

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
BRUNNA JOSYANNE ANDRÉ

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO FABRICADO COM
AREIA ARTIFICIAL INDUSTRIAL.

FORMIGA – MG
2018

BRUNNA JOSYANNE ANDRÉ

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO FABRICADO COM AREIA
ARTIFICIAL INDUSTRIAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG,
como requisito parcial para a obtenção do título
de bacharel em Engenharia Civil.
Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Kátia Daniela Ribeiro.

FORMIGA-MG

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UNIFOR-MG

A555 André, Brunna Josyanne.
Propriedades físicas e mecânicas do concreto fabricado com areia artificial industrial / Brunna Josyanne André. – 2018.
45 f.

Orientadora: Kátia Daniela Ribeiro.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro
Universitário de Formiga - UNIFOR, Formiga, 2018.

1. Construção Civil. 2. Impactos Ambientais. 3. Sustentabilidade.
I. Título.

CDD 624.1834

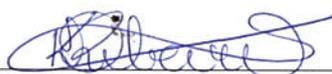
Catalogação elaborada na fonte pela bibliotecária
Regina Célia Reis Ribeiro – CRB 6-1362

Brunna Josyanne André

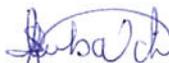
PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO FABRICADO COM AREIA
ARTIFICIAL INDUSTRIAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG,
como requisito parcial para a obtenção do título
de bacharel em Engenharia Civil.

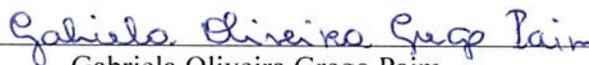
BANCA EXAMINADORA



Prof.ª. Dr.ª. Kátia Daniela Ribeiro
Orientadora



Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi
UFLA



Gabriela Oliveira Grego Paim
Engenheira Civil

Formiga, 08 de novembro de 2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me dar forças em meio as dificuldades e dias de desânimo, por me amparar e não me deixar abalar.

Agradeço aos meu pais que não mediram esforços para me ajudar, incentivar, e fazer o possível e o impossível para que esse sonho se realizasse.

Agradeço a minha irmã, que mesmo de longe se fez presente, com seu amor e carinho.

Agradeço aos meus amigos e familiares pelo incentivo, orações e apoio constante.

Agradeço a todos os meus colegas de sala e professores pelos conhecimentos compartilhados ao longo do curso e desses cinco anos, em especial o professor Michael Silveira Thebaldi.

Agradeço à minha orientadora Kátia Daniela Ribeiro pela paciência, esforço, conhecimentos compartilhados, sabedoria, dedicação e por ter acreditado no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil e seu uso chama a atenção para a busca e investimentos em novas tecnologias e a substituição dos seus constituintes, visando a sua fabricação de forma mais sustentável e renovável. Tendo em vista o possível esgotamento dos recursos naturais como a areia de rio, que é um dos seus componentes, e as agressões que essa extração pode oferecer como, por exemplo, aumento da vazão, aumentando a erosão das margens dos rios, modificação da calha natural, entre outros citados neste trabalho, vê-se possível a substituição deste componente pela areia industrial que é oriunda do processo de britagem das rochas. Deste modo, este trabalho tem como objetivo analisar as características do concreto fabricado com areia artificial industrial aplicando-se um método de dosagem fixo com a substituição da areia natural pela industrial nas proporções de 0, 25, 50, 75 e 100% em volume, onde foi possível analisar sua trabalhabilidade, através de testes de abatimento de tronco de cone de amostras de concreto fresco, que apresentaram uma diminuição na sua consistência, bem como a massa específica, onde a junção das duas areias possibilitou o aumento da massa específica devido à diminuição de seus vazios com a junção das duas granulometrias. Avaliou-se também a resistência à compressão de corpos de provas com idade de cura de 21 dias, que apresentou um resultado muito satisfatório, possibilitando o aumento da resistência em até 74,14%. Sendo assim, a substituição da areia natural pela areia industrial mostrou-se satisfatória para fins técnicos, mecânicos e sustentáveis.

Palavras-chave: Construção Civil. Impactos Ambientais. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Concrete is one of the most used materials in construction, being necessary investing in new technologies aiming at its manufacture in a more sustainable and renewable way. River sand is a component of concrete fabrication which exploitation causes environmental impacts. It is possible to substitute this component for industrial sand that comes from rock crushing process. Then, this study aimed at analyzing the characteristics of the concrete manufactured with industrial artificial sand in substitution to river sand in the proportions of 0, 25, 50, 75 and 100% by volume. Slump tests were done in fresh concrete samples, verifying a decreasing of its consistency in function of industrial sand addition. Specific mass also decreased in function of industrial sand addition. It was also evaluated the compressive strength of test specimens with a curing age of 21 days, which presented a very satisfactory result, allowing the increase of resistance up to 74.14%. Therefore, the replacement of natural sand by industrial sand proved to be satisfactory for technical, mechanical and sustainable purposes.

Keywords: Civil Construction. Environmental impacts. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Processo de aglomeração do cimento.....	15
Figura 2– Ensaio de abatimento de tronco (<i>slump test</i>).....	16
Figura 3– Relação entre a resistência aos sete dias e a relação água/cimento de um concreto produzido com cimento Portland de alta resistência inicial.....	17
Figura 4– Curva de Gauss para resistência do concreto à compressão.....	18
Figura 5– Cura dos corpos de prova de concreto.....	30
Figura 6– Corpo de prova rompido na prensa.....	31
Gráfico 1– Curva granulométrica da areia de rio quartzosa.....	33
Gráfico 2– Curva granulométrica da areia artificial industrial.....	33
Gráfico 3– Abatimento de tronco de cone (<i>slump test</i>) em função do teor de areia industrial no traço do concreto.....	35
Gráfico 4– Resistência à compressão dos corpos de prova, aos 21 dias, em função das quantidades de areia industrial utilizada nos traços analisados.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1–Limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	20
Tabela 2– Proporções de areia natural e areia artificial utilizadas no experimento.....	28
Tabela 3– Dosagem dos materiais para a fabricação do concreto.....	28
Tabela 4– Módulo de finura e dimensão característica máxima das areias natural e artificial	34
Tabela 5– Massa específica média para os traços estudados.....	36
Tabela 6– Variância da resistência dos corpos de prova.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora.

NM - Norma Mercosul.

PVC - Policloreto de Polivinila.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo geral.....	11
2.2 Objetivos Específicos	11
3 REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1 Concreto.....	12
3.1.1 Constituintes.....	12
3.1.2 Reações de formação	13
3.1.3 Propriedades do concreto fresco e endurecido.....	15
3.2 Agregados miúdos.....	19
3.2.1 Função e influência dos Agregados nas Propriedades do Concreto	20
3.2.2 Agregados miúdos naturais e suas características.....	21
3.3 Areia artificial industrial.....	22
3.4 Impactos ambientais da extração de areia natural.....	24
4 MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 Materiais Utilizados	25
4.1.1 Cimento.....	25
4.1.2 Agregados	25
4.1.3 Água	26
4.2 Métodos.....	26
4.2.1 Ensaio granulométrico da areia natural e artificial.....	26
4.2.2 Dosagem e preparo do concreto.....	27
4.2.3 Amassamento, <i>slump test</i>, confecção e cura dos corpos de prova.....	29
4.2.4 Massa específica dos corpos de prova	30
4.2.5 Teste de resistência à compressão	31
4.3 Análise dos dados	32

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5.1 Granulometria das areias.....	33
5.2 Consistência do concreto fresco.....	34
5.3 Análise da massa específica.....	36
5.4 Análise da resistência.....	36
6 CONCLUSÕES.....	39
REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

A construção civil e suas atividades são um dos principais responsáveis pela degradação ambiental. Tendo em vista que suas atividades são constantes e de extrema importância para o desenvolvimento da humanidade, optar por formas de construção e produtos que sejam cada vez mais ecológicos, sustentáveis e recicláveis torna-se extremamente indispensável. A areia é essencial no papel da construção civil, ocupando etapas construtivas desde a fundação até o acabamento de uma obra sendo ainda um constituinte do concreto, podendo constituir cerca de 40% em média do seu volume afetando nas suas características como trabalhabilidade, durabilidade e resistência.

Assim, com o passar do tempo, a exploração da areia natural se torna inviável devido às exigências ambientais, o esgotamento progressivo das jazidas, além das alterações que essa extração causa em seus cursos d'água, influenciando na sua turbidez, poluição das águas e alteração na flora aquática. A substituição da areia natural pela areia artificial industrial é uma opção alternativa, já que a areia industrial é considerada como um material residual do processo de britagem das rochas e que pode oferecer um material de qualidade relativamente uniforme em suas características físicas, advindas do processo de britagem que são obtidos pelos britadores, e químicas advinda do tipo rocha que for utilizada.

A partir do exposto, este trabalho se propõe a analisar a qualidade técnica do concreto produzido com areia artificial industrial a fim de verificar suas características e seu comportamento físico e mecânico com o intuito maior de poupar a extração da areia natural a fim de diminuir os impactos por essa extração causada.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar as propriedades físicas e mecânicas do concreto fabricado com a substituição parcial e total da areia natural pela areia artificial industrial.

