



**FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL**

STELA VIEIRA BRUM

**ESTUDO GRANULOMÉTRICO E DE TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO DE
UMA AREIA NATURAL E UMA AREIA ARTIFICIAL**

**UBÁ/MG
2022**

STELA VIEIRA BRUM

**ESTUDO GRANULOMÉTRICO E DE TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO DE
UMA AREIA NATURAL E UMA AREIA ARTIFICIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá - FUPAC, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dr^a. Érika Maria Carvalho Silva Gravina

**UBÁ/MG
2022**

RESUMO

A construção civil é o ramo que mais utiliza os recursos naturais. E a areia natural é um desses recursos que tende a se esgotar principalmente próximos dos centros consumidores, além das questões ambientais. Com isso, busca-se alternativas para a substituição da areia natural pela areia artificial. A produção e utilização da areia artificial têm sido cada vez mais utilizada na produção de concretos, por isso a necessidade do desenvolvimento de estudos sobre a viabilidade desta técnica. Diante desse contexto, este trabalho tem como finalidade estudar as características da areia natural e areia artificial, apontando as propriedades de sua utilização no concreto, os processos produtivos e os impactos que causam no meio ambiente, além de apresentar um estudo de uma análise granulométrica de uma areia natural e artificial e o cálculo do teor de material pulverulento. Para isso, foram realizados os ensaios de granulometria em ambas as amostras de acordo com a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003) e o ensaio de material pulverulento segundo a norma NBR 16973 (ABNT, 2021). Por meio das análises, observa-se que as curvas granulométricas dos agregados estudados possui as características necessárias para a sua utilização, mostraram uma grande semelhança no comportamento, porém, quando realizado o ensaio para determinar a quantidade de material pulverulento, os resultados relacionados a areia artificial ficaram acima do recomendado. Entretanto, a substituição da areia natural pela artificial é promissora, para melhor aceitação no mercado é importante e necessária a análise das propriedades e características desse agregado com as propriedades do concreto.

Palavras-chave: Concreto. Agregados. Areia natural. Areia artificial.

ABSTRACT

Civil construction is the sector that most uses natural resources. And natural sand is one of those resources that tends to run out, especially near consumer centers, in addition to environmental issues. With this, alternatives are sought for the replacement of natural sand by artificial sand. The production and use of artificial sand has been increasingly used in the production of concrete, hence the need to develop studies on the feasibility of this technique. Given this context, this work aims to study the characteristics of natural sand and artificial sand, pointing out the properties of its use in concrete, the production processes and the impacts they cause on the environment, in addition to presenting a granulometric analysis and the influence of harmful substance, powdery material, on concrete performance. For this, granulometry tests were carried out on both samples in accordance with the NBR NM 248 standard (ABNT, 2003) and the powdery material test in accordance with the NBR 16973 standard (ABNT, 2021). Through the analyzes carried out, it was possible to observe that the granulometric curves of the studied aggregates have the necessary characteristics for their use, they showed a great similarity in the behavior, however, when the test was carried out to determine the amount of powdery material, the results related to artificial sand were above the recommended by the standard. However, replacement of natural sand by artificial sand is promising, for better acceptance in the market it is important and necessary to analyze the properties and characteristics of this aggregate with the properties of concrete in the fresh and hardened state.

Keywords: Concrete. Aggregates. Natural sand. Artificial sand.

1 INTRODUÇÃO

Com a expansão da construção civil e a tendência de escassez dos recursos naturais, esse setor industrial tem sido forçado a adquirir novos conceitos, soluções e técnicas que visem à sustentabilidade de suas atividades, em especial, para a fabricação de concretos e argamassas, que são os materiais mais utilizados na construção.

O concreto é o material de construção mais utilizado no Brasil e no mundo, devido ao seu alto consumo, gerado pelo forte crescimento da construção civil, levando à alta demanda por insumos, incluindo areia natural, que é um agregado miúdo utilizado na construção civil para a fabricação de concreto e argamassa. No entanto, devido a essa demanda, as jazidas mais próximas aos grandes centros de consumo foram esgotadas e, além disso, os órgãos ambientais estão sob rigorosa fiscalização devido ao impacto da mineração. As atividades de exploração são inerentemente responsáveis pelos impactos ambientais. Esse efeito se deve à exploração de sedimentos (muitas vezes desordenada) e causa sérios problemas ambientais, pois atacam a passagem natural do rio, causando aumento do fluxo de água e acelerando o processo de erosão da margem do rio.

Para substituição da areia natural, uma das alternativas mais estudadas é a areia artificial, seja de forma parcial ou total, que é o produto do tritamento de rochas até a granulometria requerida pelas normas de classificação granulométrica. Além disso, o uso de areia artificial pode ser viável, tendo em vista ainda que as fontes para obtenção das rochas que dão origem à areia artificial não são tão escassas.

Essa substituição se justifica pela inserção de princípios de sustentabilidade. A construção civil é um dos ramos com maior impacto ao meio ambiente, por isso é necessário combinar materiais e métodos construtivos para reduzir o impacto negativo.

Diante desse contexto, este trabalho tem como finalidade estudar as características da areia natural e areia artificial, apontando as propriedades de sua utilização no concreto, os processos produtivos e os impactos que causam no meio ambiente, além de apresentar um estudo de uma análise granulométrica de uma areia natural e artificial e o cálculo do teor de material pulverulento.

Com o desenvolvimento de métodos construtivos, torna-se essencial o desenvolvimento de alternativas para que minimizem os impactos ambientais e que ao mesmo tempo sejam tanto ou mais eficientes. Com isso, o presente trabalho se justifica no estudo das características da areia natural e areia artificial, por meio de análises. Essa substituição apresenta uma alternativa técnica que pode trazer benefícios econômicos, além de ser mais sustentável, diminuindo os impactos ambientais ocasionados pela extração de recursos naturais, e ainda produzindo concretos com excelente desempenho e custo satisfatórios.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Concreto

A evolução do concreto é resultado do esforço de numerosos homens, que ao longo de muitos anos notaram a natureza e se esmeraram por elaborar materiais, técnicas, teorias e formas estruturais. Pode-se considerar que a partir da existência do homem na terra, surgiu a demanda de morar e morar melhor a cada dia, ampliando as inovações tecnológicas, dessa forma conclui-se que a história do concreto foi instituída com a própria civilização humana (KAEFER, 1998).

Sua descoberta no fim do século XIX e seu intensivo uso no século XX, transformaram o concreto no material mais consumido pelo homem depois da água, revolucionaram a arte de projetar e construir estruturas cuja evolução sempre esteve associada ao desenvolvimento das civilizações ao longo da história da humanidade (HELENE; ANDRADE, 2010).

Ainda segundo os autores, no Brasil, assim como em outros países do mundo, o concreto tem um papel de destaque sendo o principal e mais consumido material de construção.

O material essencial na construção civil de forma global é o concreto. Analisando ao decorrer dos séculos Carvalho e Freitas (2017), compreenderam as propriedades e flexibilidade do concreto através do surgimento de elevadas construções.

A norma Brasileira, NBR 12655 (ABNT, 2022) define concreto de Cimento Portland como:

Material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolvem suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água) (NBR 12655, 2022, p. 2).

O concreto é um material de construção composto pela mistura de aglomerantes, matérias inertes e água. Segundo a *American Society for Testing and Materials* (ASTM) concreto é:

Um material compósito que consiste essencialmente em um meio de ligação dentro do qual são incorporadas partículas ou fragmentos de agregado; em concreto de cimento hidráulico, o ligante é formado a partir de uma mistura de cimento hidráulico e água (ASTM, C125, pág. 2)

Primeiramente mistura-se o cimento Portland e água formando uma substância que se assemelha a uma pasta e relativamente fluida. Logo, as partículas de agregados com várias proporções se envolvem na pasta para formar um material em que inicialmente no estado fresco se possibilita ser moldado. Após um tempo, o material endurece, devido a reação química da água com o cimento, e assume uma resistência mecânica com capacidade de torná-lo um material de excelente desempenho estrutural (CARVALHO; FREITAS, 2017).

Segundo Neville e Brooks (2013) quando relaciona-se as propriedades do concreto para analisar a sua qualidade deve-se observar duas condições: em seu estado fresco e em seu estado endurecido. Em geral, no estado fresco é a fase da mistura, onde a consistência da mistura possa ser adensada e que a mistura seja coesa capaz de ser transportada e lançada sem segregação, ou seja, sem que ocorra separação dos materiais componentes do concreto, por isso deve demonstrar trabalhabilidade, plasticidade, retração, tempo de pega inicial e final. Já no estado endurecido é a fase em que encontra-se uma resistência à compressão aceitável. Mas possui várias propriedades do concreto que estão relacionadas a ela, como: resistência à tração, ao desgaste superficial e ao impacto, porosidade, fluência, retração, massa específica, impermeabilidade e durabilidade.

Os agregados estão presentes em proporções elevadas no volume de concreto e suas características afetam propriedades importantes do concreto endurecido, como a resistência mecânica, e também a trabalhabilidade no estado fresco (SILVA; OLIVEIRA, 2016).

