

**CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**HENRIQUE DOMINGOS CORREIA  
JOSÉ MARIA ALECRIM DA SILVA NETO  
LUIZ CLAUDIO SILVA GONZAGA DE SOUZA  
RAFAEL HENRIQUE LEITE DA SILVA**

**A ESCASSEZ DE AREIA NO MUNDO E O SEU IMPACTO  
NA ENGENHARIA CIVIL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

**RECIFE  
2022**

**HENRIQUE DOMINGOS CORREIA  
JOSÉ MARIA ALECRIM DA SILVA NETO  
LUIZ CLAUDIO SILVA GONZAGA DE SOUZA  
RAFAEL HENRIQUE LEITE DA SILVA**

**A ESCASSEZ DE AREIA NO MUNDO E O SEU IMPACTO  
NA ENGENHARIA CIVIL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Disciplina TCC II do Curso de Engenharia Civil do  
Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA, como parte  
dos requisitos para conclusão do curso.

Orientador(a): Prof. Dr<sup>a</sup> Elaine Cavalcanti Rodrigues Vaz.

Coorientador(a): Prof. Dr. Paulo Fernando Silva Souza.

RECIFE  
2022

Ficha catalográfica elaborada pela  
bibliotecária: Dayane Apolinário, CRB4- 2338/ O.

- E74 A escassez de areia no mundo e o seu impacto na engenharia civil: uma  
revisão bibliográfica / Henrique Domingos Correia [et al]. - Recife: O  
Autor, 2022.  
55 p.
- Orientador(a): Dra. Elaine Cavalcanti Rodrigues Vaz
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário  
Brasileiro – UNIBRA. Bacharelado em Engenharia Civil, 2022.
- Inclui Referências.
1. Escassez. 2. Areia. 3. Impactos. 4. Extração. 5. Construção civil. I.  
Silva Neto, José Maria Alecrim da. II. Souza, Luiz Claudio Silva Gonzaga  
de. III. Silva, Rafael Henrique Leite da. IV. Centro Universitário Brasileiro -  
UNIBRA. V. Título.

CDU: 624

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus e aos nossos pais, que permitiram e apoiaram a conclusão dessa jornada.

Aos nossos familiares e amigos, que torceram pelo nosso sucesso.

Aos professores que nos incentivaram, pela dedicação em nos ensinar e possibilitar o aprimoramento dos nossos conhecimentos.

Aos colegas que nos ajudaram no decorrer do curso, pela troca de conhecimentos.

E a todos que direta ou indiretamente ajudaram ou torceram pela a nossa conclusão do curso.

## RESUMO

Devido ao desenfreado uso da areia pela sociedade, principalmente por parte da construção civil na confecção de concreto, argamassa, entre outros; a existência da areia está ameaçada no contexto mundial; embora abundante na superfície terrestre, a areia utilizada pela construção civil corre risco de “escassez”, pelo fato de ser material bastante consumido; não renovável e por grande parte de suas reservas estarem em praias, dunas e desertos, e não possuírem propriedades adequadas para o fim a que elas são exigidas, seja pela granulometria inadequada, ou por reagirem à presença de outros materiais. Visto isso, medidas devem ser pensadas para a diminuição da enorme demanda do bem natural e da degradação do meio ambiente na busca do agregado. A construção civil como um dos maiores consumidores desse material; é um dos maiores responsáveis por essa situação e dos mais afetados, por isso busca alternativas à utilização da areia no concreto, com o intuito de garantir o desenvolvimento socioambiental, sem prejuízo a qualidade dos materiais; uma das alternativas mais utilizadas para essa substituição é o pó de pedra, material proveniente da britagem de pedras maiores para a obtenção de brita; a sua escolha se dá pelo fato de que, apesar de existirem distinções entre os dois materiais (areia de origem natural e o pó de pedra), estudos indicam que as características em comum entre os dois materiais, possibilitam a substituição parcial ou total entre eles.

Palavras-chave: Escassez; Areia; Impactos; Extração; Construção civil.