2.2 Objetivos Específicos

- Definir a granulometria e características da areia natural e da areia artificial industrial;
- Analisar a consistência e a trabalhabilidade do concreto produzido com a substituição da areia industrial;
- Determinar a massa específica e a resistência do concreto através do rompimento dos corpos de prova.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Concreto

Segundo Fusco (2008) desde a antiguidade a pedra e o tijolo foram os materiais mais importantes para as construções humanas. A arquitetura grega utilizava vigas e placas de pedra, porém a baixa resistência a tração possibilitava a construção de pequenos vãos. Já na civilização romana com o desenvolvimento do tijolo cerâmico se viu livre das construções em formas retas, criando os arcos de alvenaria. A descoberta do concreto no fim do século XIX e sua expansão no século XX, junto com a revolução industrial e a chegada do aço, proporcionou a revolução na arte de projetar e construir estruturas e tem sido um dos materiais estruturais mais importante e mais utilizado no desenvolvimento da construção civil e no desenvolvimento da qualidade de vida da humanidade (HELENE; ANDRADE, 2007)

O concreto é obtido por meio da mistura de água, cimento e agregados (grãos e miúdos). Em alguns casos podem ser adicionados na mistura outros componentes e produtos químicos que tem por finalidade aumentar a resistência, trabalhabilidade e retardar o processo de cura do concreto (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO 2014). De acordo com Fusco (2008) uma das vantagens do concreto, além do fácil acesso e baixo custo dos seus materiais constituintes (areia e agregado), apresenta uma grande durabilidade assemelhada as rochas naturais, resistência a choques, vibrações e fogo, o que o difere dos outros materiais.

De acordo com Ribeiro, Pinto e Starling (2006) a tecnologia do concreto envolve várias fases sendo a primeira a definição do traço que consiste na dosagem de cada componente. A segunda envolve a fabricação que pode ser desenvolvida em uma central de produção ou na própria obra, e as demais envolve o transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto.

Ainda segundo os autores citados anteriormente, o concreto fresco deve apresentar trabalhabilidade adequada as condições de utilização e o concreto endurecido deve ter características definidas pela resistência aos esforços mecânicos que será submetido.

3.1.1 Constituintes

O concreto é um aglomerado constituído de agregados, água e cimento que funciona como material aglutinante, que une seus componentes formando uma espécie de rocha artificial (LEONHARDT; MÖNNIG, 2008).

Petrucci (1975) cita que o cimento é obtido através da moagem do clínquer que é adquirido através da queima da argila e do calcário, que posteriormente são adicionados sulfato de cálcio para a regularização do início do tempo das reações do aglomerante com a água. Os componentes principais do cimento são: a cal, alumina, sílica, óxido de ferro, magnésia, álcalis, e sulfatos que são determinados previamente através de análise química. O cimento ao ser misturado com a água hidrata-se e produz o endurecimento da massa que oferece elevada resistência mecânica.

Bueno (2000) cita que a água para amassamento deve ser livre de matérias orgânicas, sais e impurezas e que a quantidade demasiada de água pode influenciar na consistência e provocar perda do aglomerante diminuindo a sua resistência. Neville e Brooks (2013) ressaltam ainda que em algumas especificações a água potável é adequada para o concreto, porém o critério de potabilidade não é absoluto, pois se ela possuir uma grande quantidade de sódio e potássio, existe a possibilidade da ocorrência da reação álcali-agregados que oferece perda de resistência e fissuras ao concreto.

Um outro componente do concreto, o agregado, segundo Albuquerque (2011) é um material livre de atividade química que pode ser classificado segundo sua origem (natural ou industrial), segundo seu peso específico aparente (leves, médio e pesados) e segundo suas dimensões (miúdo e graúdo). O autor detalha que os agregados de origem natural já são encontrados em forma particulada na natureza como a areia e o cascalho, já os industrializados, suas partículas são obtidas por processos industriais sendo sua matéria prima as rochas.

A NBR 7211 (ABNT, 2005) define para agregado miúdo os grãos que passam pela peneira com abertura de malha 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 150µm, e para agregados graúdos os grãos que passam pela peneira com malha de 75 mm, e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

De acordo com Ribeiro, Pinto e Starling (2006) os agregados devem possuir pelo menos resistência maior do que a da pasta de cimento e água, possuindo grão resistentes e duráveis, pois caso contrário, eles se romperiam antes da pasta. Os autores acrescentam ainda que os agregados devem ser livres de torrões de argila e impurezas orgânicas pois elas podem prejudicar a qualidade da argamassa.

3.1.2 Reações de formação

Segundo Neville e Brooks (2013) as reações pelas quais o cimento passa a partir da adição de água é o que faz com que ele se torne um material aglomerante.

Oliveira (2011) cita os componentes essenciais do cimento: Cal, sílica, alumina e óxido de ferro. Os componentes misturados, homogeneizados e pulverizados são submetidos ao calor que resulta no clínquer, que nesse processo ocorre a formação dos seguintes compostos:

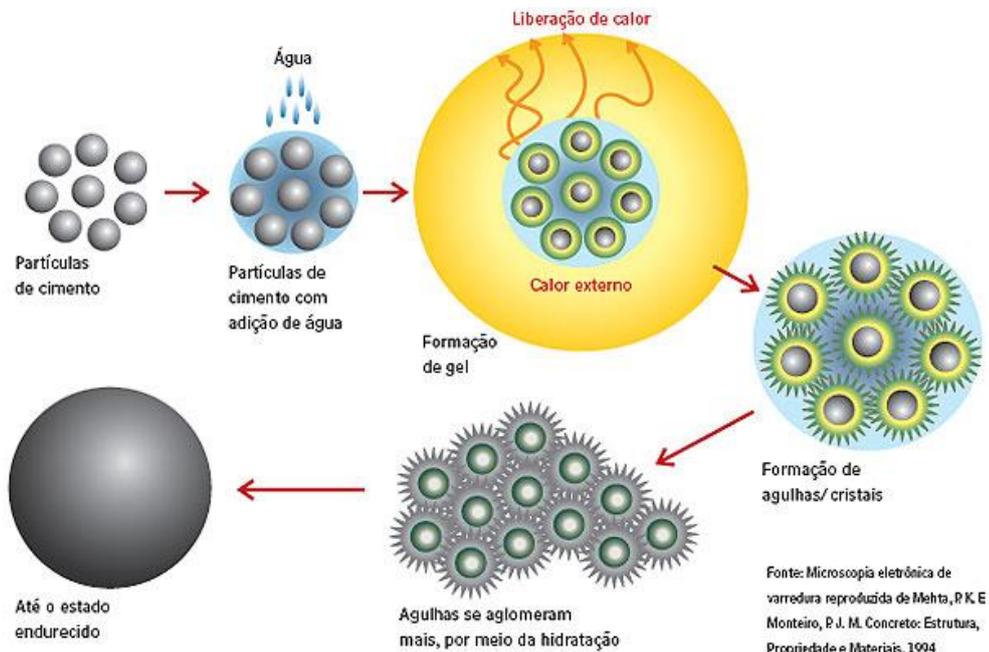
- silicato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$);
- silicato bicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$);
- aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$);
- ferro aluminato tetracálcico ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AFe}$)

Fusco e Onishi (2017) acrescentam como elementos secundários do cimento pequenas porcentagens de cal livre (CaO), de magnésia (MgO) e de gesso (CaSO₄), e além deles pequenas impurezas de Na₂O e de K₂O.

Segundo Neville e Brooks (2013) os silicatos e aluminatos com a presença da água o torna um produto hidratado que com o tempo forma uma massa firme e resistente. Os autores elevam a importância de dois silicatos de cálcio (C₃S e C₂S) que são os principais compostos do cimento, sendo que o primeiro se hidrata mais rápido que o segundo. O produto de hidratação do C₃S é um composto microcristalino (C₃S₂H₃) com a liberação de cal na forma cristalina de Ca(OH)₂, e o C₂S se comporta de maneira parecida, porém com menos cal.

Segundo Siqueira (2008) os dois últimos constituintes do cimento aluminato tricálcico (C₃A) e ferro aluminato de cálcio (C₄AFe) também se hidratam, resultando, do primeiro, cristais de variados conteúdos de água e do segundo um material gelatinoso. De acordo com Laguna e Ikematsu (2009) a hidratação dos silicatos e aluminatos formam o C-S-H (silicato de cálcio hidratado), sendo a hidratação do cimento através deles um processo no qual a formação de agulhas de etringita que são responsáveis pelo início da pega. O autor ressalta ainda que a hidratação do cimento é um processo exotérmico, onde há a liberação de calor, que é chamada de calor de hidratação sendo muito importante para a evolução da resistência. Na FIG. 1 pode ser visto o processo de hidratação do cimento:

Figura 1 – Processo de aglomeração do cimento.



Fonte: Laguna e Ikematsu (2009)

A formação do gel dos silicatos de cálcio constitui-se como um elemento retardador das reações dos próprios silicatos, pois, a medida em que se formam as partículas de dimensões coloidais, diminui-se a capacidade de reação da água absorvida por essas partículas com a parte não hidratada dos grãos que podem ficar intactos sem participar das reações de hidratação, o que não é uma parte perdida, pois, ela permite o preenchimento de fissuras por esforços mecânicos impedindo também a penetração de agentes nocivos no interior da massa de concreto (FUSCO; ONISHI, 2017).