Ao confeccionar o concreto, é necessário cautela em relação a sua qualidade, desempenho e custos satisfatórios. Por isso, analisar as características dos agregados é extremamente importante, pois influenciam diretamente sobre o concreto produzido. Questões de sustentabilidade também devem ser levadas em consideração principalmente dos agregados miúdos, quando compara-se a areia natural e a areia artificial, que além de ser uma alternativa técnica e economicamente viável.

A atribuição fundamental dos agregados é no módulo de elasticidade, estabilidade de maneira dimensional e na massa unitária do concreto. Além de possuir características que auxiliam diretamente no concreto final, como a massa específica, textura, granulometria e resistência. Um agregado leve, conseqüentemente possui uma índice de vazios maior, apresenta maior porosidade, com isso menor será a resistência e a durabilidade da mistura (CARVALHO; FREITAS, 2017).

2.2 Agregados para concreto

Na atualidade, a construção civil se destaca como um dos maiores consumidores de recursos naturais como matéria prima. Com o desenvolvimento do setor de construção civil no Brasil, a utilização de agregados tem sido cada vez maior.

De acordo com a norma brasileira, NBR 9935 (ABNT, 2011, p.2), agregado é um “material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto.”

A ASTM C125 (2020, p.1) define agregado como um “material granular, como areia, cascalho, pedra britada ou escória de ferro de alto-forno, usado com um meio ligante para formar concreto ou argamassa de cimento hidráulico.”

O agregado refere-se a um determinado material granular, como areia, pedregulho, pedrisco, rocha britada, escória de alto forno ou resíduos de construção e de demolição, utilizado na produção de concreto ou argamassas. São divididos em dois grupos em função das dimensões das suas partículas: agregados graúdos (cascalhos e britas) para partículas menores que 75 mm e maiores que 4,75 mm e agregados miúdos (areias) que atribuí a partículas menores que 4,75 mm e maiores que 150 μm (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Quanto à origem os agregados são classificados em naturais ou artificiais. Segundo a norma brasileira NBR 9935 (ABNT, 2011) os naturais são materiais pétreo granulado disponível na natureza de forma particulada que pode ser lavada, classificada ou triturada e os artificiais são materiais granulados produzidos em processos industriais que envolvam alterações minerais, químicas ou físico-químicas das matérias-primas originais, utilizados como agregados em concreto ou argamassa.

Os agregados leves são de baixa densidade, como, por exemplo, os agregados expandidos de argila, escória siderúrgica, vermiculita, resíduo de esgoto e outros. A principal aplicação é na produção de concreto leve. Já os agregados normais são agregados de densidade compreendida entre 2 000 kg/m³ e 3 000 kg/m³, como, seixos rolados e pedra britada. A principal aplicação é na produção de concretos convencionais. E os agregados pesados são agregados de elevada densidade, como, por exemplo, barita, magnetita, hematita e outros. A principal aplicação é na produção de concretos pesados, utilizados para blindagens de radiação. Esses agregados têm maior massa devido à presença dos minerais (NBR 9935, ABNT 2011; MEHTA e MONTEIRO, 2008)

2.2.1 Agregados miúdos

A norma brasileira, NBR 7211 (ABNT, 2022, p.3) define agregado miúdo como: “agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248”.

As peneiras da série normal e intermediária que são manuseadas no ensaio de análise granulométrica são determinadas pela norma brasileira, NBR 7211 (ABNT, 2022) de acordo com a TAB. 1.

Tabela 1 – Conjunto de peneiras

SÉRIE NORMAL	SÉRIE INTERMEDIÁRIA
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600µm	-
300µm	-
150µm	-

Fonte: Adaptado da NBR 7211 (ABNT, 2022)

O objetivo do estudo granulométrico, conforme Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2011) é a classificação dos elementos de uma amostra pelos respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes a cada tamanho. A composição granulométrica determina as características de um agregado, como: determinação do módulo de finura e dimensão máxima característica.

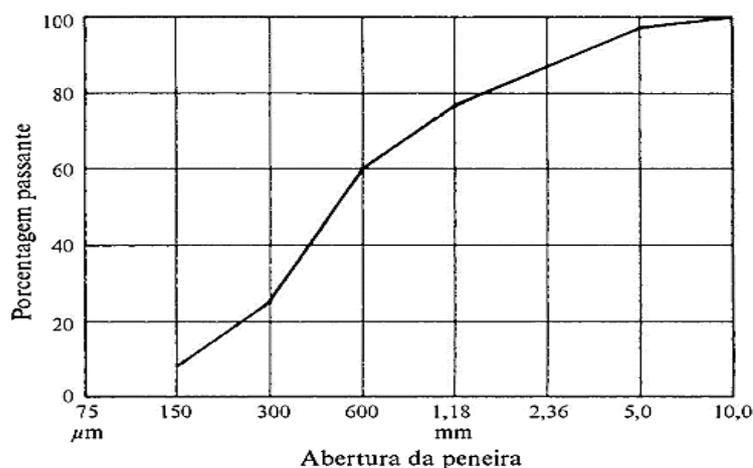
A norma brasileira define dimensão máxima característica como grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa e o módulo de finura como soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100 (NBR 7211, ABNT, 2022).

Silva (2018) afirma que geralmente, as séries intermediárias de peneiras são utilizadas para testes de peneiramento de agregados com a finalidade de avaliar o tamanho das partículas, principalmente para a classificação do maior tamanho de agregado. No entanto, sempre devem ser utilizadas séries padrão de peneiras nos testes, pois os resultados obtidos nestas malhas são utilizados para classificação granulométrica e determinação do módulo de finura.

O agregado miúdo possui alta área específica, o que afeta diretamente a plasticidade do concreto. A alteração do teor de miúdos resulta em modificações no consumo de água e cimento, afetando diretamente o custo do concreto. A areia mais fina, classificada com granulometria de 0,42 a 0,075 mm, tem uma área específica maior, o que aumenta a quantidade de água de molhagem. Portanto, quanto maior o consumo de areia, maior o consumo de cimento, pois a pasta de cimento é o lubrificante entre as partículas de areia (SOBRAL, 2000c).

O resultados coletados no ensaio de granulometria são representados graficamente, por meio de uma curva que indica cada diâmetro de grão, quantidade de material que possui grãos maiores e menores, e ainda, é possível verificar se a granulometria de um determinado agregado corresponde à especificação. A curva granulométrica é representada nas ordenadas as porcentagens acumuladas passante e as abscissas mostra as aberturas das peneiras em escala logarítmica, conforme a FIG.1. (NEVILLE, 2016).

Figura1 - Exemplo de uma curva granulométrica.



Fonte: NEVILLE, 2016

A curva granulométrica do agregado ensaiado deverá atender os limites de distribuição granulométrica, tem de satisfazer o que foi definido na TAB. 2. Essa norma estabelece que poderão ser usados os agregados miúdos com distribuição granulométrica diferente, desde que sejam feitos os ajustes, mediante estudos prévios de dosagem (NBR 7211, ABNT, 2022).

Tabela 2 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	PORCENTAGEM, EM MASSA, RETIDA ACUMULADA			
	LIMITES INFERIORES		LIMITES SUPERIORES	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
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
0,6 μm	15	35	55	70
0,3 μm	50	65	85	95
0,15 μm	85	90	95	100

NOTAS

1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 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: Adaptado da NBR 7211 (ABNT, 2022)

Através do módulo de finura do agregado, cuja granulometria cumpre com qualquer uma das zonas limites de distribuição, os agregados podem ser classificados de acordo com TAB.3 abaixo:

Tabela 3 – Classificação dos agregados miúdos segundo o módulo de finura

TIPOS DE AREIA	MÓDULO DE FINURA
Grossa	MF > 3,9
Média	3,9 > MF > 2,4
Fina	MF < 2,4

Fonte: Adaptado da NBR NM 248 (ABNT, 2003)

A norma NBR 7211 (2022) ainda define as substâncias nocivas aos agregados. A quantidade de substâncias nocivas não deve exceder os limites máximos em porcentagem estabelecidos com relação à massa do material (TAB.4).

Tabela 4 — Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material

DETERMINAÇÃO	MÉTODO DE ENSAIO	QUANTIDADE MÁXIMA RELATIVA À MASSA DO AGREGADO MIÚDO %	
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218	3,0	
Materiais carbonosos¹	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento)	ABNT NBR NM 46	Concreto submetido a desgaste superficial	3,0
		Concretos protegidos do desgaste superficial	5,0
Impurezas orgânicas²	ABNT NBR NM 49	A solução obtida no ensaio deve ser mais clara do que a solução-padrão	
	ABNT NBR 7221	Diferença máxima aceitável entre os resultados de resistência à compressão comparativos	10 %

¹ Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante a apreciação petrográfica, pode-se prescindir do ensaio de quantificação dos materiais carbonosos (ASTM C 123).

² Quando a coloração da solução obtida no ensaio for mais escura do que a solução-padrão, a utilização do agregado miúdo deve ser estabelecida pelo ensaio previsto na ABNT NBR 7221.

Fonte: Adaptado da NBR 7211 (ABNT, 2022)

Bastos (2002) explica a seguir os termos relativos às substâncias nocivas aos agregados.

- Torrões de argila: são assim denominadas todas as partículas de agregado desagregáveis sob pressão dos dedos (torrões friáveis). Sua presença é bastante nociva para a resistência de concretos, em certos casos, expansivos.

