de 120 litros. Para cada traço de concreto foram moldados seis corpos-de-prova cilíndricos 100 x 200 mm. Três dos corpos-de-prova foram destinados aos ensaios de resistência à compressão e os outros três para módulo estático de elasticidade. Para a realização da moldagem e cura foi seguido o que estabelece a NBR 5738 (ABNT, 2016) - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. As Figuras 1 (a), 1 (b) e 2 mostram a realização da moldagem e cura dos corpos de prova.

Figuras 1 (a) e (b) - Moldagem e cura inicial dos corpos de prova.



Figura 2- Cura dos corpos de prova em tanque d'água.



3.5 Resistência à compressão axial

Para cada traço de concreto foi realizado o ensaio de resistência à compressão axial, em prensa com capacidade para 100 toneladas. Foram ensaiados 3 corpos de prova para cada traço, com idade de 28 dias e após foi feita uma média entre as resistências. Foram seguidos



os procedimentos da NBR 5739 (ABNT, 2018) - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, para realização dos ensaios. A Figura 3 apresenta a realização do ensaio.

Figura 3 - Ensaio de resistência à compressão axial.



3.6 Módulo de elasticidade ou módulo de Young

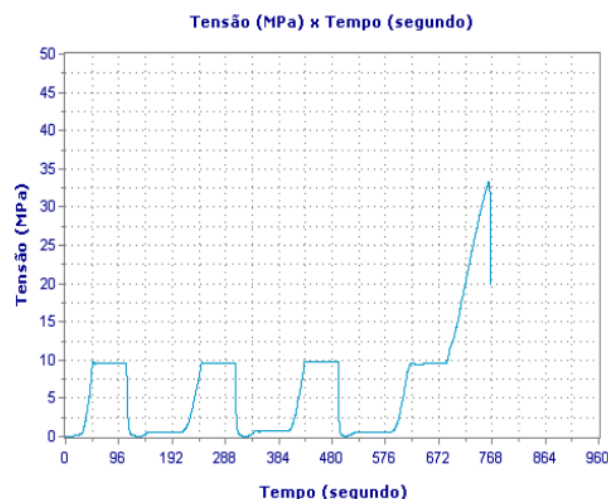
Para cada traço foi realizado o ensaio de módulo de elasticidade estático, onde por meio dos dados de tensão de ruptura à compressão pode-se calcular o percentual de carga última para determinação do módulo de elasticidade. Para atender as especificações o ensaio foi realizado em três corpos de prova cilíndricos, curados em água até a data do ensaio, quando foram posicionados ao centro da prensa, e submetidos à três carregamentos e descarregamentos sucessivos entre a tensão inicial de 0,5 MPa. A metodologia do ensaio estático, denominada módulo de elasticidade ou módulo de deformação tangente inicial, seguiu o que define a NBR 8522 (ABNT, 2017) - Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. A Figura 4 apresenta a realização do ensaio. Já a Figura 5 apresenta o modelo de gráfico gerado no final do ensaio.



Figura 4 - Realização do ensaio de módulo de elasticidade estático.



Figura 5- Gráfico gerado no ensaio de módulo estático de elasticidade.



3.7 Estimativa do módulo de elasticidade através do modelo de previsão proposto na NBR 6118 (ABNT, 2014)

Com a obtenção dos valores de resistência à compressão axial dos traços por meio dos ensaios experimentais foram realizadas estimativas do módulo de elasticidade por meio das equações da NBR 6118 (ABNT, 2014). Foi então realizada uma comparação entre os valores de módulo de elasticidade estimados e os valores reais obtidos nos ensaios laboratoriais, para verificar se existe variação entre os resultados e se a mesma é significativa ou não.