## **ABSTRACT**

Due to the unbridled use of sand by society, mainly by civil construction in the manufacture of concrete, mortar, among others; the existence of sand is threatened in the world context; although abundant on the earth's surface, the sand used by civil construction is at risk of "scarcity", due to the fact that it is a very consumed material; non-renewable and because most of its reserves are located on beaches, dunes and deserts, and do not have adequate properties for the purpose for which they are required, either due to inadequate granulometry or because they react to the presence of other materials. In view of this, measures must be considered to reduce the enormous demand for the natural good and the degradation of the environment in the search for the aggregate. Civil construction as one of the biggest consumers of this material; it is one of the most responsible for this situation and the most affected, so it seeks alternatives to the use of sand in concrete, in order to guarantee socio-environmental development, without prejudice to the quality of materials; one of the most used alternatives for this replacement is stone powder, material from the crushing of larger stones to obtain crushed stone; Its choice is due to the fact that, although there are distinctions between the two materials (sand of natural origin and stone dust), studies indicate that the characteristics in common between the two materials allow partial or total replacement between them.

**Keywords:** Scarcity; Sand; Environment Impacts; Extraction; Civil Construction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Concretagem do piso do aeroporto de Bologna, Itália.....	18
Figura 2 – Pirâmide de Quéops em primeiro plano, Egito .....	19
Figura 3 – Vista do Interior do Panteão, Roma.....	20
Figura 4 – Arranha-céus da cidade de Nova York.....	21
Figura 5 – Trecho do Rio Iguaçu no município de Umbará, Paraná .....	22
Figura 6 – Comparativo entre um caminhão de mineração e um SUV .....	23
Figura 7 – Vista aérea da cidade de Hong Kong.....	25
Figura 8 – Impactos da dragagem da areia no ambiente marinho.....	26
Figura 9 – Burj Khalifa, Dubai .....	27
Figura 10 – As areias dos desertos não são apropriadas para o concreto .....	27
Figura 11 – Uso de máquinas na expedição de areia.....	28
Figura 12 – Erosão de um trecho da faixa costeira do estado da Califórnia .....	29
Figura 13 – Rio Jacuí, na Região Metropolitana de Porto Alegre .....	31
Figura 14 – Áreas de extração ilegal de areia no interior do Rio de Janeiro .....	32
Figura 15 – Extração ilegal de areia em uma APP em Igarassu, Pernambuco.....	33
Figura 16 – Dados relativos à produção de areia no Brasil .....	33
Figura 17 – Operações ilegais de extração de areia, Indonésia .....	34
Figura 18 – Armazenamento de pó de pedra no pátio de uma pedreira.....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo .....	36
Tabela 2 – Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material.....	36
Tabela 3 – Limites máximos para a expansão devida à reação álcali-agregado e teores de cloretos e sulfatos presentes nos agregados.....	38
Tabela 4 – Interferência dos agregados miúdos nas propriedades do concreto .....	40
Tabela 5 – Resultados de ensaios de pozolanicidade e exigências da NBR-12653.	47

## LISTA DE SIGLAS

A.C.	Antes de Cristo.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ABRAINCC	Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias.
ANEPAC	Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção.
APP	Área de preservação Permanente.
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedade Americana de Testes e Materiais).
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente, inicialmente era a denominação de Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos.
EUA	Estados Unidos da América.
iDiv	<i>German Centre for Integrative Biodiversity Research</i> (Centro Alemão de Pesquisa Integrativa em Biodiversidade).
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Padronização).
MPa	Mega Pascal.
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora.
NM	Norma Mercosul.
NPS	<i>Naval Postgraduate School</i> (Escola de Pós-graduação Naval).
ONU	Organização das Nações Unidas.
PIB	Produto Interno Bruto.
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.
PROFÁGUA	Programa de pós-graduação stricto sensu em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.
RMPA	Região Metropolitana de Porto Alegre.
SUV	<i>Sport Utility Vehicle</i> (Veículo Utilitário Esportivo).
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
UNFPA	<i>United Nations Population Fund</i> (Fundo de População das Nações Unidas).
USGS	<i>United States Geological Survey</i> (Serviço Geológico dos Estados Unidos).
USP	Universidade de São Paulo.

## LISTA DE ABREVIATURAS

Art.	Artigo.
máx.	Máximo.
mín.	Mínimo.