- Materiais carbonosos: são partículas de carvão, linhito, madeira e material vegetal sólido, presentes nos agregados. Além de afetarem a resistência, prejudicam o concreto quando submetido à abrasão.

- Material pulverulento: são partículas finas com dimensões inferiores a 75µm, materiais solúveis em água, constituído de silte e argila. Em geral as areias contém impurezas que interferem com o processo de hidratação do cimento. As partículas finas, não devem estar presentes em grandes quantidades, pois aumentam a área superficial e, conseqüentemente, a demanda de água e o consumo de cimento. As películas de argila, quando presentes na superfície do agregado, impedem a aderência afetiva entre o agregado e a pasta de cimento hidratada.

- Impurezas orgânicas: a matéria orgânica é a impureza mais frequente nas areias. São detritos geralmente de origem vegetal, que estão normalmente sob a forma de partículas minúsculas, mas em grande quantidade chegam a escurecer o agregado miúdo, além de prejudicar a pega o endurecimento das argamassas e concretos e a sua resistência mecânica.

Menossi (2004) afirma que uma das maiores questões relacionadas à qualidade do concreto hoje tem a ver com a qualidade dos agregados utilizados, principalmente agregados miúdos e mais especificamente areia natural.

2.2.1.1 Areia natural

De acordo com Kulaif (2014), quando utilizado para identificar recursos minerais, o termo areia é designado como um material granular, definido em tamanho entre 2 mm e 0,6 mm, com composição silicatada, essencialmente composta de mineral de quartzo, utilizado principalmente na construção civil, na forma de agregado miúdo. As reservas naturais onde ocorre o processo de extração da areia natural é abundante de forma global, porém sua escassez ocorre onde possui uma grande demanda por este material.

Hagemann (2011) define areia como um agregado miúdo que pode ser proveniente de fontes naturais, como leitos de rios, depósitos eólicos, margens de rios e poços de minas. A extração desse material, quando provenientes de fontes

naturais, na maioria das vezes, é feito por meio de dragagem e escavação. Independentemente da forma de recebimento, o material passa por um processo de lavagem e antes de ir para o mercado é classificado de acordo com suas características.

Conforme Maso (2022), a areia natural, também conhecida como areia lavada, é a matéria-prima mais utilizada na construção civil e acredita-se que seja o resultado do tritramento de rochas como calcário, quartzo, basalto, granito, sílica e gnaiss. É retirada do leito do rio, decantada por dragas de sucção e, após a lavagem, a areia é levada para comércio e separada.

Segundo Pimenta (2012), às areias naturais, mais especificamente os agregados miúdos, são comercialmente divididas em três tipos: finos, médios e grossos, dependendo do tamanho das partículas e de suas propriedades adequadas para a engenharia civil.

Para Bueno (2010) as areias comercializadas para construção civil normalmente recebem designações segundo o grau de beneficiamento a que são submetidas: areia bruta (não beneficiada); areia lavada (lavagem sobre peneira para retirada de partículas finas e outros materiais indesejáveis); areia granulada (areia que obedece a uma distribuição granulométrica previamente estabelecida).

O Manual de Agregados para Construção Civil (2012), classifica quanto o tamanho de seus grãos, a areia natural em faixas granulométricas inferior a 2,0 mm e superior a 0,075 mm, de propriedades adequadas, conforme a TAB. 5.

Tabela 5 – Tipos de areia

TIPO	GRANULOMETRIA
Areia grossa	2,0 mm – 4,8 mm
Areia média	0,42 mm – 2,0 mm
Areia fina	0,05 mm – 0,42 mm

Fonte: Manual de Agregados para Construção Civil (2012)

Através da curva granulométrica que é possível avaliar a composição de um agregado, se enquadra em uma especificação, se é muito grossa ou fina. Como é o caso da areia natural, quando apresentar o valor do módulo de finura maior consequentemente será uma areia grossa (NEVILLE, 2016)

Segundo Silva e Oliveira (2016), a areia é um material natural comumente utilizado como agregado miúdo na produção de concreto. Seu desenvolvimento ao longo dos anos aumentou seu custo e manutenção gradual. Com extração irregular da areia natural, foram criadas normas para proteger as jazidas.

A extração da areia acontece nos leitos de rios, várzeas, sedimentos lacustres, manto em decomposição de rochas, pegmatitos e arenitos decompostos. A areia produzida no Brasil, 70% é no leito dos rios. Cerca de 50.000 empregos diretos e 150.000 empregos indiretos são gerados no setor de produção de areia para construção, composto principalmente por pequenas empresas, sendo a grande maioria familiar. De um modo geral, a qualidade da mão de obra é ruim (QUARESMA, 2009).

Para Silva (2018), a areia natural pode ser encontrada em diferentes lugares, por isso há técnicas de retirada e reabilitação ambiental para realização de tal atividades de mineração.

De acordo com Bueno (2010), as etapas para extração da areia são fundamentada pela influência da água. O que diferencia é a localização de extração do minério, podendo ser pelo desmonte hidráulico que é utilizado em encostas de morros por meio do jateamento e pela dragagem hidráulica nos leitos fluviais.

Segundo Nogueira (2016), a extração da areia natural geralmente é operada por dois tipos de operações de lavra, conforme o tipo de depósito mineral: desmonte hidráulico ou dragagem. A TAB. 6 relaciona os métodos de lavra de areia e tipos de depósitos minerais.

Tabela 6 – Métodos de lavra de areia e tipos de depósitos minerais

MÉTODO	DEPÓSITOS MINERAIS	SITUAÇÃO
Dragagem	Sedimentos com perda de estabilidade quaternários	Leito de rio
		Cava submersa (Leito desviado de rio)
Desmonte Hidráulico	Planícies fluviais, coberturas e sedimentos com perda de estabilidade quaternários	Cava seca (Leito desviado de rio)
	Rochas sedimentares cenozóicas	
	Manto de alteração de rochas pré-cambrianas	Cava seca

Fonte: Adaptado de ANEPAC

No sistema de cava submersa, a extração é realizada por uma draga, instalada sobre uma barcaça móvel, juntamente com uma bomba hidráulica. O processo de bombeamento promove a sucção da polpa formada na superfície de ataque do leito submerso. O ponto de sucção no fundo da água é atingido por tubulação, através da qual a polpa é transportada. Quando as barcaças estão cheias, são transferidas até as margens, onde a areia é depositada no leito da cava conforme a FIG. 2. A grande flexibilidade das dragagens, possibilita trabalhar em áreas diferentes, em zonas onde o depósito possui uma ampla distribuição ao longo de um rio ou represa (BUENO, 2010).

Figura 2 – Depósito de areia de cava submersa.

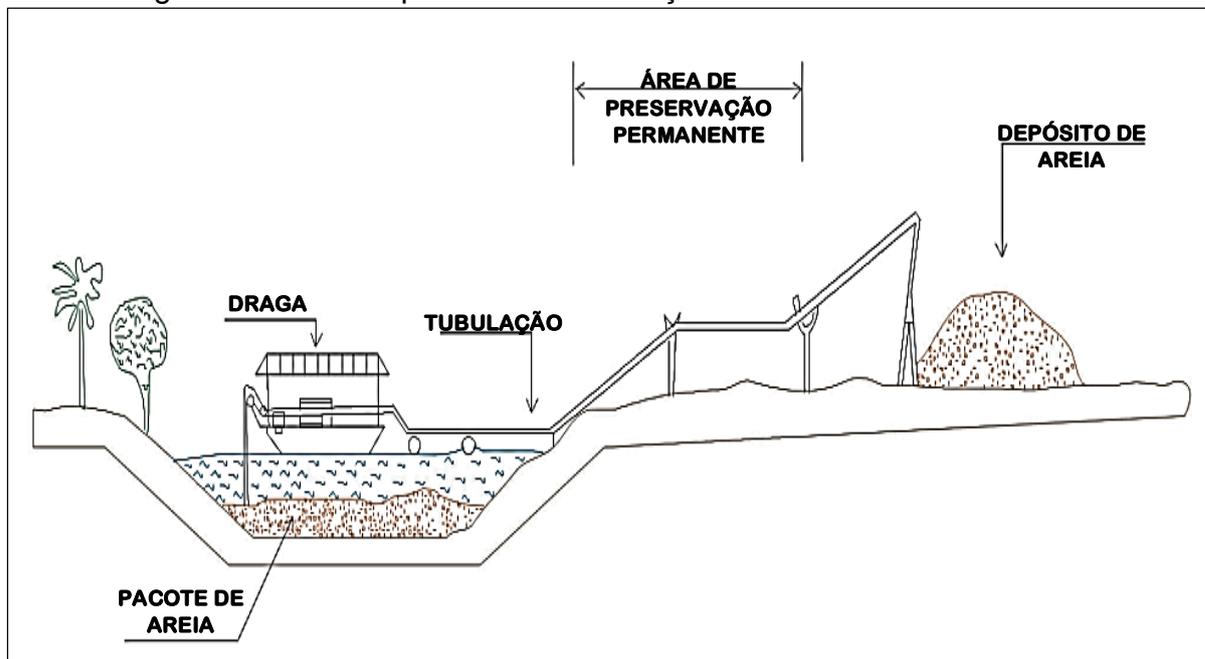


Fonte: <http://www.quimicosjc.org.br/pdfs/especiais/Cavas-de-areia-2012.pdf>

Outro sistema de extração, segundo a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção (ANEPAC), é a dragagem do leito do rio (FIG. 3) em profundidades médias, em que a areia é extraída por sucção e bombeada, na forma de polpa, para o lado de fora do leito do rio. As bombas de sucção são conectadas às tubulações que levam a areia, que é então processada por peneiramento, em forma de polpa diretamente ao silo, enquanto que a água retorna ao rio juntamente com sedimentos finos. No entanto, de acordo com Chaves e Whitaker (2012), na maioria das vezes, no topo dos silos receptor da polpa, é

colocado grelhas para separar as partes mais grossas e materiais orgânicos (brita, folhas e troncos), e também uma lavagem para retirar a argila.