3.8 Análise dos resultados

Com base nos resultados obtidos por meio dos ensaios experimentais, foi realizado o tratamento estatístico para melhorar a interpretação e entendimento, verificando assim, a



semelhança ou não entre os grupos de resultados. Primeiramente foi realizada a estatística descritiva envolvendo as medidas de posição (médias). Em seguida, foi aplicado o teste ANOVA (Análise de variância) para verificar se os dados foram significativos ou não em relação as suas médias e, posteriormente, foi realizado o teste de Tukey para a comparação das médias. Os resultados foram representados na forma de Tabelas e Gráficos, onde foi realizada a análise e discussão dos mesmos. Para a operação e apresentação dessas análises foram utilizados também os recursos do software Microsoft Excel.

4 Apresentação e Análise dos Resultados

Realizando a análise estatística dos dados, a ANOVA apresentou efeito significativo para ambas às fontes de variação e para a interação entre elas. Com isso comprovou-se que, tanto os valores obtidos de resistência à compressão quanto os de módulo de elasticidade são significativos para dar andamento às demais análises dos dados.

4.1 Abatimento do tronco de cone

Os concretos foram produzidos para relações água/cimento pré-estabelecidas, com valores de abatimento na faixa de 100 ± 20 mm. Na Tabela 5 são apresentadas as porcentagens de aditivo redutor de água utilizadas para cada traço, para manter o abatimento do tronco de cone dentro da faixa determinada.

Tabela 5 - Porcentagem de aditivo adicionado às misturas.

Amostra	% de aditivo adicionado à mistura
TR 0,35	0,0
TR 0,50	0,0
TR 0,65	0,2
25% 0,35	0,4
25% 0,50	0,2
25% 0,65	0,0
50% 0,35	0,6
50% 0,50	0,6
50% 0,65	0,2
75% 0,35	0,9
75% 0,50	0,8
75% 0,65	0,4



Observa-se que quanto maior o teor de areia industrial adicionado à mistura, maior a quantidade de aditivo redutor de água necessário para a manutenção do abatimento dentro da faixa determinada. Realizando uma comparação entre cada faixa de substituição da areia, verifica-se que para as misturas com relação água/cimento mais baixa foi necessário adicionar maior quantidade de aditivo redutor de água. O traço que necessitou a maior quantidade de aditivo, sendo utilizado 0,9%, foi o de 75% de substituição com 0,35 de relação água/cimento, sendo que o máximo determinado pelo fabricante do produto é de 1%, ficando, assim, dentro do limite permitido.

Menossi (2004), em um estudo da utilização do pó de pedra basáltica em substituição a areia natural do concreto, verificou que o concreto com pó de pedra, sem aditivo, exigiu maior demanda de água para que atingisse o mesmo abatimento que um concreto produzido com areia natural. O autor também verificou que é essencial a utilização de aditivos para confecção desses concretos, pois estes possuem uma acentuada perda de abatimento com o tempo, tornando necessário o uso de aditivos do tipo multifuncionais.

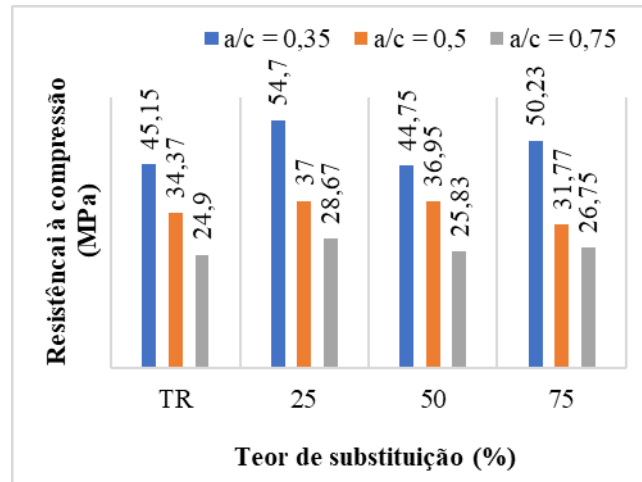
Bastos (2002), ao analisar o uso da areia artificial basáltica em substituição parcial à areia fina para a produção de concretos convencionais, verificou que até 50% de substituição em massa da areia natural pela artificial não houve redução do abatimento, já para substituição de 70% ocorreu uma perda de 30% de abatimento, sendo que o concreto ficou áspero devido a forma lamelar da areia artificial. O autor verificou ainda que quando utilizado 70% de substituição a relação água/cimento foi reduzida em média de 10%.