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Por cento.
mm	Milímetro.
III	3.
XVIII	18.
km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado.
µm	Micrómetro.
Kg	Quilograma.
m <sup>3</sup>	Metro cúbico.
Ø	Diâmetro.
ppm	Parte por milhão.
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de silício.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de alumínio.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de ferro III.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	16
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	17
<b>3.1 Objetivo Geral</b> .....	17
<b>3.2 Objetivos específicos</b> .....	17
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
<b>4.1 AREIA</b> .....	18
4.1.1 Conceito .....	18
4.1.2 Histórico .....	18
4.1.3 Fundação do concreto .....	20
4.1.4 Uso intensivo de areia para construir cidades .....	21
4.1.5 Mudando a paisagem .....	22
4.1.6 Do uso de equipamentos .....	23
4.1.7 Interferência sobre a fauna .....	23
4.1.8 Uso e ocupação do solo .....	24
<b>4.2 A OBTENÇÃO DO AGREGADO E SUA IMPORTÂNCIA PARA O MUNDO GLOBALIZADO</b> .....	24
4.2.1 Crescimento da demanda.....	24
4.2.2 Consumo crescente.....	25
4.2.3 Impactos ambientais e sociais .....	25
<b>4.3 EXPLORAÇÃO ESPECÍFICA POR TIPO DE GRÃO</b> .....	27
<b>4.4 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA</b> .....	28
4.4.1 Processos ambientais.....	29
<b>4.5 EFEITOS DA EXTRAÇÃO ILEGAL E ESCASSEZ NO BRASIL</b> .....	30
4.5.1 Degradação ambiental.....	30

4.5.2	Resíduos e perda de biodiversidade por extração irregular .....	30
4.5.3	Ações criminosas por meio de facções e milícias .....	31
4.5.4	Crimes ambientais no Nordeste.....	32
4.5.5	Dados gerais nacionais do agregado.....	33
<b>4.6</b>	<b>AGREGADOS .....</b>	<b>34</b>
4.6.1	Definição .....	34
4.6.2	Classificação .....	34
4.6.2.1	A origem:.....	35
4.6.2.2	Às dimensões das partículas:.....	35
4.6.2.3	Ao peso específico aparente: .....	35
4.6.3	Caracterização .....	35
4.6.3.1	Granulometria - Distribuição granulométrica.....	35
4.6.3.2	Substâncias nocivas.....	36
4.6.3.3	Durabilidade .....	37
4.6.3.4	Massa específica aparente.....	38
4.6.3.5	Massa específica absoluta .....	39
4.6.3.6	Pozolanicidade .....	39
4.6.3.7	Reatividade potencial álcali-agregado .....	39
4.6.3.8	Composição química por difração de raios X.....	39
4.6.4	Funções.....	40
<b>4.7</b>	<b>CONCRETO .....</b>	<b>41</b>
4.7.1	Definição .....	41
4.7.2	Uso e importância para construção civil.....	41
4.7.3	Composição.....	41
4.7.4	Agregado miúdo no concreto.....	42
<b>4.8</b>	<b>PÓ DE PEDRA.....</b>	<b>43</b>
4.8.1	Definição .....	43

4.8.2	Uso na construção civil.....	43
4.8.3	Impactos ambientais.....	44
4.8.4	Influência do pó de pedra no concreto.....	44
4.8.4.1	Distribuição granulométrica.....	44
4.8.4.2	Teor de material pulverulento.....	45
4.8.4.3	Presença de material orgânico.....	46
4.8.4.4	Resistência à compressão.....	46
4.8.4.5	Abatimento do concreto ( <i>slump test</i> ).....	46
4.8.4.6	Consumo de água.....	46
4.8.4.7	Consumo do cimento.....	47
4.8.4.8	Pozolanicidade.....	47
4.8.5	Comparativo com a areia no concreto estrutural.....	48
4.8.6	Benefícios da substituição.....	49
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>50</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Conforme Griffith (1980) e Nascimento (2001), a mineração é uma das atividades que mais impactam na superfície terrestre, ocasionando impactos ambientais; afetando o solo, o subsolo, o ar e os cursos d'água; tanto no local da mineração, quanto ao redor; impactos esses que são sentidos por toda população (apud LELLES, 2004, p1).

Segundo Pereira e Almeida (2004), a areia extraída dos leitos dos rios representa cerca de 90% de toda a produção nacional. Esse tipo de exploração ocasiona grandes impactos ambientais, além de potencialmente poder gerar problemas sanitários, visto que as cavas provenientes desse tipo de extração podem se tornar ambientes para a criação e proliferação de mosquitos, como por exemplo, o *aedes aegypti*, mosquito transmissor de doenças como a dengue, a chikungunya, a zika e a febre amarela (ALMEIDA e SAMPAIO, 2002).