Figura 3 - Perfil esquemático da extração de areia em leitos de rios.



Fonte: Adaptado da Revista Escola de Minas. Ouro Preto: Vol. 61, 2008.

Conforme a ANEPAC, a técnica de cava seca é usada na lavra de depósitos de planície fluvial, formações sedimentares, coberturas indiferenciadas e mantos de alteração de rochas cristalinas. O material decapeado na superfície do solo é reutilizado na área minerada, na construção de barragens ou desprezado em área reservada. Geralmente, o decapeamento é realizado com o auxílio de tratores de esteiras e pás-carregadeiras, dependendo da compactação do capeamento. Em seguida, com a lavra da camada arenosa é realizado o desmonte hidráulico, onde ocorre a desagregação da areia, com o auxílio de jatos de água de alta pressão, que incide na base e ocorre o desmoronamento da matéria prima, na forma a polpa (mistura de areia e água), que é escoada por gravidade para bacia de acumulação. A operação é finalizada através do bombeamento para a unidade de beneficiamento onde é feita a separação e estocagem da areia (LUZ E ALMEIDA, 2012).

Os autores ainda simplificam esse método de lavra de cava seca por meio de várias etapas:

- Retirada do capeamento estéril, com o auxílio de retroescavadeira, conforme a FIG.4;
- Desmonte hidráulico da matéria prima mineral e

- Bombeamento do material das bacias de acumulação diretamente para a usina de beneficiamento, mas primeiro é classificado e comercializado.

Figura 4 – Capeamento da areia de cava seca com retroescavadeira.



Fonte: ANEPAC

À medida que a demanda por areia natural no mercado nacional aumenta e essas reservas se esgotam, principalmente próximo às regiões metropolitanas, levando em conta o aumento dos custos de transporte, restrições de peso por eixo de transporte e aumento das distâncias de carregamento, o uso desse insumo tem um impacto no custo do concreto (MENOSSI, 2004).

De acordo com Fonseca Junior (2012), mais de 90% da produção nacional de areia natural é extraída em leitos de rios, causando uma série de impactos ambientais ao meio ambiente. Por esse motivo os órgãos responsáveis pela fiscalização ambiental têm estudado maneiras de reduzir a exploração do meio ambiente para retirada de matéria prima para uso na construção civil.

Segundo André (2017), a areia natural extraída em leitos de rios é um material bastante heterogêneo, porque a areia natural é obtida de diferentes tipos de rochas e a morfologia das partículas é definida pela movimentação do rio. Essas diferenças nas características da areia natural geram comumente ajustes na composição da mistura de concretos e argamassas, ocasionando um aumento no

consumo do cimento ou agregados para alcançar as propriedades mecânicas e de trabalhabilidade desejadas.

Silva e Oliveira (2016) afirmam que a extração nem sempre é prejudicial ao meio ambiente, pois em alguns casos, com o devido acompanhamento, o processo de dragagem em leitos auxilia na remoção de resíduos e sedimentos acumulados no fundo dos rios para melhoria de seu escoamento. Outra característica positiva é a oportunidade de empregos diretos e indiretos nas áreas de mineração, melhorando as condições de vida e bem-estar da população local.

No entanto, ainda segundo os autores, a grande demanda, principalmente da construção civil, faz com que os recursos minerais sejam usados não apenas em áreas ricas, mas também em locais onde os recursos estão praticamente esgotados, podendo provocar riscos ambientais de consequências reversíveis ou não.

2.2.1.2 Areia artificial ou industrial

Durante a fabricação do agregado graúdo, uma grande quantidade de material inicialmente visto como rejeito. Atendendo às suas características de granulometria e grande potencial de reaproveitamento, este material destina-se a ser utilizado na forma de agregados miúdos conhecidos como areia de britagem, também conhecida como areia artificial ou areia industrial (TEODORO, 2013).

A areia artificial segundo Lieberknechté (2011) é conhecida na construção civil através da sua granulométrica com tamanho entre 4,8 mm a 0,075 mm por demonstrar características na maioria das vezes desfavoráveis se tratam de concreto, acabam não sendo usadas. Os grãos finos ficam amontoados nas pedreiras, criando problemas ambientais e financeiros para as empresas.

Cavalcanti e Parahyba (2012, p.11) caracterizam a areia de brita ou areia artificial como “agregado, com graduação entre 0,15 e 4,8 mm, obtido dos finos resultantes da produção de brita, dos quais se retira, por via úmida, a fração inferior a 0,15mm.”

De acordo com Menossi (2004), por não fornecer normas técnicas para especificações comuns, a areia artificial apresenta diferentes denominações no mundo da tecnologia e dos negócios. Perante os seus produtores e os seus consumidores, a nomenclatura mais utilizada é ainda pó de pedra. Esta nomenclatura não é de acordo com a nomenclatura utilizada na norma brasileira

NBR 7225 (ABNT, 1993), que define "pó pedra" como material quebrado de pedra, tamanho nominal máximo inferior a 0,075 mm. Há outras nomenclaturas como areia artificial e areia de britagem, no entanto, esses termos também podem ser confusos porque, nestes casos, fração fina abaixo de 0,075 mm são algumas vezes descartadas por lavagem, às vezes britagem, com o intuito de padronizar a distribuição granulométrica.

A areia artificial pode ser considerada uma alternativa de substituição da areia natural. Esse material é produzido por pulverização de rochas, usando maquinários pesados de trituração. A areia artificial tem partículas finas e de geometria cúbica e apresentam propriedades físicas que fornecem maior durabilidade, trabalhabilidade, diminuição de manifestações patológicas no concreto e argamassa endurecidos, maior resistência e baixo custo no transporte, conforme André (2017).

Ainda segundo o autor a areia artificial, pode ser considerada um material mais homogêneo, porque é obtido a partir de rochas pré-selecionadas e a granulometria pode ser controlada industrialmente.

A areia artificial possui alto teor de pulverulento que facilita o trabalho e o preenchimento de vazios em cimento e água. No entanto, se este nível for muito alto, pode prejudicar a qualidade do concreto, exigindo mais água e reduzindo a resistência do concreto (CARVALHO e FREITAS, 2017).

Para a produção da areia artificial, conforme Silva (2018), o tipo de rocha interfere diretamente na utilização da areia e no comércio. Sampaio *et al.* (2001) afirmam que as areias artificiais disponíveis são obtidas através da fragmentação de rochas do tipo granitos, gnaisses, diabásios, migmatitos, calcário, basalto e dolomitos.

André (2017) explica que a produção de areia de brita é um processo mais complexo do que a simples extração de areia natural e, ao contrário do que ocorre com a produção do agregado miúdo natural, não é usual existirem usinas destinadas apenas à fabricação de areia de brita. A produção da mesma geralmente é integrada à produção de agregado graúdo proveniente da fragmentação das rochas em partículas menores.

A produção da areia artificial acontece através da britagem das pedras, sendo um subproduto da brita, deixando este produto nas mesmas condições da areia natural, conforme a FIG.5. (SILVA e OLIVEIRA, 2016). O processo de obtenção da

areia britada, segundo Santos (2017), passa por vários processos, até chegar ao produto final.

Figura 5 – Produção de areia artificial.