4.2 Resistência à compressão axial

Na análise dos resultados comparou-se o traço de referência com concretos com substituições de 25, 50 e 75% de areia natural pela industrial, para as diferentes relações de água/cimento. Na Figura 6 são apresentados os resultados obtidos de resistências à compressão em função da porcentagem de substituição e relação água/cimento.



Figura 6 - Resistência à compressão em função da porcentagem de substituição e relação água/cimento.



Observa-se que para os concretos produzidos com 25% de substituição de areia natural pela industrial, para as três relações água/cimento, foram obtidos resultados de resistência à compressão superiores aos traços de referência. Dentro desse grupo, observa-se que o traço que apresentou maior resistência foi o de relação/água cimento de 0,35.

Para os concretos produzidos com 50% de substituição verifica-se que para o traço com relação água/cimento de 0,35 houve um decréscimo na resistência, em relação ao traço referência. Já para as relações água/cimento de 0,50 e 0,65 houve um aumento de resistência, porém todos os valores de resistência ficaram próximos aos dos traços de referência. Dentro desse grupo o traço que apresentou a maior resistência foi o de relação água/cimento de 0,35.

Para os traços produzidos com 75% de substituição, houve aumento de resistência para as relações água/cimento de 0,35 e 0,65, já para a relação água/cimento de 0,50 houve um decréscimo, se comparados aos traços referência. Nesse grupo, observa-se que o traço produzido com 0,35 de relação água/cimento foi o que apresentou maior resistência.

Drago et al. (2009) em um estudo do efeito da utilização da areia de britagem em concretos de cimento Portland, analisou traços com teores de substituição de 30, 60 e 100% de areia natural pela areia de britagem, com diferentes relações água/cimento. Os autores verificaram que para concretos com relações água/cimento 0,55 e 0,60, o teor de 60% de areia de britagem proporcionou maior resistência à compressão comparado ao concreto de referência. Já concretos com relação água/cimento 0,65, com 100% de substituição, a resistência à compressão é menor em relação aos demais teores.



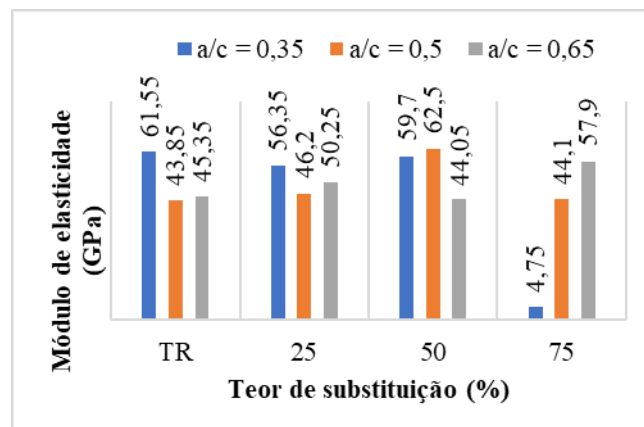
Costa (2005) em seu estudo, compara o traço referência (100% areia natural) com um traço de substituição de 25% de areia de britagem para concretos de 32 e 45 MPa e um traço com substituição de 50% de areia de britagem para concretos de 32 e 45 MPa. O autor observou que para os concretos com 25% de substituição de areia de britagem os resultados foram superiores aos de referência, praticamente em todas as idades analisadas. Já os concretos com 50% de substituição apresentaram resultados inferiores à referência para 32 MPa e se manteve próximo à referência para 45MPa.