3.1.3 Propriedades do concreto fresco e endurecido.

O concreto possui duas fases distintas. A primeira, denominada concreto fresco, compreende em média as 5 primeiras horas do concreto do qual possibilita sua mistura, transporte, lançamento e adensamento. Já a endurecida, se inicia com a hidratação do cimento até o longo de toda a vida da estrutura (HELENE; ANDRADE, 2007)

Segundo Sobral (2000) o concreto é intitulado como fresco enquanto a pasta estiver em seu estado fluido ou plástico e permitir a movimentação das partículas constituintes por uma ação dinâmica qualquer. De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2014), as principais características do concreto fresco são: Consistência, trabalhabilidade, e a homogeneidade.

Sobral (2000) afirma que a consistência é um fator de grande influência na trabalhabilidade. De acordo com Neville (2016) a consistência se define na firmeza da forma da substância ou a facilidade com que ela flui, sendo também uma grande definidora do teor de umidade, sendo que concretos mais úmidos são mais trabalháveis. Balbo (2009) define trabalhabilidade como a força da própria massa de concreto que se opõe ao seu movimento influenciado pela ação da gravidade, sendo na prática medida pelo ensaio de abatimento (*slump*), que mede a diferença de altura inicial do concreto (do tronco do cone) e sua altura final depois da retirada do cone como pode ser exemplificado na FIG. 2.

Figura 2 – Ensaio de abatimento de tronco (*slump test*)



Fonte: Helene e Andrade, 2010.

A homogeneidade envolve a distribuição e a forma dos agregados graúdos dentro da massa de concreto. Quanto mais uniforme os agregados se apresentarem na massa e mais envolvidos pela pasta, melhor será a qualidade do concreto e melhor será a sua homogeneidade evitando a sua desagregação. Um concreto de *slump* alto é considerado um concreto de fácil adensamento e boa trabalhabilidade. A trabalhabilidade, assim como a consistência dependem da granulometria dos agregados, da incorporação dos agregados ao aglomerante e principalmente quantidade de água e cimento usada na mistura (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO 2014).

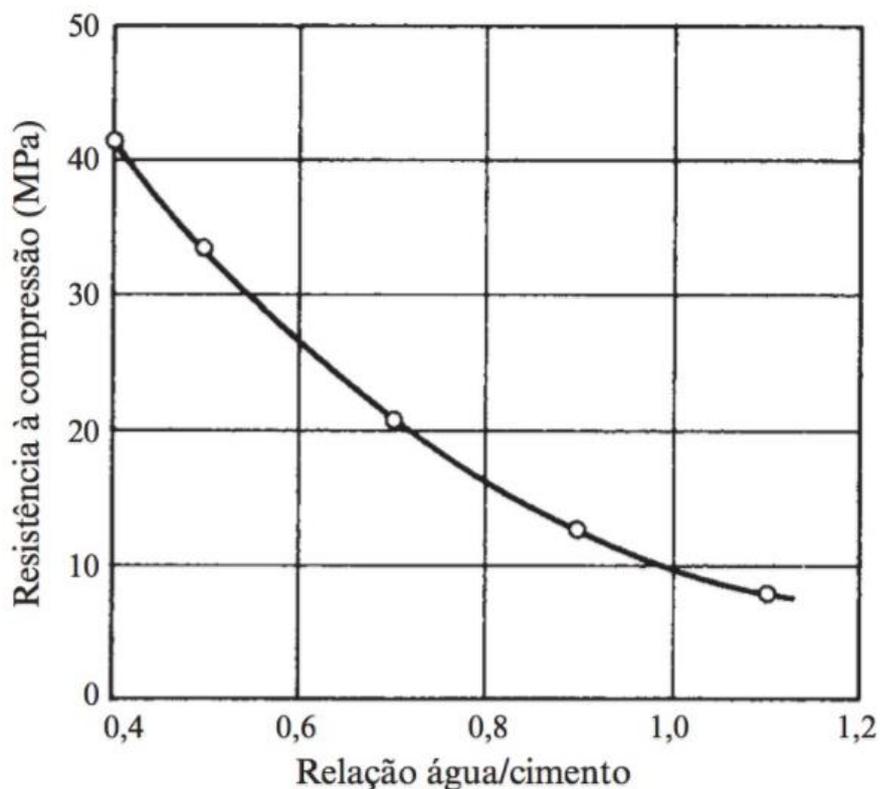
O concreto endurecido deve ter suas características estabelecidas pela resistência mecânica que será submetido (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2006). Petrucci (1975) cita como propriedade do concreto endurecido a massa específica e a resistência aos esforços mecânicos (compressão e tração).

Os concretos depois de secos, de acordo com sua massa específica, podem ser classificados como: normais (massa entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³), leves (massa inferior a 2000 kg/m³) e pesados ou densos (massa superior a 2800 kg/m³) de acordo com a NBR 8953

(ABNT, 2015). Segundo Almeida (2002) a massa específica do concreto endurecido pode ser influenciada pela natureza e a granulometria do agregado graúdo, que será mais elevado quanto maior for seu peso específico.

A resistência do concreto é definida pela quantidade de carga aplicada suportada até o seu rompimento (GIONGO, 2007). Segundo Neville (2016) a resistência do concreto é obtida em uma determinada idade quando é submetido a cura úmida, sendo essa sua resistência influenciada principalmente por fatores como a aderência do agregado graúdo a pasta e a resistência da sua partícula, como também pela relação água/cimento. Para esta última, tem-se que quanto maior for a quantidade de água no concreto, menos resistente e mais poroso é o mesmo, conforme mostra a FIG. 3.

Figura 3 - Relação entre a resistência aos sete dias e a relação água/cimento de um concreto produzido com cimento Portland de alta resistência inicial



Fonte: Neville (2016).

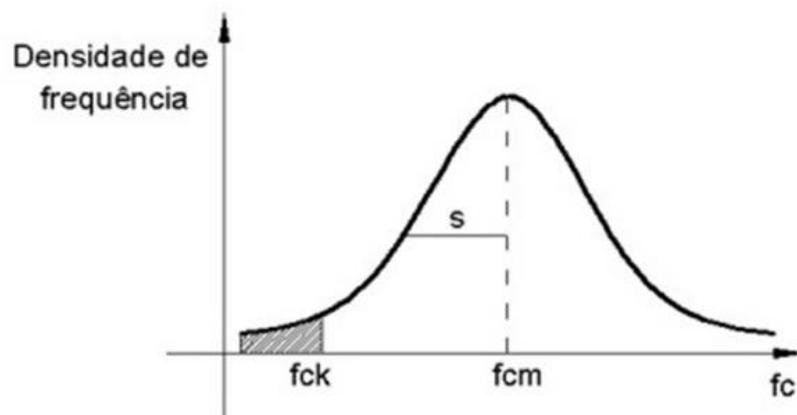
A resistência a compressão simples representada pela sigla f_c , e é a característica mecânica mais importante. Para defini-la são moldados corpos de prova de acordo com a NBR 5738 (Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto) dos quais

são ensaiados de acordo com a NBR5739 (Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos) (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004).

A NBR 5738 (ABNT, 2015) define que os corpos de prova cilíndricos devem ter a altura igual ao dobro do diâmetro, devendo ele ser de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm, que após a moldagem os copos de prova devem durante as primeiras 24 horas permanecer sobre uma superfície horizontal rígida protegido de intempéries e vibrações e coberto por um material não reativo e não absorvente. Os corpos de prova a serem ensaiados devem ser desmoldados após as 24 horas e levados para o processo de cura de acordo com a idade definida.

Após o rompimento do concreto sob a compressão, nota-se que o concreto sofre variações de valores de resistência sendo os valores obtidos (f_c) pela a densidade de frequência, aonde é encontrada a curva de Gauss mostrada na FIG. 4 (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004):

Figura 4 - Curva de Gauss para resistência do concreto à compressão



Fonte: Pinheiro, Muzardo e Santos (2004).

Segundo Pinheiro, Muzardo e Santos (2004), os valores encontrados são de suma importância, principalmente a resistência média do concreto (f_{cm}) que é utilizado para determinar a resistência (f_{ck}) como mostra a Equação 1:

$$F_{ck} = f_{cm} - 1,65 s \quad (1)$$

Ainda conforme os autores o valor de 1,65 representa a porcentagem de 5% dos corpos de provas possuírem $F_c < F_{ck}$, ou 95% possuírem $F_c \geq F_{ck}$. O desvio padrão (s) corresponde a distância entre o F_{cm} até a inflexão da curva.

A resistência a tração é a propriedade do material de resistir a cargas de tensionamento nos sentidos inversos ao da compressão (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004). Segundo Araújo (2001), a resistência a tração no concreto pode ser obtida por três tipos de ensaios: ensaio de tração axial, ensaio de compressão diametral ou ensaio de flexão de vigas, que podem resultar em valores diferentes de resistência dependendo do tipo de ensaio realizado, isto ocorre devido as tensões se distribuírem de maneira diferente em cada tipo de ensaio. O resultado da resistência a tração durante muitos anos foi desprezada, devido a essa resistência ser pequena em relação a da compressão. Porém, Pinheiro, Muzardo e Santos (2004), observa que com o conhecimento do valor a resistência a tração é importante pois ela desempenha um papel fundamental em certos problemas como a fissuração, deformação, o esforço cortante, a aderência e deslizamento das armaduras.