Fonte: <https://pedreiracentral.com.br/galeria-de-fotos/#galeria-18>

Entre os diferentes tipos de britadores, destacam-se os de mandíbula, giratório, cônico, impacto, martelo simples, rolo, rotativo e rolo duplo. Cada um dos tipos de britadores apresentam características distintas nas condições operacionais e propriedades da areia resultante (HONÓRIO, 2010). De acordo com o Grupo Hobi (2012) o processo de desmonte e a britagem da rocha compreendem os seguintes etapas (FIG. 6):

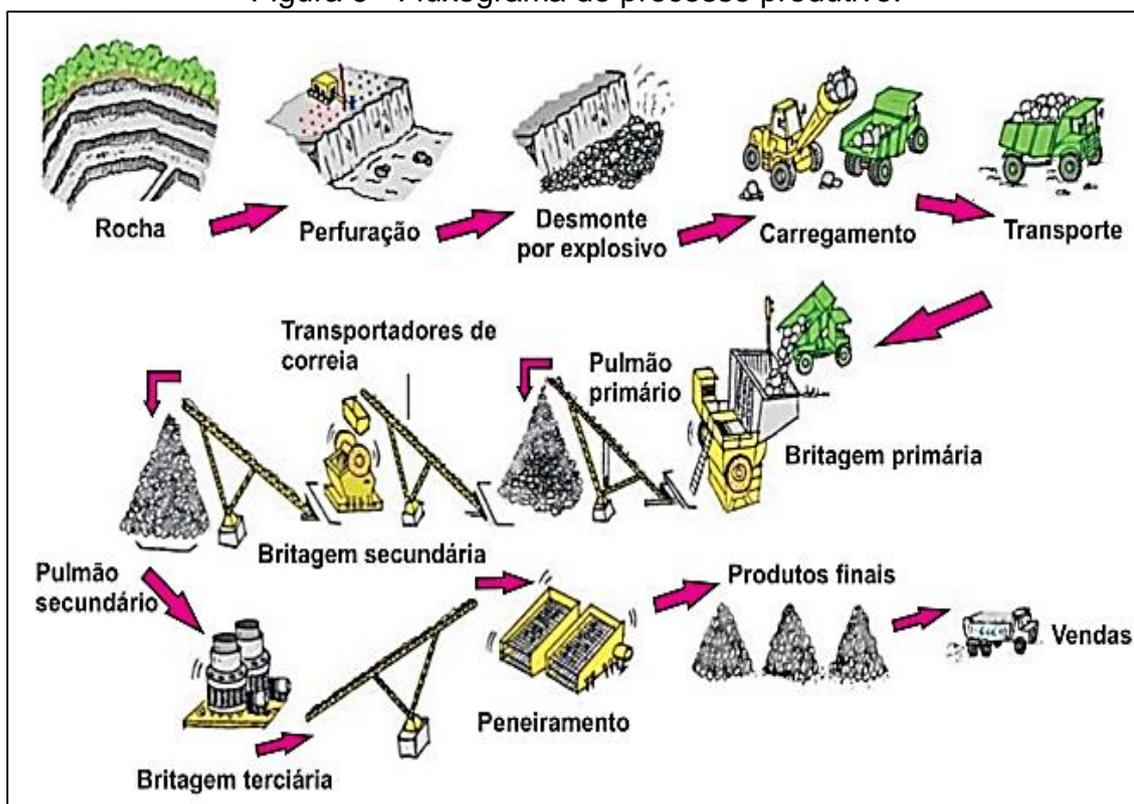
- Decapagem do terreno - Nesse processo é efetuada a limpeza das bancadas, com máquinas e caminhões a fim de remover a argila e outros materiais impróprios para a britagem.

- Desmonte da rocha - É feito pela ação de explosivos, são executadas perfurações na rocha, previamente calculadas no plano de fogo. Onde em seguida é realizado o carregamento com explosivos e posteriormente detonação.

- Transporte da mina para a britagem - O carregamento do material detonado é feito com escavadeira hidráulica em caminhões basculantes que transportam o material da mina até a britagem primária.

- Britagem primária - O material proveniente da mina é descarregado na baía de alimentação e lançado para dentro do britador, onde é triturado.
- Britagem secundária - Esse processo tem como função receber o material proveniente da britagem primária, onde é lançado para dentro do britador e triturado de acordo com a abertura do britador, reduzindo ainda mais suas dimensões.

Figura 6 - Fluxograma do processo produtivo.



Fonte: Iramina *et al.* (2009)

- Britagem terciária - O material gerado no processo anterior é conduzido ao britador. Nesse processo o material é arremessado dentro de um compartimento circular fechado, onde ocorrem diversas colisões entre as partículas de pedra, propiciando com isso uma correção no formato dos grãos do agregado, tornando-os arredondados.
- Peneiramento, classificação e lavagem - O material proveniente a partir da britagem terciária é submetido a processos de peneiramento, em peneiras vibratórias inclinadas. Nessas estruturas estão instalados bicos injetores que permitem absorver água sobre o material em processo de peneiramento, com o objetivo de retirar o excesso de material pulverulento dos grãos do agregado e eliminar a emissão de pó no ambiente. Todos os materiais resultantes no processo

de peneiramento e lavagem tem sua granulometria definida através de ensaios granulométricos.

As tecnologias das pedreiras nos últimos anos vêm sendo desenvolvidas para a obtenção de materiais mais adequados para a construção civil. Vários projetos foram criados, resultando em diversos modelos de equipamentos operando ao redor do mundo. Uma das principais preocupações é ter o equipamento funcional para manter o produto dentro dos padrões técnicos em termos de teor de pulverulento (FONSECA, 2012).

A utilização da areia artificial já é uma realidade em diversos países, tanto devido a questões ambientais como também em decorrência do esgotamento das fontes de areia natural.

Segundo Jesus *et al.* (2015), do ponto de vista ambiental, a areia artificial é um resíduo, sua deposição em espaços abertos é inconveniente para as cidades e áreas próximas devido à grande quantidade de material produzido, e a porcentagem de partículas finas é alta, portanto as consequências são graves. A utilização desse resíduo na fabricação de concreto diminui o impacto ambiental da extração de rochas e reduz a extração de areia natural, além de reduzir o custo de produção do concreto por ser um material de menor valor agregado em relação à areia natural.

A areia artificial é derivada da britagem de rochas, e a extração de minerais interfere no meio ambiente, sendo necessário avaliar previamente a compatibilidade de seu desenvolvimento e proteção ambiental, para evitar danos irreparáveis causados pela mineração (SILVA e OLIVEIRA, 2016).

3 ESTUDO DE CASO

Trata-se de um estudo, que se dedicou analisar a caracterização granulométrica de amostras de agregados miúdos, especificamente de uma areia natural e uma areia artificial utilizados na produção de concretos, buscando identificar a possibilidade de substituição da areia natural por areia artificial.

3.1 Materiais

Os ensaios foram realizados com dois tipos de areias, a areia natural e a areia artificial. Para estudo as areias serão nomeadas como areia natural e a areia artificial. Essas amostras foram obtidas em um comércio em Tocantins/MG, evitando a identificação dos fornecedores, e a coleta foi realizada no local de armazenamento.

3.2 Métodos

Para esse estudo, foram realizados os seguintes ensaios acompanhando as orientações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): NBR NM 248 (2003) – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica e NBR 16973 (2021) – Agregados – Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 μm por lavagem.

3.2.1 Análise Granulométrica

O ensaio de granulometria foi realizado com as amostras retiradas, de areia natural e areia artificial, tendo como parâmetro a norma, com a massa mínima por amostra de 500 g. Para cada tipo de agregado ensaiado foi coletada duas amostras que foram denominadas como amostra tipo A e amostra tipo B.

As amostras de areia natural e areia artificial após serem secas em estufa por 24 horas, passam pela pesagem em balança. Logo em seguida, as peneiras da série normal e intermediária são encaixadas, de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem decrescente da base para o topo, 9,5mm para 0,15mm. (FIG. 7).

Figura 7 – Sequência de peneiras.



Fonte: Autora (2022)

A primeira amostra a ser ensaiada é colocada na peneira superior, com tampa e fundo, e agitada manualmente em movimentos laterais e circulares alternados. O material retido (FIG.8) é removido da peneira para uma bandeja onde é pesado. O material do fundo da peneira é considerado com passante e deve ser adicionado na próxima peneira. Após passar por todas as peneiras, o material retido no fundo é pesado.

Figura 8 – Areia natural retida pelas peneiras.



Fonte: Autora (2022)

Todas as amostras passaram pelo mesmo processo e após o ensaio é preenchida a tabela granulométrica, conforme a TAB.7.

Tabela 7 – Fórmulas para preenchimento da tabela granulométrica

PENEIRAS (mm)	AMOSTRA A OU AMOSTRA B			% Acumulada Média
	MASSA INICIAL		massa seca da amostra	
	Massa retida	% Retida	% Acumulada	
9,5	peso retido na peneira 9,5	$\frac{\text{peso retido } 9,5}{\text{massa final}} \times 100$	% retido 9,5	$\frac{\% \text{ acumulada A} + \% \text{ acumulada B}}{2}$
6,3	peso retido na peneira 6,3	$\frac{\text{peso retido } 6,3}{\text{massa final}} \times 100$	% retido 6,3 + % acumulado 9,5	$\frac{\% \text{ acumulada A} + \% \text{ acumulada B}}{2}$
4,8	peso retido na peneira 4,8	$\frac{\text{peso retido } 4,8}{\text{massa final}} \times 100$	% retido 4,8 + % acumulado 6,3	$\frac{\% \text{ acumulada A} + \% \text{ acumulada B}}{2}$
2,4	peso retido na peneira 2,4	$\frac{\text{peso retido } 2,4}{\text{massa final}} \times 100$	% retido 2,4 + % acumulado 4,8	$\frac{\% \text{ acumulada A} + \% \text{ acumulada B}}{2}$
1,2	peso retido na peneira 1,2	$\frac{\text{peso retido } 1,2}{\text{massa final}} \times 100$	% retido 1,2 + % acumulado 2,4	$\frac{\% \text{ acumulada A} + \% \text{ acumulada B}}{2}$
0,6	peso retido na peneira 0,6	$\frac{\text{peso retido } 0,6}{\text{massa final}} \times 100$	% retido 0,6 + % acumulado 1,2	$\frac{\% \text{ acumulada A} + \% \text{ acumulada B}}{2}$
0,3	peso retido na peneira 0,3	$\frac{\text{peso retido } 0,3}{\text{massa final}} \times 100$	% retido 0,3 + % acumulado 0,6	$\frac{\% \text{ acumulada A} + \% \text{ acumulada B}}{2}$
0,15	peso retido na peneira 0,15	$\frac{\text{peso retido } 0,15}{\text{massa final}} \times 100$	% retido 0,15 + % acumulado 0,3	$\frac{\% \text{ acumulada A} + \% \text{ acumulada B}}{2}$
Fundo	peso retido no fundo	$\frac{\text{peso retido fundo}}{\text{massa final}} \times 100$	% retido fundo + % acumulado 0,15	$\frac{\% \text{ acumulada A} + \% \text{ acumulada B}}{2}$
MASSA FINAL	Σ peso retido nas peneiras			Σ % acumulada média
MÓDULO DE FINURA	$\frac{\Sigma \% \text{ acumulada média}}{100}$			