Menossi (2004) analisou em seu estudo concretos com substituições de 25, 50, 75 e 100% de areia natural pelo pó de pedra basáltica. Este verificou que para as idades de 7, 28 e 91 dias, o concreto com adição do pó de pedra apresentou um ganho de resistência em todos os traços analisados. Um fato que destacou foi de que comparando-se o traço referência com o traço de 100% de adição de pó de pedra percebe-se um acréscimo significativo de resistência, uma vez que foram mantidos constantes a água, relação água cimento e proporção de argamassa. Sendo que essa diferença está na ordem de 30,9% aos 7 dias, 66% aos 28 dias e 70% aos 91 dias.

4.3 Módulo de elasticidade

No estudo do módulo de elasticidade, assim como no de resistência à compressão axial, foram analisados concretos de referência (sem substituições) e concretos com substituições de 25, 50 e 75% de areia natural pela industrial, para as diferentes relações de água/cimento. Na Figura 7 são apresentados os resultados obtidos de módulo de elasticidade em função da porcentagem de substituição e relação água/cimento.

Figura 7 - Módulo de elasticidade em função do teor de substituição e relação água/cimento.





Observa-se que para os concretos produzidos com 25% de substituição o valor do módulo de elasticidade aumentou para as relações água/cimento de 0,50 e 0,65, se comparados aos traços de referência. Já para a relação água/cimento 0,35 houve uma queda no valor de módulo, embora para esse grupo tenha sido o que apresentou maior valor. Para os concretos produzidos com 50% de substituição, os valores do módulo de elasticidade aumentaram para a relação água/cimento de 0,50, já para as relações água/cimento de 0,35 e 0,65 diminuíram, sendo que nesse grupo o traço que apresentou o maior módulo foi o de relação água/cimento de 0,50. Para os concretos produzidos com 75% de substituição, houve aumento no valor de módulo para as relações água/cimento de 0,50 e 0,65. Já para a relação água/cimento de 0,35 verifica-se que houve uma queda brusca no valor de módulo, podendo ser ocasionada devido à erros no processo de moldagem ou na execução do ensaio. Dentro desse grupo, o traço que apresentou maior módulo foi o de relação água/cimento de 0,65.

Lodi (2006) em seu estudo a respeito da viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento Portland na região de Chapecó-SC, analisou traços com 75% e 65% de substituição da areia natural, alternando dois tipos de areia de britagem. O autor verificou que, para os dois tipos de areia de britagem avaliados, o módulo de elasticidade obtido nos concretos diminuiu em média aproximadamente 6%.

Teodoro (2013) avaliou o uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural e verificou que os concretos com agregado miúdo natural obtiveram maior módulo que os concretos com agregado miúdo britado. Embora apresentassem menores quantidades de finos totais composto nestes concretos com menor quantidade de cimento e material pulverulento, além de partículas de forma arredondadas e textura lisa, o que facilita a formação de microfissuras na interface agregado pasta e, que pode provocar deformação.

O estudo de Viero (2010) demonstra que os módulos de elasticidade dos concretos que utilizaram areia de britagem na mistura apresentaram valores 30% abaixo dos valores dos concretos produzidos com areia natural. A medida que cresce o teor de argamassa nas misturas, decresce os valores de módulo de elasticidade, mesmo com o traço corrigido. Segundo Viero (2010) a explicação para tais acontecimentos podem estar no teor de material pulverulento, na forma e na textura superficial dos grãos, que afetam diretamente o teor de argamassa. O aumento no teor de argamassa provoca uma diminuição na quantidade de agregado graúdo, podendo levar a uma diminuição do módulo de elasticidade, conforme constatado.