3.2 Agregados miúdos

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009) os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento. Os agregados miúdos são os grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). A norma ainda estabelece o limite de distribuição granulométrica do agregado miúdo conforme mostrado na TAB. 1.

Tabela 1- Limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo

LIMITE DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGRAGADO MIÚDO				
Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável ²	Zona ótima ¹	Zona ótima ¹	Zona utilizável ³
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

Notas: 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,2 a 2,90; 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20; 3 o módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: NBR 7211-2009 – Agregados para concreto – especificação

Segundo Fabro et al. (2011) geralmente os agregados miúdos utilizados em concreto são as areias naturais provenientes dos leitos dos rios ou artificiais provindos da britagem das rochas, sendo a principal diferença dos dois o formato dos grãos. O formato dos grãos dos agregados oriundos do britador pode depender do tipo de britador empregado, sendo que os britadores do tipo vertical produzem agregados mais arredondados semelhantes ao da areia natural.

3.2.1 Função e influência dos Agregados nas Propriedades do Concreto

O agregado ocupa a maior parte do concreto, sendo assim sua qualidade de considerável relevância. O agregado pode influenciar não só na resistência, mas também pode comprometer o desempenho e a durabilidade estrutural do concreto (NEVILLE, 1997). De acordo com Azevedo et al. (2017) o agregado por ser um material que não possui reações químicas com a água, pode ser tratado por alguns como material usado apenas para dar volume ao concreto, porém com pesquisas pode ficar claramente exposta a importância dos agregados para as características do concreto tanto no estado fresco, afetando sua trabalhabilidade, quanto no estado endurecido, auxiliando na sua resistência.

A resistência do concreto pode alterar de acordo com a granulometria do agregado, sendo que agregados mais finos tendem a aumentar o índice de vazios. O volume de vazios segundo Tristão (1995) influencia também diretamente nas características de consistência da

argamassa, principalmente se for levado em consideração que quanto maior o volume de vazios do agregado, maior a necessidade de aglomerantes e água de amassamento.

A granulometria, segundo Recena (2011), além do formato, pode ser influenciada pela descontinuidade da distribuição que afetará a exigência da argamassa, que se não corrigida, diminuirá a trabalhabilidade tornando o concreto mais áspero. Se a correção for feita de forma incorreta e apenas com adição de água, pode-se aumentar a segregabilidade e a exsudação com maiores riscos de retração, além de afetar a relação água/cimento, diminuindo sua resistência.

Santos (2014) complementa que o agregado garante certa resistência interna, com a capacidades de absorção das tensões surgidas pela variação volumétrica quando ocorre processo de cura e secagem do concreto, sendo fundamental pela resistência a fissuração advinda da retração hidráulica.

3.2.2 Agregados miúdos naturais e suas características

A areia natural é formada principalmente por quartzo e são geralmente extraídas de canais e terraços fluviais (VALVERDE, 2001). Esta é um agregado miúdo constituída de partículas de vasta gama de dimensões, sendo classificadas como: classificadas em areia fina, média e grossa (COSTA, 2005).

De acordo com Almeida e Silva (2005), 90% da areia natural no Brasil é extraída em leito de rios e 10% restantes em outras fontes como várzeas, depósitos, mantos de decomposição, decomposição de rochas e arenitos decompostos.

Segundo Tristão (2005) a areia natural é considerada como sedimento não consolidado e podem advir de vários depósitos sedimentares. Os depósitos sedimentares possuem características parecidas com as dos grãos isolados que possuem tamanhos e distribuição granulométrica arredondadas, textura superficial esférica e composição mineralógica que são fatores que estão influenciados a fatores físicos e químicos aos locais de deposição.

Segundo Suguio (1973) a distribuição granulométrica e o arredondamento dos grãos de areia estão associados à forma que estes foram transportados, sua velocidade, distância e rigor, e a composição mineralógica está relacionada com as rochas fonte. O autor complementa que a forma arredondada da areia natural também se deve a ação do vento e da água devido ao atrito durante o transporte, que em um determinado diâmetro não sofre mais alteração de textura pelo desgaste mecânico.

3.3 Areia artificial industrial

A areia de britagem ou areia artificial é um material obtido por meio do processo de britagem das rochas, e é denominado como pó de pedra ou areia artificial. É considerado como um material residual submetido ou não a um processo de retirada de material pulverulento, com granulometria entre 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura 150 μ m conforme a NBR 7211 (ABNT, 2011). A fabricação da areia artificial é estimada em três milhões de metros cúbicos por ano (CUCHIERATO,2000).

Tristão (2005) define os grãos da areia de britagem como grãos de forma angulosa, isto é, eles são mais agudos, podendo variar de acordo com a rocha de origem. Arnold (2011) cita que os grãos de areia de britagem podem passar por um processo mecânico de beneficiamento onde os grãos se chocam entre si e deixam de ser angulosos e alongados e passam a tomar uma forma mais cúbica. Tristão (2005) evidencia ainda o potencial da areia de britagem nas poucas transformações necessárias para o seu uso: rebitagem, beneficiamento dos grãos, e remoção do excesso de filler de acordo com cada tipo de rocha para o seu melhor desempenho.

A britagem é realizada através de esforços mecânicos compressivos, projetando as partículas umas contra as outras ou contra as paredes do britador obtendo-se fragmentos de diversos tamanhos (CALDAS, 2015).

Assim, em relação a caracterização física a areia industrial, esta possui uma distribuição granulométrica advinda do processo de britagem, que garante uniformidades dos grãos e possui um formato anguloso e superfície áspera, além disso, a areia de britagem se encontra praticamente isenta de impurezas orgânicas (COSTA,2005).

Em referência à origem da areia artificial, ela pode ser proveniente da britagem de vários tipos de rochas como: granito, gnaisse, calcário, arenito, basalto entre outras, sendo que cada tipo de rocha gera uma areia com características particulares (ARNOLD,2011).

De acordo com Ishikawa (2003) os materiais pulverulentos das areias de britagem não são nocivos por serem originados da própria rocha, entretanto eles podem provoca o aumento da adição de cimento, devido a adição da água para manter a mesma trabalhabilidade e resistência mecânica, sendo essa a desvantagem da areia industrial. Em contraposição, ela pode passar por um processo de lavagem, do qual a presença desse material pulverulento cai para valores próximos de 6%. Segundo Grigoli (2002) os materiais pulverulentos podem contribuir na trabalhabilidade e na porosidade preenchendo os vazios, afetando assim, por consequência, a durabilidade do concreto.

Um outro aspecto positivo da areia industrial é a menor quantidade de impurezas, bem como o fato da compatibilidade da composição química, reforçada pelo fato de provir da britagem das rochas que já são utilizadas como agregados graúdos, sendo deste modo, o aspecto mineralógico da areia industrial sendo potencialmente igualável aos da areia natural (CUCHIERATO, 2000).

De acordo com Cabral (2007) as operações se iniciam com a execução a céu aberto da perfuração ou detonação que fragmenta as rochas da jazida para a extração dos agregados, que em seguida esses fragmentos rochosos são carregados e depositados próximos as instalações de britagem primária, secundária e rebitagem ou em mais duas etapas (terciária e quaternária).

Caldas (2015) apresenta que a britagem primária é composta por britadores de mandíbulas reguladas tipicamente de 178 mm, em seguida o material alimenta duas peneiras de dimensões de 100 e 32 mm, com a separação da fração fina (matéria menor que 32 mm) que é chamada de bica corrida geralmente usada em pavimentação estradas e aterros, e a fração de 32 e 100 mm alimenta a britagem secundária. A fração mais grossa de 100mm e 300 mm é conduzida para uma pilha da qual o material é vendida como pedra rachão, ou podem voltar ao circuito de rebitagem (circuito conhecido como estágio secundário, terciário, e quaternário de britagem) devido a sua demanda ser baixa.

Segundo o mesmo autor, o britador secundário é um britador cônico que possui uma peneira com abertura de 100 mm, fazendo com que o material passante vá para a correia junto com a descarga do britador. Após a britagem secundária, os materiais tanto da peneira e tanto os da correia do britador se dividem em duas peneiras e operam em paralelo e divididos em retorno para o britador secundário, alimentação para o britador terciário (abertura de 32 mm), alimentação para o britador quaternário (abertura 6 mm) e pó (material menos que 6 mm). Os estágios terciário e quaternário tem seu material levado na mesma correia que tem seu fluxo direcionado as peneiras de abertura 32, 22 e 11 mm onde o material retido na primeira peneira retorna para o britador quaternário, o da segunda origina a Brita 2, e a última a Brita 1. O material passante é submetido a mais duas peneiras de 6 e 2 mm de abertura, sendo o da primeira peneira o material classificado como Brita 0, e o da segunda forma uma pilha de material de areia de britagem, chamado de Areia média material retido, e areia fina o material passante.

De acordo com Chaves (2005), o processo de obtenção da areia artificial de um modo geral e o número de estágios de britagem depende do tipo de rocha e da qualidade do produto final desejado, e a distribuição granulométrica e o formato ficam mais precisos com as etapas posteriores.