Impactos que têm levado cada vez mais aos órgãos de fiscalização ambiental responsáveis, coibir esse tipo de atividade (LIMA, 2005).

A indústria da construção civil é um dos principais setores da economia nacional, segundo a ABRAIN (2021); ela é responsável por aproximadamente 10% dos empregos, direta ou indiretamente, e por cerca de 7% do PIB nacional. Quanto à utilização de recursos naturais, o setor da construção civil é um dos setores de maior demanda, sendo responsável por consumir de 20 a 50% de todos os recursos naturais consumidos pela sociedade (MESQUITA, 2012). De acordo com o Departamento Nacional de Preço Mineral (2002, apud LELLES, 2004, p1), cerca de 80% da areia produzida no país é utilizada pela construção civil.

Um dos materiais mais consumidos pela construção civil é o concreto; ele é utilizado em diversas partes do setor, geralmente em grandes quantidades, e que tem as suas matérias-primas encontradas diretamente na natureza (MENOSSI, 2004).

A areia e a pedra britada representam cerca de 80% do volume do concreto, ambas são consideradas como agregados na mistura (agregado miúdo e agregado graúdo, respectivamente); e tem origem da extração de leitos de rios, jazidas ou provenientes de britagens; cuja extração ocasiona graves prejuízos ambientais e de difícil reparação; além de serem materiais de exploração limitada, quando um jazida se esgota, é necessário procurar outra; isso resulta em locais de extração cada vez

mais distantes dos centros consumidores, o que resulta na elevação de custos com dragagem nos leitos dos rios e/ou no custo do transporte do material; pois de acordo com o Departamento Nacional de Preço Mineral (2002, apud LELLES, 2004, p1), o transporte é responsável por 2/3 do preço final da areia.

Visto isso alternativas de substituição desses agregados de origem natural, por materiais alternativos (resíduos de construções, resíduos de demolições, resíduos da produção de outros materiais, entre outros) se tornam cada vez mais necessárias, pelo fato dessa atual forma de obtenção desse material está se tornando progressivamente menos atrativos para as empresas extrativistas e consumidoras; seja pelo aumento dos custos ou por barreiras impostas por questões ambientais.

## **2 METODOLOGIA**

Este trabalho foi elaborado a partir da revisão bibliográfica de trabalhos acadêmicos (TCC, Teses e Dissertações), artigos científicos, livros, reportagens, leis e normas técnicas; dos quais foram feitas leituras, análises e interpretações dos conteúdos dos mesmos e explanados o nosso entendimento sobre o tema.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Este trabalho a partir de uma revisão bibliográfica de estudos e reportagens, tem o objetivo geral de evidenciar sobre a temática de escassez de areia e da substituição da areia como agregado miúdo na confecção do concreto, pelo pó de pedra, como alternativa para esse problema.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Estudar os impactos causados pela crescente demanda de extração de areia da natureza.
- Analisar as características e propriedades da areia, e a sua influência no comportamento do concreto.
- Avaliar a influência da adição do pó de pedra no concreto.
- Verificar a viabilidade dessa substituição.
- Fazer um comparativo entre o uso da areia e do pó de pedra no concreto, e apresentar os benefícios dessa substituição.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 AREIA

#### 4.1.1 Conceito

A areia é um material de origem mineral composto basicamente por dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), também conhecida como sílica; a sua formação é resultante da união de finas partículas geradas a partir da fragmentação de rochas, ocorridas devido à erosão, a ação das águas ou dos ventos (MATERIOTECA, 2016).

No campo da construção civil; entre outros, ela é utilizada na execução de aterros, como matéria-prima na fabricação de vidros, argamassas e concreto (Figura 1), e como componentes para as camadas de rodovias.

Figura 1 – Concretagem do piso do aeroporto de Bologna, Itália



Fonte: ANEPAC (2009).