4.4 Estimativa do módulo de elasticidade através do modelo de previsão proposto na NBR 6118 (ABNT, 2014)

Realizou-se a comparação dos valores de módulo de elasticidade obtidos nos ensaios laboratoriais com os valores estimados na NBR 6118 (ABNT, 2014). A Tabela 6 apresenta a média dos resultados de módulo de elasticidade para cada traço de concreto ensaiado aos 28 dias de idade, de acordo com a NBR 8522 (ABNT, 2008), assim como o valor teórico calculado pela NBR 6118 (ABNT, 2014).

Tabela 6- Média dos resultados de módulo de elasticidade ensaiados e do valor teórico calculado pela NBR 6118 (2014).

Amostra	Módulo de elasticidade (GPa)	
	Valor médio de ensaio (GPa)	Valor Teórico (GPa)
TR 0,35	61,55	45,15
TR 0,50	43,85	39,40
TR 0,65	45,35	33,53
25% 0,35	56,35	49,70
25% 0,50	46,20	40,88
25% 0,65	50,25	35,98
50% 0,35	59,70	51,92
50% 0,50	62,50	45,03
50% 0,65	44,05	34,15
75% 0,35	4,75	47,63
75% 0,50	44,10	37,88
75% 0,65	57,90	36,13

Fonte: O Autor (2021).

Observa-se que todas as médias dos módulos de elasticidade ensaiados superaram os valores teóricos, exceto a amostra 75% 0,35, a qual apresentou valor muito abaixo do esperado no ensaio laboratorial, sendo desconsiderado na análise. O valor teórico que mais se distanciou do valor encontrado no laboratório foi o da amostra 75% 0,65, apresentando uma diferença de 21,77 GPa. Já o valor teórico que mais se aproximou do valor de laboratório foi o



da amostra TR 0,50 com diferença de 4,45 GPa. Para as demais, as amostras TR 0,35, TR 0,65, 25% 0,65 e 50% 0,50, apresentaram diferença de valores superiores a 10 GPa, sendo o maior valor o da amostra 50% 0,50 com 17,47 GPa de diferença. Já as amostras 25% 0,35, 25% 0,50, 50% 0,35, 50% 0,65 e 75% 0,50 apresentaram diferença de valores inferiores a 10 GPa.

Nisz et al. (2017), em seu estudo da viabilidade técnica do uso do pó de pedra para produção de concreto, analisou concretos com diferentes teores de substituição de areia natural por pó de pedra no concreto. Se tratando da comparação de valores de módulo de laboratório com os estimados na norma, os autores verificaram que todos os valores teóricos superaram as médias dos módulos de elasticidade ensaiados, sendo que apresentaram valores semelhantes quando comparados o módulo teórico e o módulo obtido por meio dos ensaios.

Kummer (2016) em seu estudo analisou a resistência à compressão e módulo de elasticidade dos concretos de uma central dosadora de concreto de Lajeado-RS. Kummer (2016) identificou que a equação proposta pela NBR 6118 (ABNT, 2014) para estimar o módulo de elasticidade tangente inicial em função da resistência à compressão superestima os valores do módulo de elasticidade dos concretos estudados, apresentando uma diferença significativa para as resistências mais elevadas.

4.5 Análise estatística

A partir dos resultados obtidos determinou-se a Análise de Variância (ANOVA) da influência do teor de areia industrial e da relação água/cimento sobre a resistência à compressão axial, bem como a sobre o módulo de elasticidade, representados nas Tabela 7 e 8. Utilizou-se um nível de significância 0,05, que significa um grau de confiança superior a 95%.

Tabela 7 – ANOVA da influência dos fatores sobre a resistência à compressão axial.

Fonte da variação	Entre grupos	Dentro dos grupos	Total
SQ	10736,15694	10469,17509	21205,33203
gl	2	33	35
MQ	5368,078	317,2477	-
F	16,92078	-	-
Valor-P	8,75E-06	-	-
F crítico	3,284918	-	-



Tabela 8 – ANOVA da influência dos fatores sobre o módulo de elasticidade.