3.4 Impactos ambientais da extração de areia natural

Segundo Nogueira (2016) atividade da extração da areia natural é de grande importância para o desenvolvimento socioeconômico, porém é responsável por inúmeros impactos ambientais.

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL,1986), considera-se impacto ambiental, qualquer ação humana que faça alteração das propriedades físicas, químicas, e biológicas do meio ambiente que direta ou indiretamente afetam: a saúde, segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e socioeconômicas; a biota; a qualidade dos recursos e as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente.

Os impactos advindos da operação da extração da areia são listados por Nogueira (2016): poluição do ar devido a emissão de gases das máquinas utilizadas, aumento da turbidez da água, interferência da velocidade do curso d'água, poluição do curso d'água proveniente dos resíduos (óleos, lubrificantes e graxas), depreciação da qualidade física da água devido ao lançamento de efluentes de drenagem, estresse e comprometimento da vida da flora aquática, impossibilidade do uso da água devido ao aumento de turbidez e contaminação, depreciação da qualidade de vida dos habitantes entorno ao empreendimento e descaracterização da paisagem natural.

O autor acrescenta ainda que os órgãos responsáveis pela fiscalização do meio ambiente, como o IBAMA, vêm coibindo a extração da areia, e com isso os mineradores estão sendo forçados a extrair esses agregados em locais mais distantes do consumidor, o que acarreta o aumento do preço. De acordo com Suzumura e Souza (2007), além da degradação ambiental as jazidas estão cada vez mais escassas em algumas regiões.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A partir da intenção de compreender o comportamento do concreto de cimento *Portland* com substituição de areia natural por areia artificial, ensaios de granulometria foram conduzidos no Laboratório de Ciências da Terra do Centro Universitário de Formiga (UNIFOR-MG) e ensaios de abatimento de tronco de cone, massa específica e resistência à compressão foram conduzidos no laboratório da empresa Pavidez Engenharia LTDA.

4.1 Materiais Utilizados

A seguir segue a descrição dos materiais utilizados para a realização deste trabalho.

4.1.1 Cimento

Como material aglomerante foi utilizado o cimento CP II E-32, por ser um dos mais utilizados em obras para concreto convencional. O cimento utilizado foi produzido pela Companhia Siderúrgica Nacional – CSN e, nas informações constantes na embalagem do produto, é relatado que a fabricação do material seguiu a NBR 11578 (ABNT, 1997), sendo produzido a partir de silicatos de cálcio, alumínio e ferro, sulfato de cálcio, *filler* carbonático e baixa adição de escória de alto-forno.

4.1.2 Agregados

Como agregado miúdo natural foi utilizada a areia de rio quartzosa de graduação média, isenta de matéria orgânica e proveniente do rio da região de Lavras-MG (Rio grande).

O agregado miúdo industrial utilizado foi uma areia proveniente de rochas calcárias das regiões de Arcos- MG, produzidas pela empresa Mineração João Vaz Sobrinho.

Como agregado graúdo foi utilizada a brita 1, também de origem calcária da região de Arcos-MG advinda da mesma empresa supracitada, comumente usada na produção de concretos na região.

4.1.3 Água

A água utilizada na produção do concreto foi a água potável proveniente da rede de abastecimento público de Arcos-MG.

4.2 Métodos

A seguir segue a descrição dos métodos utilizados para a realização deste trabalho

4.2.1 Ensaio granulométrico da areia natural e artificial

A realização do ensaio para a definição da granulometria dos agregados miúdos seguiu os conceitos da NBR NM 248 (ABNT, 2003), por meio do peneiramento mecânico. Desta forma, foram dispostas uma sobre as outras as peneiras de abertura de malha de: 9,5; 2,0; 1,18; 0,85; 0,30; 0,15 mm de forma decrescente do topo para a base. A amostra do material (500 gramas) foi submetida à secagem em estufa e, após este procedimento, foi adicionada ao topo do conjunto de peneiras e agitado mecanicamente por dez minutos para o peneiramento e obtenção dos vários tipos de granulometria da amostra.

Ao término do peneiramento, foram separados os materiais retidos em cada peneira que foram colocados em bandejas separadas para a sua pesagem, o que possibilitou calcular a porcentagem retida do material em cada peneira (Equação 2).

$$\% \text{ do material retido} = \frac{(MR \times 100)}{MT} \quad (2)$$

Onde:

MR = material retido em gramas na peneira.

MT = massa total utilizada em gramas.

Para o cálculo da porcentagem retida acumulada em cada peneira, utilizou-se a Equação 3.

$$\% \text{ de material retido acumulado} = RA + RT \quad (3)$$

Onde:

RA = porcentagem de material retido acumulado nas peneiras superiores;

RT = porcentagem de material retido na peneira em estudo.

Para a determinação do módulo de finura utilizou-se a Equação 4.

$$MF = \frac{MRA}{100} \quad (4)$$

Onde:

MF = Módulo de finura.

MRA = é a soma da porcentagem de material retido acumulado nas peneiras de serie normal em estudo, exceto a do fundo.

Os resultados obtidos no ensaio de granulometria foram representados na forma de curva granulométrica, que relaciona a % que passa por cada peneira (igual a 100 - % retida acumulada em cada peneira) com o diâmetro equivalente dos grãos (abertura da peneira). Para a definição da dimensão máxima característica do agregado miúdo, foi considerada a malha da peneira onde o agregado apresentou uma porcentagem retida acumulada igual a 5%, ou seja, com base na curva granulométrica, identificou-se o diâmetro correspondente à % que passa igual a 95% e esse diâmetro representou a dimensão máxima característica do agregado miúdo analisado.

4.2.2 Dosagem e preparo do concreto

O traço escolhido para a confecção do concreto foi 1:2:2,5 (cimento, areia, agregado graúdo), em volume, com fator de água/cimento de 0,55, sendo mantidas constantes as proporções de cimento, agregado graúdo e água, variando-se apenas as quantidades do agregado miúdo, definindo-se cinco tratamentos experimentais, conforme TAB.2.

Tabela 2 – Proporções de areia natural e areia artificial utilizadas no experimento.

Tratamento	Proporção, em volume, dos agregados miúdos	
	Areia natural	Areia artificial
T1	100%	0%
T2	75%	25%
T3	50%	50%
T4	25%	75%
T5	0%	100%

Fonte: A autora (2018).

Para a dosagem dos corpos de prova calculou-se a quantidade necessária de concreto a ser utilizado, tendo em vista o volume necessário para preencher cada molde (Equação 5).

$$V = h \cdot \pi \cdot r^2 \quad (5)$$

sendo:

V = volume do molde corpo de prova em dm³;

h = altura molde corpo de prova em dm; e

r = raio do molde corpo de prova em dm.

Após obter o volume necessário para o preenchimento de um corpo de prova, o valor obtido foi multiplicado pela quantidade de corpos de prova necessários, adicionando-se a consideração de perda de 33% de concreto na fabricação, onde foi possível obter a necessidade de, no mínimo, 6,5 litros de concreto aproximadamente, para cada tratamento.

Sendo assim definiram-se as quantidades de cada material para a produção do concreto, nos tratamentos definidos, conforme demonstra a TAB.3.

Tabela 3 – Dosagem dos materiais para a fabricação do concreto.

TRATAMENTO	CIMENTO (L)	AREIA NATURAL (L)	AREIA INDUSTRIAL (L)	BRITA 1 (L)	ÁGUA (L)
T1	2,00	4,00	0,00	5,00	1,10
T2	2,00	3,00	1,00	5,00	1,10
T3	2,00	2,00	2,00	5,00	1,10
T4	2,00	1,00	3,00	5,00	1,10
T5	2,00	0,00	4,00	5,00	1,10

Fonte: A autora (2018).

Para cada tratamento, o volume de concreto produzido foi de 12,10 litros, o que atenderia à quantidade necessária para a realização do *slump test* e a confecção dos corpos de prova.

4.2.3 Amassamento, *slump test*, confecção e cura dos corpos de prova

Para o amassamento da massa de concreto, utilizou-se um local impermeável e plano, onde primeiramente foi espalhada a areia, cimento e a brita, que foram misturados e, posteriormente, foi feita uma abertura no meio da mistura onde foi adicionada a água para o amassamento final e obtenção da mistura homogênea do concreto.

Logo em seguida, foi realizado o teste do abatimento do tronco de cone (*slump test*), que obedeceu à NBR NM 67 (ABNT,1998), onde, ao final da confecção de cada traço e antes da moldagem dos corpos de prova, o ensaio foi realizado para a verificação da consistência do concreto fresco.

A moldagem dos corpos de prova seguiu a NBR 5738 (ABNT,2015), onde foram moldados corpos de provas cilíndricos com 10 cm de diâmetro e, 20 cm de altura, confeccionados em moldes de PVC. Foram moldados 15 corpos de provas, sendo três para cada tratamento. O volume de cada corpo de prova foi preenchido em 2 camadas de concreto, e o adensamento dos mesmos foi realizado manualmente com 12 golpes uniformes por camada, utilizando-se uma haste metálica.

Os corpos de prova descansaram por 24 horas após moldados, onde, após esse período, foram desmoldados e levados para cura por 21 dias imersos em um tanque contendo uma mistura de água saturada de hidróxido de cálcio, conforme demonstra a FIG.5.