Fonte: Autora (2022)

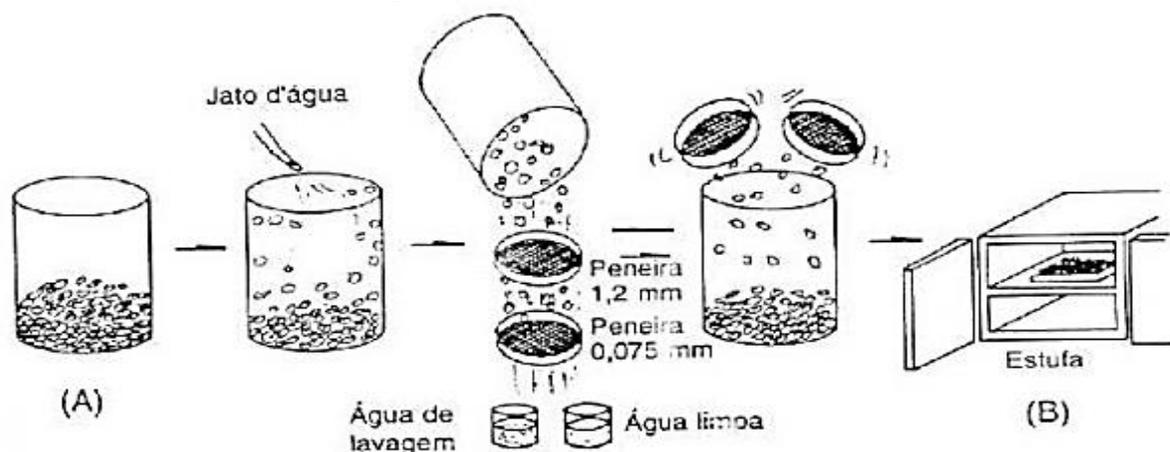
A partir da análise da composição granulométrica as dimensões máxima e mínima característica da areia foram definidas e obtém-se também o módulo de

finura. A distribuição granulométrica deve atender aos limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2022).

3.2.2 Material Pulverulento

O ensaio para determinar o material mais fino que a abertura da malha da peneira de 0,075 mm foi realizado com as amostras retiradas, de areia natural e areia artificial, tendo como parâmetro a norma com a massa mínima por amostra de 500 g. Para cada tipo de agregado ensaiado foi coletada duas amostras que serão denominadas como amostra tipo A e amostra tipo B. A FIG. 9 mostra a sequência do ensaio.

Figura 9 – Sequência do ensaio



Fonte: <http://4.bp.blogspot.com/-hTsNf88lsn8/UeUmYuU9z-I/AAAAAAAAABE8/dHCoEO2Ylws/s640/pulver.jpg>

As amostras de areia natural e areia artificial após serem secas em estufa por 24 horas, passam pela pesagem inicial em balança. Em seguida a amostra é colocada no recipiente, coberta de água é agitada até que o material pulverulento fique em suspensão.

Logo, é iniciada a lavagem da amostra sobre as peneiras, colocadas em ordem de diâmetro crescente, de baixo para cima. Adicionar uma segunda quantidade de água ao recipiente, agitar e verter a água sobre as peneiras de 1,2 mm e 0,075 mm.

A operação é realizada até que a água de lavagem fique clara. O agregado é lavado em estufa novamente e a massa final determinada.

Todas as amostras passaram pelo mesmo processo e a partir do ensaio de material pulverulento obtém-se teor de finos do agregado, que é determinado pela diferença entre as massas da amostra antes e depois da lavagem. O resultado, expresso em porcentagem, deve ser a média aritmética das duas amostras. A variação máxima para duas amostras é de 1,0% para agregado miúdo.

3.3 Resultados

3.3.1 Determinação da Composição Granulométrica – Areia Natural

A determinação da composição granulométrica da areia natural foi realizada conforme as determinações da NBR NM 248 (ABNT, 2003) e a respectiva curva granulométrica da areia natural utilizada. Na TAB. 8 são apresentados os resultados dos peneiramentos, realizados em duas amostras: A e B.

Tabela 8 – Resultado do ensaio de composição granulométrica da areia natural.

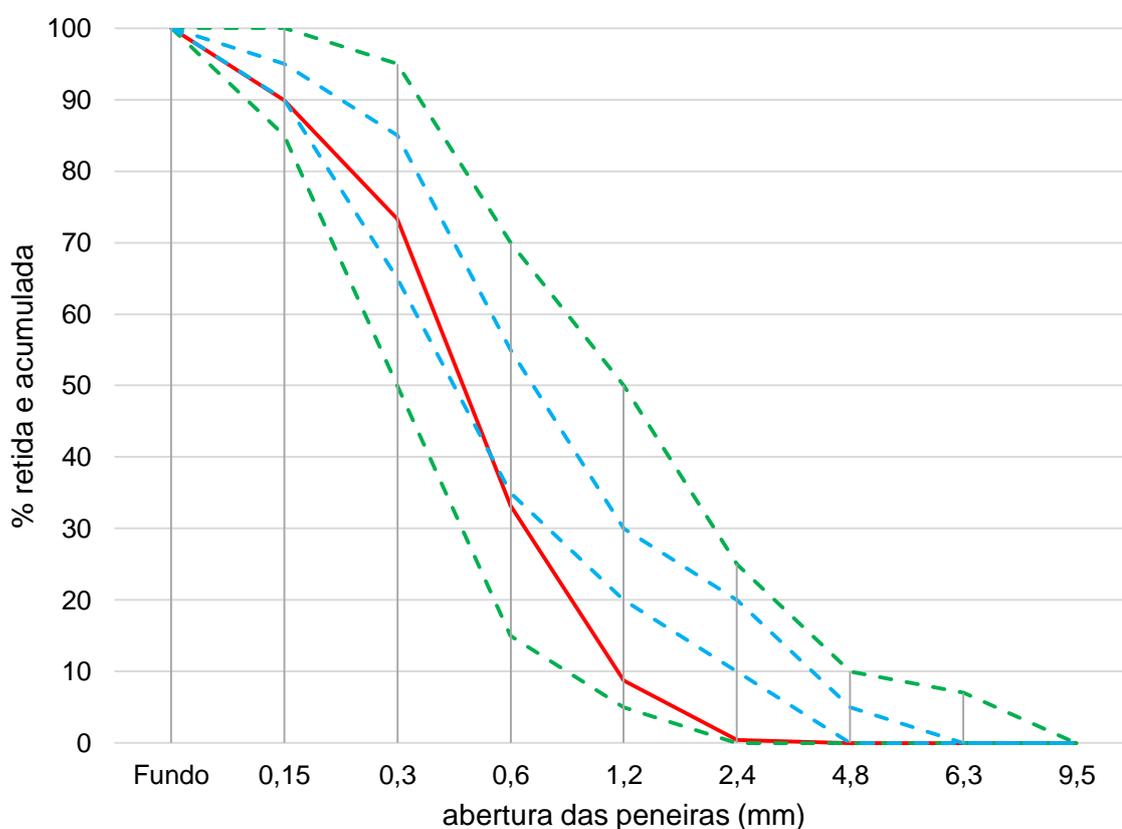
Peneiras (mm)	AMOSTRA A			AMOSTRA B			% Acumulada Média
	Massa inicial (g)	616,37		Massa inicial (g)	547,81		
	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	
9,5	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0
6,3	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0
4,8	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0
2,4	2,44	0,4	0,40	2,01	0,4	0,37	0,4
1,2	51,54	8,4	8,77	45,46	8,3	8,67	8,7
0,6	150,05	24,4	33,13	134,13	24,5	33,17	33,2
0,3	248,49	40,4	73,49	218,32	39,9	73,05	73,3
0,15	99,20	16,1	89,60	90,41	16,5	89,57	89,6
Fundo	64,07	10,4	100,00	57,11	10,4	100,00	100,0
Massa final (g)	615,79			547,44			205,0
Diferença (%)	0,09			0,07			
Módulo de finura	2,05			Dimensão máxima característica			2,40

Fonte: Autora (2022)

De acordo com a análise granulométrica das amostras constatou-se que a amostras de areia artificial apresentou dimensão máxima característica igual a 2,40 mm e o módulo de finura foi igual a 2,05. Esse agregado pode ser classificado conforme a NBR NM 248, como um agregado fino.