Fonte da variação	Entre grupos	Dentro dos grupos	Total
SQ	14963,28347	12007,55229	26970,83576
gl	2	33	35
MQ	7481,6417	363,86522	-
F	20,5615742	-	-
Valor-P	1,59E-06	-	-
F crítico	3,284918	-	-

Nota: SQ = soma quadrada; gl = grau de liberdade; MQ = média quadrada; F = valor calculado; valor-p = significância; F crítico = valor tabelado para nível de significância 0,05.

Conforme observa-se nas Tabelas 7 e 8 a relação água/cimento e o teor de substituição da areia natural pela industrial apresentam significância tanto em relação à resistência à compressão quanto ao módulo de elasticidade, pois o valor de $F > F_{crítico}$. Sendo que ambos os fatores apresentam significância tanto em relação à resistência à compressão quanto ao módulo de elasticidade, uma vez que o valor-P observado é menor que o nível de significância definido para o estudo de 0,05.

5 Conclusões

O estudo revelou que é viável realizar misturas de concretos com substituições de areia natural pela industrial, uma vez que os concretos apresentaram resultados satisfatórios, nos limites das propriedades analisadas nesse trabalho, podendo ser utilizado como base para estudos futuros. A areia industrial no concreto está relacionada ao panorama ambiental, uma vez que seu emprego implica numa redução dos danos causados pela exploração da areia natural, presente do leito de rios.

Quanto às propriedades estudadas, em relação à resistência à compressão, os testes realizados revelaram que o valor de maior resistência de 54,70 MPa foi obtido utilizando-se o teor de substituição de 25% e uma relação água/cimento de 0,35. Já em relação ao módulo de elasticidade de acordo com os testes realizados, o maior módulo de 62,5 GPa foi obtido utilizando-se o teor de substituição de 50% e uma relação água/cimento de 0,50. Para ambas as propriedades estudadas, os testes realizados em laboratório demonstraram resultados



positivos para algumas variações (composições), sendo que para outras demonstraram resultados negativos, devendo ser desconsideradas em estudos futuros.

Quanto à estimativa do módulo de elasticidade realizada através das equações da NBR 6118 (ABNT, 2014), verificou-se que existem diferenças entre os valores estimados e os valores ensaiados em laboratório. Por isso pode-se afirmar, mesmo com pouca fonte de variação, que a melhor maneira para determinação do módulo é realizar os ensaios laboratoriais e somente recorrer à norma quando for inviável a realização do ensaio.

Pode-se concluir que a areia industrial é um material alternativo à natural no concreto, pois, com certas substituições, obteve-se uma melhoria significativa das propriedades do concreto estudadas, além de contribuir com a redução de impactos ambientais no processo de produção do concreto.

Referências bibliográficas

- ANEPAC. **Panorama e perspectivas para o setor de agregados para construção.** Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção – ANEPAC. 2015. Disponível em: http://www.anepac.org.br/agregados/mercado/item/download/69_04062b071b7171f3481b7a0e8f36f5ac. Acesso em: 16 de março de 2019.
- AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de Construção: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório.** São Paulo: Pini, 2012.
- ARAÚJO, José Milton. **Modelos para previsão do módulo de deformação longitudinal do concreto: NBR-6118 versus CEB.** Teoria e Prática Na Engenharia Civil, Rio Grande - RS, n. 12, p. 81-91. 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: 2014.
- “_____”. **NBR 5738:** Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: 2016.
- “_____”. **NBR 5739:** Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: 2018.
- “_____”. **NBR 6118:** Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro: 1978.
- “_____”. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: 2003.
- “_____”. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: 2007.
- “_____”. **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: 2009.
- “_____”. **NBR 8522:** Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro: 2017.



“_____”. **NBR 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: 1998

“_____”. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro: 2018

“_____”. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: 2006.

“_____”. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: 2009.

“_____”. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: 2009.

“_____”. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: 2003.