Figura 5 – Cura dos corpos de prova de concreto.



Fonte: A autora (2018).

4.2.4 Massa específica dos corpos de prova

Após a desmoldagem e antes do rompimento, todos os corpos de prova foram sujeitos à pesagem individual para a realização do cálculo da massa específica de cada corpo de prova ainda úmido, utilizando a Equação 6:

$$\gamma = \frac{M}{V} \quad (6)$$

Onde:

γ = massa específica do corpo de prova em kg/m^3 ;

M = massa do corpo de prova em kg;

V = volume do corpo de provas em m^3 .

4.2.5 Teste de resistência à compressão

O teste de compressão axial foi realizado na prensa Hidráulica Manual modelo I-3001- da marca Conteco, da empresa Pavidez Engenharia Ltda., seguindo os preceitos da NBR 5739 (ABNT, 2018).

Os corpos de provas foram colocados na posição central na base da máquina, e o carregamento aplicado de forma contínua e sem choque até a sua ruptura (FIG.6).

Figura 6 – Corpo de prova rompido na prensa.



Fonte: A autora, 2018.

Ao fim da ruptura e com o valor fornecido pela prensa, calculou-se a resistência à compressão de cada corpo de prova pela Equação 7:

$$f_c = \frac{4 \times F}{\pi \times D^2} \quad (7)$$

Onde:

f_c = resistência à compressão em MPa;

F = força máxima alcançada em N;

D = diâmetro do corpo de prova em mm.

4.3 Análise dos dados

Os dados obtidos na análise granulométrica e no *slump test* foram tabulados e ilustrados em gráficos para melhor visualização do mesmo. Os gráficos foram gerados utilizando o *software* LibreOffice versão 5.4, ferramenta Calc (*THE DOCUMENT FOUNDATION*, 2017). Os resultados foram confrontados entre si e com a literatura pertinente.

Os dados obtidos nos ensaios para a determinação da massa específica e da resistência à compressão foram submetidos à análise de variância segundo delineamento inteiramente casualizado, sendo ainda submetidos ao teste de Scott & Knott, a 5% de probabilidade, para comparação das médias. As análises estatísticas dos dados de massa específica e resistência à compressão foram realizadas utilizando-se o *software* SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2014).

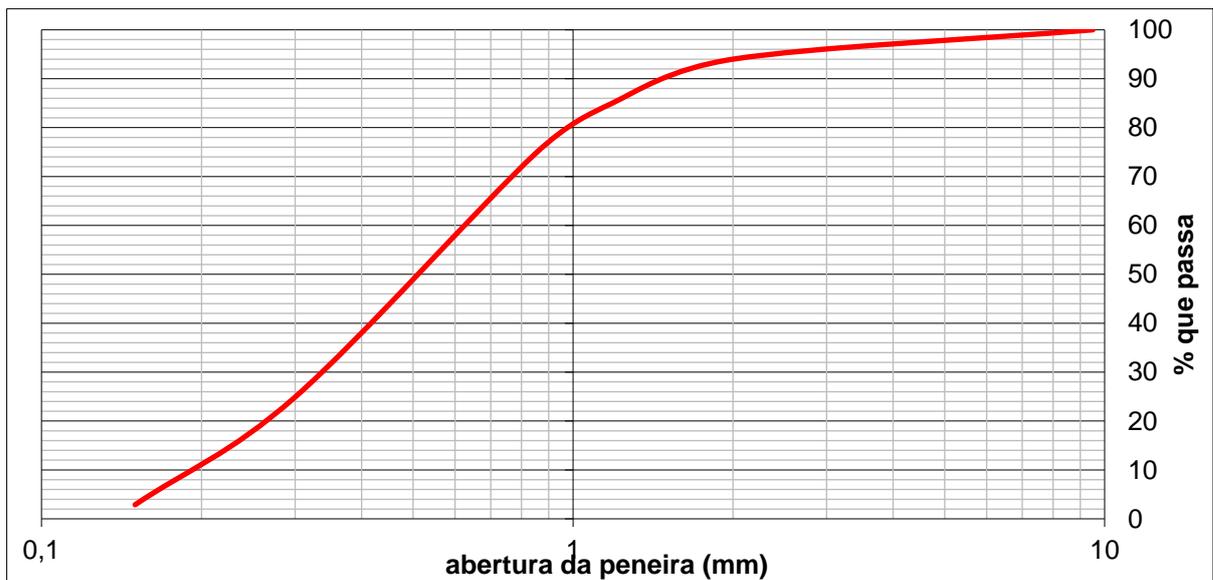
Usando o *software* LibreOffice versão 5.4, ferramenta Calc, gerou-se um gráfico de dispersão para os dados de resistência à compressão em função dos teores de areia industrial utilizada nos corpos de provas e, ajustando-se aos dados uma função polinomial de segundo grau, estimou-se a quantidade ótima de areia industrial a ser usada no traço de concreto, ou seja, a quantidade que leva à máxima resistência à compressão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Granulometria das areias

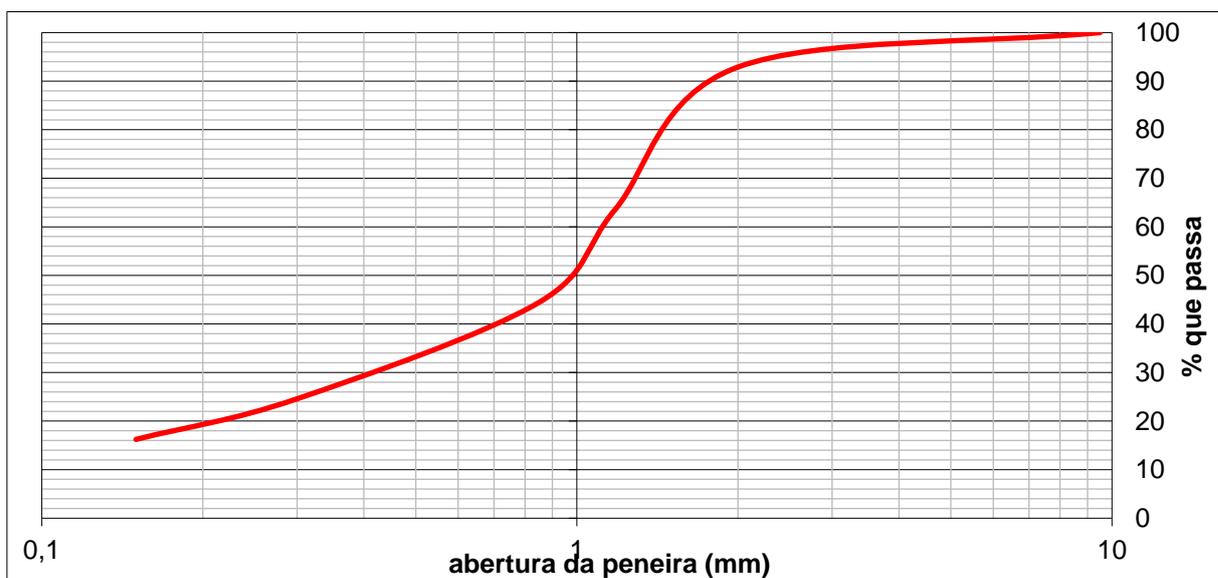
O GRAF. 1, o GRAF. 2 e a TAB. 4 apresentam os resultados encontrados no ensaio de peneiramento da areia natural e da areia industrial.

Gráfico 1 – Curva granulométrica da areia de rio quartzosa.



Fonte: A autora, 2018.

Gráfico 2 – Curva granulométrica da areia artificial industrial.



Fonte: A autora, 2018.

Tabela 4 – Módulo de finura e dimensão característica máxima das areias natural e artificial.

Tipo de areia	Módulo de finura	Dimensão máxima característica (mm)
Natural	2,19	2,5
Artificial	2,58	2,3

Fonte: A autora (2018).

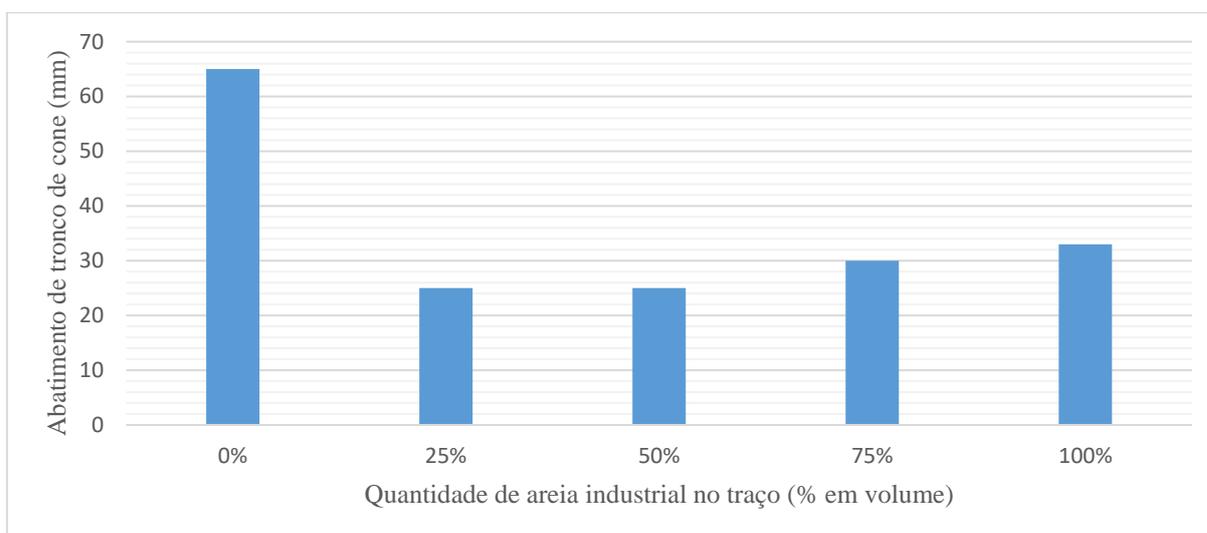
As areias natural e artificial apresentaram-se semelhantes quanto ao módulo de finura, que estão dentro da classificação de zona ótima, que varia de 2,20 à 2,90 segundo a tabela de limites de distribuição granulométrica da NBR 7211 (ABNT, 2009), e quanto à dimensão máxima característica, o que já aponta para a viabilidade técnica da substituição de uma areia pela outra, pois são granulometricamente semelhantes.