No GRAF. 1, está apresentada a curva granulométrica da areia natural, obtida com os resultados das porcentagens retidas acumuladas do material em cada peneira após o ensaio do peneiramento.

Gráfico 1 – Gráfico da curva granulométrica da areia natural.



- Curva granulométrica do agregado
- Limites Inferior: Zona Ótima
- Limites Superior: Zona Ótima
- Limites Inferior: Zona Utilizável
- Limites Superior: Zona Utilizável

Fonte: Autora (2022)

Os limites em verde são os limites utilizáveis, em azul são os limites ótimos e em vermelho a distribuição da areia natural analisado. Observou-se que a curva granulométrica ficou dentro dos limites da zona utilizável.

3.3.2 Determinação da Composição Granulométrica – Areia Artificial

A determinação da composição granulométrica da areia artificial foi realizada conforme as determinações da NBR NM 248 (ABNT, 2003) e a respectiva curva granulométrica da areia artificial utilizada. Na TAB. 9 são apresentados os resultados dos peneiramentos, realizados em duas amostras: A e B.

Tabela 9 – Resultado do ensaio de composição granulométrica da areia artificial.

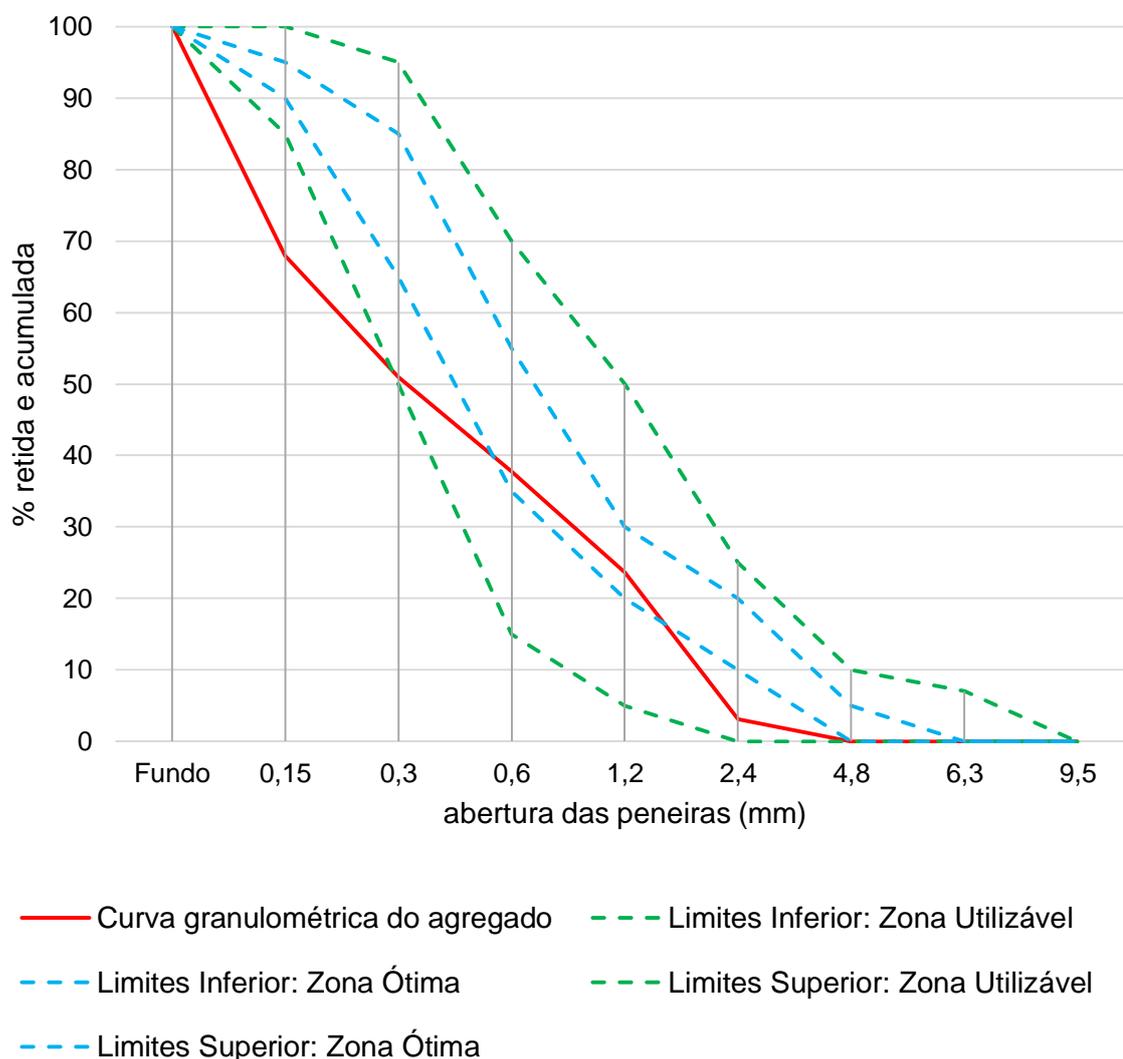
Peneiras (mm)	AMOSTRA A			AMOSTRA B			% Acumulada Média
	Massa inicial (g)	523,17		Massa inicial (g)	532,52		
	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	
9,5	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0
6,3	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0
4,8	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0
2,4	18,48	3,5	3,54	14,48	2,7	2,72	3,1
1,2	99,74	19,1	22,64	116,15	21,8	24,55	23,6
0,6	72,57	13,9	36,54	77,07	14,5	39,04	37,8
0,3	69,15	13,2	49,78	70,20	13,2	52,23	51,0
0,15	90,91	17,4	67,19	88,31	16,6	68,83	68,0
Fundo	171,30	32,8	100,00	165,87	31,2	100,00	100,0
Massa final (g)	522,15			532,08			184,0
Diferença (%)	0,19			0,08			
Módulo de finura	1,84			Dimensão máxima característica			2,40

Fonte: Autora (2022)

De acordo com a análise granulométrica das amostras constatou-se que a amostras de areia artificial apresentou dimensão máxima característica igual a 2,40 mm e o módulo de finura foi igual a 1,84. Esse agregado pode ser classificado conforme a NBR NM 248, como um agregado fino.

No GRAF. 2, está apresentada a curva granulométrica da areia natural, obtida com os resultados das porcentagens retidas acumuladas do material em cada peneira após o ensaio do peneiramento.

Gráfico 2 – Gráfico da curva granulométrica da areia artificial.



Fonte: Autora (2022)

Os limites em verde são os limites utilizáveis, em azul são os limites ótimos e em vermelho a distribuição da areia artificial analisado. Observou-se que a curva granulométrica ficou dentro dos limites da zona utilizável, apesar de ultrapassar os valores estabelecidos para a zona utilizável inferior na peneira 0,15 mm.

3.3.3 Determinação do teor de material pulverulento

A determinação do material fino que passa pela peneira de 75 μm por lavagem das areia natural e artificial é realizada conforme as determinações da NBR 16973 (ABNT, 2021). Na TAB. 10 e TAB. 11 são apresentados os resultados em

porcentagens de material fino, realizados em duas amostras A e B, para cada tipo de agregado.

Tabela 10 – Resultado do ensaio de material pulverulento da areia natural.

Amostra (n°)	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Material Fino (%)	
A	549,78	533,47	2,97	Média
B	584,55	569,37	2,60	2,8
Diferença entre as duas determinações (%)				0,2

Fonte: Autora (2022)

Tabela 11 – Resultado do ensaio de material pulverulento da areia artificial.

Amostra (n°)	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Material Fino (%)	
A	125,80	99,29	21,07	Média
B	127,33	101,68	20,14	20,6
Diferença entre as duas determinações (%)				0,5

Fonte: Autora (2022)

Os valores de porcentagem de material pulverulento foram:

- Areia Natural: 2,80%
- Areia Artificial: 20,60%

De acordo com os resultados em porcentagem de material fino, verifica-se que a areia natural atende os critérios de limites máximos aceitáveis da norma, enquanto a areia artificial ficou acima do valor de massa total determinado.

Pode-se concluir que a areia artificial é mais fina que a areia natural, produzindo um melhor acabamento no revestimento e também um menor índice de vazios na mistura, ajudando na diminuição da porosidade, elevando a massa específica do concreto. Porém, um agregado com partículas finas em grande quantidade, aumenta a área superficial, impedindo a aderência entre o agregado e a pasta de cimento e, conseqüentemente, necessita de uma quantidade de água e o consumo de cimento maior.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo produtivo para se obter a areia artificial é proveniente através do aproveitamento de parte do material de descarte na produção da brita. Já para areia natural, a extração precisa de atenção devido aos impactos ambientais, principalmente quando originário do leito dos rios.

De forma geral, é possível observar a procura por meios alternativos para solucionar os danos causados pelas atividades da construção civil. Busca-se, assim, propor a substituição da areia natural pela areia artificial e reduzir os impactos ambientais causados pela extração de areia natural, além da eliminação do passivo gerado pelas empresas produtoras de agregado.

Observou-se que as características da areia natural e artificial foram semelhantes em relação à granulometria. Ambas se enquadram nos limites para agregado miúdo determinado pela norma. A areia artificial apresentou maior uniformidade, possuindo grãos mais finos e maior padronização.