AZEVEDO, Felipe Fernandes; MARTINS, Romulo Henrique Batista; PARANAIBA, Nathalia Sousa Carvalho Tavares; OLIVO, Jaqueline Schiavinato. **AGREGADOS MIÚDOS: A Importância dos Agregados Miúdos no Controle Tecnológico do Concreto**. 2017. Rev. Conexão Eletrônica, Três Lagoas – MS. Volume 14, Número 1, Ano 2017.

BAREA, Marco Antônio Schmidt. **Análise da viabilidade técnica e econômica da utilização do agregado miúdo de britagem de rocha basáltica em argamassa de revestimento**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2013.

BASTOS, Sandra Regina Bertocini. **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial à areia fina para a produção de concretos convencionais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 2002.

BAUER, Elton; PEREIRA, Cláudio Henrique de Almeida Feitosa; DE SOUZA LEAL, Antonio Carlos Ferreira. **Valores do módulo de elasticidade de concretos comerciais na região do Distrito Federal**. In: XIV ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2012. Anais. Juiz de Fora - MG: ENTAC, 2012.

CABRAL, Larissa Marques Cunha. **Análise comparativa do módulo de elasticidade calculado segundo diferentes normas**. Dissertação (Mestrado). Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP. Recife, PE. 2014

CASTRO, A. L. de; LIBORIO, J. B. L.; PANDOLFELLI, V. C. **A influência do tipo de cimento no desempenho de concretos avançados formulados a partir do método de dosagem computacional**. Cerâmica, São Paulo, v. 57, n. 341, p. 10- 21, 2011.

COSTA, Marlo Jorge da. **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).

DJANIKIAN FILHO, João Gaspar. **Controle do módulo de elasticidade do concreto na estrutura com uso de célula de fluência**. São Paulo: EPUSP, 2010.

DRAGO, Cristina; VERNEY, José Carlos Krause de; PEREIRA, Fernanda Macedo. **Efeito da utilização de areia de britagem em concretos de cimento Portland**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 62, n. 3, jul-set 2009.



- GIDRÃO, Gustavo de Miranda Saleme. **Propriedades dinâmicas do concreto e relações com sua microestrutura**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Universidade de São Paulo. 132 fls. São Carlos/SP, 2015.
- HELENE, Paulo Roberto do Lago.; TERZIAN, Paulo. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo, SP, Ed. Pini. 1992.
- HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de cimento Portland. Isaia, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, v. 2, p. 905-944, 2010.
- KUMMER, Lucas Marcel. **Resistência à compressão e módulo de elasticidade dos concretos de uma central dosadora de concreto de Lajeado/RS**. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário UNIVATES. Lajeado – RS. 2017
- LODI, Victor Hugo. **Viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concreto de cimento Portland na região de Chapecó-SC**. 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado profissional em Desempenho de Sistemas Construtivos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Comunitária Regional de Chapecó, Florianópolis, 2006.
- MARTINS, Paulo Benjamim Morais. **Influência da granulometria agregado miúdo na trabalhabilidade do concreto**. Monografia. Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana, BA. 2008.
- MENOSSEI, Rômulo Tadeu. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista – UNESP. 2004.
- NISZ, Christian Fernando; MARTINENGGHI, Michel; AGUSTINI, Matheus; SARAMENTO, Tainá; SANTOS, Silvia. **Viabilidade técnica do uso do pó de pedra para produção de concreto**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017– Belém-PA, Brasil
- TEODORO, Sabrina Bastos. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. 2013.
- VALVERDE, Fernando Mendes. **Agregados para a construção civil**. In: Departamento Nacional de Produção Mineral. Balanço mineral brasileiro. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2001.
- VIERO, Edison Humberto. **Aplicação da areia de britagem de rochas basálticas na fabricação de concreto de cimento Portland**. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em materiais da Universidade de Caxias do Sul, (2010).