Quanto à forma das curvas granulométricas, em ambas as areias predominam a fração classificada como média e a areia industrial apresentou maior teor de finos do que a areia natural (material retido no fundo). Ambas as areias apresentaram granulometrias contínuas, porém a areia natural se mostrou mais uniforme e bem graduada do que a industrial, o que não era esperado, visto que, devido ao processo de britagem, os grãos tendem a ser mais uniformes, porém, com um formato mais anguloso, conforme cita Costa (2005).

5.2 Consistência do concreto fresco.

Os resultados referentes ao ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone dos diversos traços de concreto são mostrados no GRAF. 3:

Gráfico 3 – Abatimento de tronco de cone (*slump test*) em função do teor de areia industrial no traço do concreto.



Fonte: A autora, 2018.

Foi possível notar que em relação ao concreto de traço testemunha (T1), os demais traços, onde houve a adição da areia industrial, obtiveram a diminuição no abatimento de cone, o que se assemelha ao estudo de Costa (2005). Isso ocorreu devido à maior concentração de finas da areia industrial que retém mais água e que necessita de uma maior quantidade de água para uma melhor trabalhabilidade.

O traço com o maior valor de abatimento foi o constituído de 100% de areia de rio (T1), seguida do traço com 100% de areia industrial (T5), o que reforça a ideia de que, no concreto, sua trabalhabilidade também está relacionada com a granulometria do agregado e a incorporação e aderência do mesmo à mistura, como foi citado por Carvalho e Figueiredo Filho (2014). Sendo assim, justifica-se os traços contendo 25%, 50% 75% de areia industrial, que o abatimento foi menor, pois os grãos arredondados da areia natural tendem a ocupar os vazios gerados pelos grãos angulosos da areia industrial, formando um conjunto mais denso e homogêneo.

Em relação à consistência, de acordo com Andolfato (2002), a classificação do abatimento do tratamento T1, que está entre 5 cm e 10 cm, fica classificado como um concreto de consistência média, que é mais utilizável em vigas, lajes e paredes finas. Já os tratamentos T2, T3, T4 e T5 se apresentam com uma consistência firme, pois tem seus abatimentos entre 2 e 5 cm. O autor supracitado classifica os tipos de utilização do concreto quanto aos abatimentos a partir de valores de 3 cm, que seria para fundações, tubulões e paredes grossas. Sendo assim,

os tratamentos T2 e T3, que apresentaram resultados inferiores a 3 cm, teriam que ter uma alteração e ajuste em seu traço para o aumento da sua consistência e utilização.

5.3 Análise da massa específica

A TAB. 5 apresenta as médias obtidas para a massa específica dos corpos de prova moldados para os diferentes tratamentos.

Tabela 5 – Massa específica média para os traços estudados.

Tratamentos	Média da massa específica (kg/m ³)
T1	2204,82 c
T2	2228,86 b
T3	2254,50 a
T4	2246,17 a
T5	2228,01 b

Fonte: A autora, 2018.

Nota: Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott, a 5% de probabilidade.

Foi possível observar que a massa específica, em relação ao traço testemunha (T1), obteve um aumento de até 2,25% em T3. Isso ocorreu devido à junção das duas areias que, ao serem misturadas, foram um conjunto menos poroso, onde as granulometrias das areias se complementam e aumentam sua massa específica. Assim, onde as areias foram combinadas (T3 e T4), essa complementação gerou concretos menos porosos e, por consequência, mais densos e com maior massa específica que T1, T2 e T5.

Pode-se ainda definir os concretos produzidos com os diferentes traços como concretos normais quanto à massa específica, pois os valores encontrados se enquadram entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³, estando de acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015).

5.4 Análise da resistência

A TAB. 6 apresenta as médias obtidas para a resistência à compressão dos corpos de prova moldados para os diferentes tratamentos.

Tabela 6 – Médias das resistência à compressão dos corpos de prova.

Tratamentos	Médias da resistência (MPa)
T1	10,52 c
T2	16,91 a
T3	18,13 a
T4	18,33 a
T5	14,96 b

Fonte: A autora, 2018.

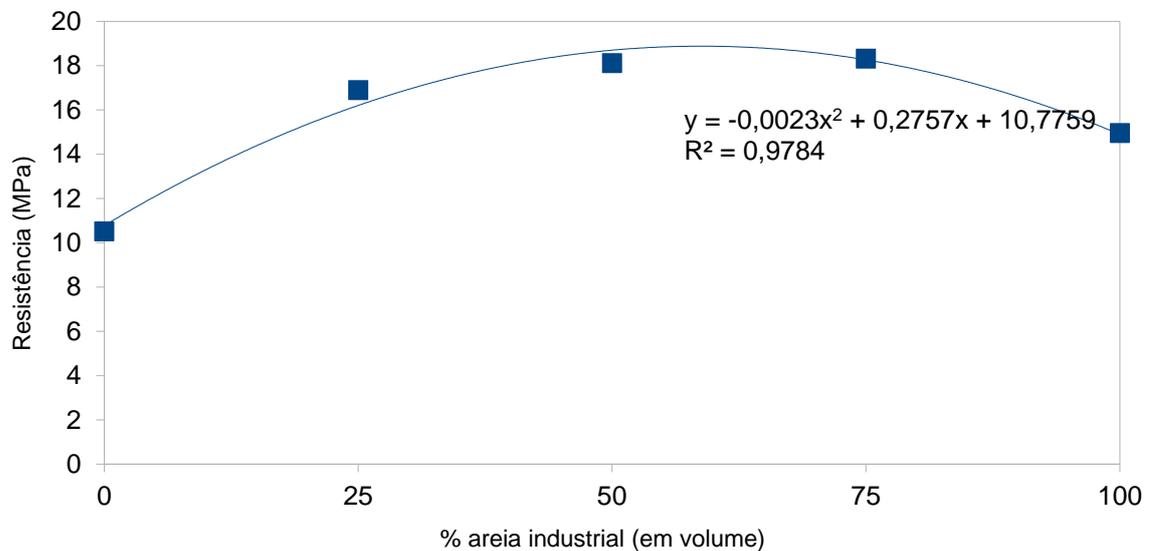
Nota: Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott, a 5% de probabilidade.

Conforme os dados apresentados, pode-se concluir que a adição de areia industrial para o concreto se mostrou favorável para o ganho de resistência em até 74% para T4, em comparação a T1. Os maiores valores de resistência à compressão foram obtidos quando combinaram-se as areias (tratamentos T2, T3 e T4), o que está ligado com o que já foi citado anteriormente na discussão dos dados de massa específica, onde foi possível obter uma menor quantidade de vazios e conseqüentemente o aumento da resistência.

Observa-se que a simples substituição da areia natural (T1) pela areia artificial (T5) na produção do concreto já leva ao aumento da resistência à compressão em aproximadamente 42%. Logo, a utilização da areia artificial na construção civil mostra-se como uma alternativa sustentável face aos impactos relacionados com extração da areia natural.

Uma vez constatado que o melhor desempenho mecânico do concreto ocorreu quando se combina os tipos de areia analisados neste estudo, foi possível ajustar uma equação polinomial do segundo grau aos dados de resistência à compressão em função das quantidades de areia industrial analisadas (GRAF. 4) e estimar a quantidade ótima de areia industrial a ser utilizada.

Gráfico 4 – Resistência à compressão dos corpos de prova, aos 21 dias, em função das quantidades de areia industrial utilizada nos traços analisados.



Fonte: A autora, 2018.

Verifica-se que a dosagem de areia industrial que leva à maior resistência à compressão equivale a 60%. Assim, quanto ao desempenho mecânico, a melhor combinação entre as areias seria de 40% de areia natural com 60% de areia industrial, o que equivale ao traço em volume de 1:0,8:1,2:2,5 (cimento, areia natural, areia industrial, brita) com relação água/cimento de 0,55 em volume.

Enfim, o uso da areia industrial na fabricação do concreto alcançou resultados positivos do ponto de vista sustentável e técnico. No entanto, o resultado não deve ser generalizado, pois cada areia industrial pode conter uma característica diferente de acordo com o processo produtivo a que é submetido.