De acordo com os resultados do módulo de finura, verifica-se que a areia artificial possui um módulo de finura menor do que a da areia natural. Com isso, constata-se que a areia artificial proporciona um melhor acabamento, menor índice de vazios e uma maior trabalhabilidade ao preencher os vazios da pasta de cimento e água. Mas, pode ser prejudicial na qualidade do concreto, impedindo a aderência da pasta de cimento aos agregados, além de necessitar de um consumo maior de água, para melhorar a trabalhabilidade da mistura.

Ao analisar a quantidade de material pulverulento, a areia natural atende as especificações, enquanto a areia artificial, está acima do limite estabelecido pela norma. Entretanto, para tornar a areia artificial propícia para utilização diminuindo o teor de material pulverulento é indispensável o processo de lavagem, como forma de minimizar essa desvantagem.

Pode-se concluir que a areia artificial do estudos analisado, deve-se ser utilizada de maneira parcial com a areia natural, na dosagem de concretos. Porém, para melhor aceitação no mercado outras pesquisas devem ser realizadas como o estudo da relação desses agregados com as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM C125**. Specification for Concrete Aggregates, West Conshohocken, Estados Unidos, 2021.

ANDRÉ, F. P. **Dosagem Científica de Concretos Usando Areia de Brita com BétonlabPro® 3**. Projeto de Graduação (Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/62981020-Dosagem-cientifica-de-concretos-usando-areia-de-brita-com-betonlabpro-3.html>>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Apostila de ensaios de concretos e agregados**. 3. ed. Curitiba: ABCP, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**. Concreto de Cimento Portland – Preparo, Controle, Recebimento e Aceitação – Procedimento. 4. ed. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**. Agregados para concreto – Requisitos. 4. ed. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7225**. Materiais de pedra e agregados naturais. 1. ed. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935**. Agregados – Terminologia. 3. ed. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**. Agregados - Determinação da composição granulométrica. 1. ed. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16973**. Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. 1. ed. Rio de Janeiro, 2021.

Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção. ANEPAC - **História da Areia e Brita**. Disponível em: <<https://www.anepac.org.br/agregados/areia-e-brita>>. Acesso em: 14 out. 2022.

BASTOS, S. R. B. **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial à areia fina para a produção de concretos convencionais**. 2002. Dissertação: Mestre em Engenharia Civil (Construção Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/84274/212200.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

BUENO, R. I. S. **Aproveitamento da areia gerada em obra de desassoreamento – Caso Rio Paraíba/SP**. 2010. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia) – Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2010.

CARVALHO, A. H. Z.; FREITAS, J. C. F.. **Estudo comparativo da areia industrial em substituição à areia natural em concretos por meio de ensaios de caracterização física do agregado**. 2017. Trabalho de Conclusão (Curso em Engenharia Civil) – Faculdades Integradas de Caratinga, Caratinga, 2017.

Disponível em: <

<https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/460/1/Jos%c3%a9%20Clemente%20CD.pdf>>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

CAVALCANTI V. M. M.; PARAHYBA, R. E. R. **A indústria de agregados para construção civil na região metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza: DNPM, 2011.

Disponível em: < <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/a-industria-de-agregados-para-construcao-civil-na-regiao-metropolitana-de-fortaleza>>.

Acesso em: 04 de novembro de 2022.

FONSECA, C. A. F. J. **Mercado de Agregados no Brasil**. XX – Jornada de Iniciação Científica-CETEM. 2012. Disponível em: <

<http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/69/1/CARLOS%20ALBERTO%20FELIX%20FONSECA%20JUNIOR.pdf>>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

GRUPO HOBI. Disponível em: <<http://www.grupohobi.com.br/mineracao/>>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

HAGEMANN, S. E. **Apostila de Materiais de Construção Básicos**. Instituto Federal Sul-Rio-Grandense. Universidade Aberta Do Brasil. Programa de Fomento ao uso das Tecnologias de Comunicação e Informação nos Cursos de Graduação – TICS. Ministério da Educação. 2011. Disponível em: <

http://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/_pdf/apostila_mcb.pdf>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de cimento Portland**. Cap. 29. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto: IBRACON. 2010. Disponível em: <

<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc48.pdf>>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

HONÓRIO, O. **Estudo de aumento de capacidade da planta de britagem da Usina I de Germano**. 2010. Monografia de Pós-graduação (Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010. Disponível em:

<<https://pt.scribd.com/doc/87171242/Estudo-de-Aumento-de-Capacidade-Da-Planta-de-Britagem-Da-Usina-i-de-Germano-Samarco-Mineracao-Sa>>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

JESUS L. M. et al. **Influência da granulometria e formato de partículas de agregados miúdos originados da britagem de rochas em substituição à areia natural na confecção de matriz cimentícia**. 2015. Anais do 57º Congresso Brasileiro do Concreto - CBC2015 – 57CBC. Bonito: IBRACON, 2015. Disponível em: <

<https://portal.ifba.edu.br/eunapolis/textos-fixos-campus-eunapolis/informacoes-cursos/repositorio-engenharia-civil/publicacoes/artigo-57cbc1057.pdf>>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

KAEFER, L. F. **A Evolução do Concreto Armado**. São Paulo, 1998. Disponível em: < <https://www.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/HistoriadoConcreto.pdf>>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

KULAIF, Y. **Areia de construção**. Sumário mineral 2014. São Paulo: DNPM, 2014. Disponível em: <>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

LIEBERKNECHT, G. **Caracterização tecnológica da areia artificial produzida na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul**. 2011. Projeto Integrado de Mineração II do Curso Superior de Tecnologia em Mineração. Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2011. Disponível em: < <https://cursos.unipampa.edu.br/cursos/tecnologiaemmineracao/files/2019/10/caracterizacao-tecnologica-da-areia-artificial-produzida-na-regiao-noroeste-do-estado-do-rio-grande-do-sul.pdf>>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

LUZ, A. B.; ALMEIDA, S. L. M. **Manual de Agregados para Construção Civil**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. Disponível em: < <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2043>>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

MASO, G. P. **Viabilidade econômica do uso de pó de brita na dosagem do concreto**. 2022. Trabalho de Conclusão (Curso de Engenharia Civil) – Faculdade FASIFE, Cuiabá, 2022. Disponível em: < http://104.207.146.252:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/214/TCC%20II_GABRIEL%20CONFIGURADO%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MENOSSE, R. T. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. 2004. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004. Disponível em: <>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto [recurso eletrônico]**. Tradução: Ruy Alberto Cremonini. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NEVILLE, A. M.; Brooks, J. J. **Tecnologia do concreto [recurso eletrônico]**. Tradução: Ruy Alberto Cremonini. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

NOGUEIRA, G. R. F. **A extração de areia em cursos d'água e seus impactos: Proposição de uma matriz de interação**. 2016. Trabalho Final (Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016. Disponível em: < https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC_Vers%c3%a3oFinal.pdf>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

PIMENTA, D. S. **Produção de concreto convencional com a utilização de pó de brita**. Trabalho de Conclusão (Curso de Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

QUARESMA, L. F. **Produto 22 – Agregados para construção civil**. Relatório técnico 31 – Perfil de areia para construção civil. Banco Mundial. 2009. Disponível em: <
http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/448620/P22_RT31_Perfil_de_areia_para_construcao_civil.pdf/2e777d92-aa4d-6304-0b41-b74c12e63d93?version=1.0>.
Acesso em: 04 de novembro de 2022.

SANTOS, T. F. **Substituição da areia natural por areia de britagem de rochas basálticas para argamassas de assentamento**. Monografia (Curso de Engenharia Civil) – Centro Universitário Univates, Lajeado, 2017. Disponível em: <
<https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/e95d241f-17a2-4ffd-a3a1-d85af96e0728/content>>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

SILVA, F. C. **Estudo de aproveitamento de areia industrial em materiais cimentício**. Trabalho de Conclusão (Curso de Engenharia de Minas) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, 2018. Disponível em: <
<https://www.eng-minas.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/170/2018/05/Fabiana-Cabrine-da-Silva.pdf>>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

SILVA, G. M. A.; OLIVEIRA, G. L. **Análise experimental de concreto à partir da variação: Areia Industrial – Areia Natural**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga. Caratinga, 2016. Disponível em: <
<http://dspace.doctum.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/623/5%20-%20TCC.pdf?sequence=5&isAllowed=y>>. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

SILVA, V. T. **Estudo da substituição da areia natural por pó de pedra na produção de concreto convencional**. 2018. Monografia (Departamento de Engenharias) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Angicos, 2018. Disponível em: <
https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/2479/2/ValdeirTS_MONO.pdf>.
Acesso em: 04 de novembro de 2022.

SOBRAL, H. S. **Agregados para Concreto**. Estudo Técnico ET-15.c. 6. ed. São Paulo: ABCP, 2000.

TEODORO, S. B. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural**. Trabalho Final (Curso do Curso de Engenharia Civil) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013. Disponível em: <
<https://www2.ufjf.br/engenhariacivil/files/2012/10/TCC-AVALIA%c3%87%c3%83O-DO-USO-DA-AREIA-DE-BRITAGEM-NA-COMPOSI%c3%87%c3%83O-DO-.pdf>>.
Acesso em: 04 de novembro de 2022.