6 CONCLUSÕES

Por fim, concluiu-se que:

- a.** A areia industrial possui a granulometria similar à areia natural, porém contém maior quantidade de material fino que retém mais água, reduzindo a trabalhabilidade do concreto fresco o que faz com que sua consistência se torne mais firme, onde as combinações de 25% e 50% de areia industrial, que possuíram um abatimento menor que 3 cm se tornem inutilizáveis, se não houver um ajuste em seu traço.
- b.** Os concretos produzidos não sofreram grandes alterações e classificaram-se como concretos normais, quanto à massa específica.
- c.** O melhor desempenho mecânico para os concretos analisados foi observado para os tratamentos onde se combinaram a areia natural com a areia industrial. O traço ótimo, em volume, que leva à maior resistência à compressão é de 1:0,8:1,2:2,5 (cimento, areia natural, areia industrial, brita) com relação água/cimento de 0,55 em volume.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. S. Agregados. In: BAUER, L. A. F. **Materiais de construção: 2. 5.** ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2011. p. 63-119.

ALMEIDA, L. C. **Concreto:** Notas de aula da disciplina AU414 - Estruturas IV– Concreto armado. 2002. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>>. Acesso em: 01 mai. 2018.

ALMEIDA, S. L. M; SILVA, V. S. **Areia artificial: uma alternativa econômica e ambiental para o mercado de agregados.** In: II SUFFIB SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM. Anais do II SIFFIB. São Paulo, 2005.

ANDOLFATO, R. P. **Controle tecnológico do concreto.** Ilha Solteira - SP: Universidade Estadual Paulista, 2002. Disponível em: <<http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/control-tecnologico-basico-do-concreto.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2018.

ARAÚJO, J. M. Estruturas de concreto: A resistência à tração e a energia de fratura do concreto. Rio Grande - RS: Dunas, 2001. 31 p. v. 2. Disponível em: <http://www.editoradunas.com.br/dunas/Numero_02.pdf>. Acesso em: 01 maio 2018

ARNOLD, D. C. M. **Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do vale do rio dos sinos, 2011. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/3727/analise_influencia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 09 mai. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.

_____. **NBR 8953:** Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015. 7p.

_____. **NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

_____. **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.

_____. **NBR NM 248:** Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

AZEVEDO, F. F de. et al. Agregados miúdos: a importância dos agregados miúdos no controle tecnológico do concreto. **Revista conexão eletrônica.** Três Lagoas – MS, v. 14, n. 1, 2017. Disponível em: <<http://revistaconexao.aems.edu.br/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=1584>>. Acesso em: 03 mai. 2018.

BALBO, J. T. **Pavimentos de Concreto.** 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 472 p.

BUENO, C. F. H. **Tecnologia de materiais de construções**. 2000. Disponível em: <http://arquivo.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/materiais_contrucao.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2018.

BRASIL. (1986). Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. **Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília, 4p.

CABRAL, K. O. **Influência da areia artificial oriunda da britagem de rocha granito-gnaiss nas propriedades do concreto convencional no estado fresco e endurecido**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tde/669/1/dissertacao%20keilon%20engcivil.pdf>>. Acesso em: 09 mai. 2018.

CALDAS, R. S. **Relação entre características da rocha e comportamento na britagem para produção de agregado**. 2015. Projeto de Graduação (Programa de Graduação em Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10015572.pdf>>. Acesso em: 09 mai. 2018.

CARVALHO, R. C.; FIGUEREDO FILHO, J. R. **Concreto armado**. 4. ed. São Carlos: Edufscar, 2014. 415 p.

COSTA, M. J. da. **Avaliação do uso da areia artificial em concreto de cimento Portland: aplicabilidade de um método de dosagem**. 2005. 46p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí/RS, 2005. Disponível em: <http://projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/tccs/tccitulos/2005/Avaliacao_do_Uso_da_Areia_Artificial_Em_Concreto_De_Cimento_Portland_Aplicabilidade_de_Um_Metodo_de_Dosagem.pdf>. Acesso em 07 mai. 2018.

CHAVES, A. P. Estado da arte da produção de areia de britagem. In: SUFFIB – SEMINÁRIO: USO DA FRAÇÃO FINA DE BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n], 2005.

CUCHIERATO, G. **Caracterização tecnológica de resíduos da mineração de agregados da região metropolitana de São Paulo (RMSP), visando seu aproveitamento econômico**. 2000. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-graduação do Instituto de Geociências, USP, São Paulo.

FABRO, F. et al. Influência das formas dos agregados miúdos nas propriedades do concreto. **Revista Ibracom de estruturas e materiais**. v. 4, n. 2, p. 191-212., jun/2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/riem/v4n2/04.pdf>>. Acesso em: 03 mai. 2018.

FERREIRA, D. F. **Sisvar**: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciênc. agrotec.* [online]. 2014, vol.38, n.2 [citado 2015-10-17], pp. 109-112. Disponível em:

ISSN 1413-7054. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>>. Acesso em: 21 out. 2018.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do Concreto Estrutural**. São Paulo: Pini Ltda., 2008. 179p.

FUSCO, P. B.; ONISHI, M. **Introdução à engenharia de estruturas de concreto**. 1ª. ed. São Paulo: Cengage Learning Editores SA, 2017. 264 p.

GIONGO, J. S. **Concreto armado: introdução e propriedade dos materiais**. São Carlos: [s.n], 2007. Disponível em:

<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Introd_Prop_Materiais.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2018.

GRIGOLI, A S.; HELENE, P. R. L. Concreto com adições inertes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44, 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON, 2002. III- 023. 15 p. CD.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil**. São Paulo: IBRACON, 2007. 1712p.

ISHIKAWA, P. H. **Propriedades da argamassas de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, 2003. Disponível em:

<http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258267/1/Ishikawa_PauloHidemitsu_M.pdf>. Acesso em: 09 mai. 2018.

LAGUNA, L. A.; IKEMATSU, P. A influência da temperatura na desforma do concreto. **Téchne – A revista do engenheiro civil**. 150.ed. set/2009. Disponível em:

<<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/150/artigo-a-influencia-da-temperatura-na-desforma-do-concreto-286635-1.aspx>>. Acesso em: 21 abr. 2018.

LEONHARDT, F; MÖNNIG, E. **Construções de concreto: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado**: Rio de Janeiro: Interciência. 305p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 912 p.

_____. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: PINI, 1997. 828p.

NEVILLE A. M. ;BROOKS J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.

_____. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: PINI, 1997. 828p.

NOGUEIRA, G. R. F. **A extração de areia em cursos d'água e seus impactos: proposição de uma matriz de interação**. 2016. Trabalho final de curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitarista) – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016. Disponível em:

<http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC_Vers%C3%A3oFinal.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2018.

OLIVEIRA, H. M. Cimento Portland. In: BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**: 2. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2011. p. 35-62.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 2. ed. Porto Alegre: Globo, 1975. 277p.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **Estruturas de concreto**. 2004. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/Concreto.pdf>> Acesso em: 01 mai. 2018.

RECENA, F. A. P. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. 3. ed. Porto Alegre: edipucrs, 2011, 120p. (Série engenharia, 7). Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=mJVfxvZnHa4C&oi=fnd&pg=PA11&dq=trabalhabilidade+do+concreto&ots=yNKAAAsIH9d&sig=r9QxhTThLMoh23_8EvoOzu7WATE#v=onepage&q=trabalhabilidade%20do%20concreto&f=false>. Acesso em: 03 mai. 2018.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. da S.; STARLING, T. **Materiais de construção civil**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2006. 102p.

SANTOS, W. J. **Metodologia de dosagem de argamassa de revestimento e assentamento**. 2014. 178p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2014.

SIQUEIRA, L. V. M. **Laboratório de Materiais de Construção I: 1ª parte- Cimento**. 2008. Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/portal/departamentos/dec/labmcc/materiais/ensaios_tecnologicos_cimento_portland.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2018.

SOBRAL, H. S. **Propriedades do Concreto Fresco**. 5. ed. São Paulo: Associação brasileira de cimento Portland, 2000. 32 p. Disponível em: <https://edisiplinas.usp.br/pluginfile.php/3089801/mod_resource/content/0/ET15.pdf>. Acesso em 01 mai. 2018.

SOBRAL, E. S. **Propriedades do Concreto Fresco**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A., 2000. 447 p. (Materiais de Construção, v. 1).

SUGUIO, K. **Introdução a Sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. 318 p.

SUZUMURA, G. Y. R.; SOUZA, S. K. P. de. **Explorações minerais e seu impacto sobre a paisagem paulistana**. Iniciação Científica. Ano I, n. 1, 2007.

THE DOCUMENT FOUNDATION. **LibreOffice**: versão 5.4. 2017. Disponível em: <<https://pt-br.libreoffice.org>>. Acesso em 21 out. 2018.

TRISTÃO, F.A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. 1995. 188p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

TRISTAO, F. A. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento**. 2005. 234p. 286 f. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <
<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/102089/226141.pdf?sequence=1>>.
Acesso em: 07 mai. 2018.

VALVERDE, F. Mendes. **Agregados Para Construção Civil**. Balanço Mineral Brasileiro, São Paulo: DNPM, 2001.