#### 4.1.2 Histórico

De acordo com Zanette (s.d.), os dados mais antigos relativos ao uso da areia para construção civil remontam ao começo do período Neolítico, no sítio arqueológico Tell Mureybet, localizado na margem esquerda do rio Eufrates, na Síria; que é o povoamento mais antigo conhecido (8600 a 7300 A.C.); e onde foram encontradas casas construídas com areia comprimida. Por volta de 6500 A.C., habitantes de Çayönü Tepesi povoado Neolítico situado no que é hoje o sul da Turquia; utilizavam argamassa de cal para construir pisos do tipo “*terrazzo*” (terraço). No Egito, registros apontam o emprego de argamassas de areia e aglomerante (inicialmente barro e posteriormente gipsita ou cal) na construção de pirâmides, como na primeira delas, a pirâmide de Djoser, construída durante a 3ª dinastia egípcia (2630 a 2611 A.C.), por ordem do faraó Djoser e projetada por seu Vizir Imhotep; ou na maior delas, a pirâmide de Quéops (Figura 2).

Figura 2 – Pirâmide de Quéops em primeiro plano, Egito



Fonte: ANEPAC (2009).

Os gregos também utilizavam argamassas em suas construções, e são a eles atribuídas a ideia de adicionar cinza vulcânica o que tornar os concretos bastante duros, um exemplo disso é o aqueduto de Mégara, construído em 500 A.C., onde um de seus reservatórios ainda encontra-se preservado. Durante o Século III A.C. os romanos aperfeiçoaram a argamassa grega, consolidando o uso da areia como agregado e do cimento pozolânico como ligante, avanço sem precedentes nas técnicas construtivas. Eles desenvolveram uma técnica denominada "*opus caementicium*" (trabalho de cimento, também chamada de cimento romano), que era uma mistura dosada de cal, areia, cascalho, materiais de origem vulcânica (mistura de argilas e fragmentos de rocha) e de origem orgânica (leite, gordura e sangue). O "*opus caementicium*" resultava enquanto fresco, em um material com alta plasticidade e fácil de moldar e quando endurecido, em um material resistente e durável; permitido a construção de formas arquitetônicas variadas, como arcos e abóbodas; e permitindo com que construções daquela época chegassem aos dias atuais ainda relativamente preservadas, como por exemplo, o Panteão (Figura 3) cuja a abóbada mede 43 metros de diâmetro e o Coliseu que se encontrava sobre um terreno de fraco suporte geotécnico graças ao ciclópico de 12 metros de profundidade (ZANETTE, s.d.).

Figura 3 – Vista do Interior do Panteão, Roma



Fonte: ANEPAC (2009).

#### 4.1.3 Fundação do concreto

Conforme Zanette (s.d.), apesar de não entenderem de maneira científica as reações químicas ocorridas no concreto, os romanos estabeleceram empiricamente fórmulas (traço) para a confecção da argamassa, de modo a reduzir as variações da eficiência do material diante de diferentes aplicações. Na obra "*De architectura*" (Sobre arquitetura), Vitruvius descreve a relação para se obter uma composição de mistura correta de argamassa, onde detalha "Após a extinção da cal, a argamassa será misturada, de modo que partes da areia, se for fóssil, sejam despejadas na cal; se for rio ou mar, adicione duas partes de uma de cal". A partir do século XVIII, incentivados pela necessidade de obras em locais marítimos e fluviais, começaram a surgir importantes desenvolvimentos científicos nos aglomerantes. Em 1824, o químico britânico Joseph Aspdin descobriu um ligante que possibilitou a fabricação de argamassas e concretos com alta plasticidade e resistência, denominado de Cimento Portland. A partir da descoberta de Aspdin, o aglomerante evoluiu, chegando nos dias atuais como um material bastante utilizado principalmente na confecção de argamassa e de concreto.

#### 4.1.4 Uso intensivo de areia para construir cidades

A argamassa e o concreto ocupam lugar de destaque como materiais na sociedade moderna. Graças às características técnicas das argamassas foi e ainda é possível construir edifícios (Figura 4) obras de infraestruturas, e diversas outras estruturas em uma escalas inimaginável anteriormente (ZANETTE, s.d.).

Figura 4 – Arranha-céus da cidade de Nova York



Fonte: Mustafa (2018).

Segundo Zanette (s.d.), a areia pode ser utilizada sozinha ou associada a outros materiais, ela é uma das matérias-primas do concreto, material que esteve e está presente na construção de prédios, monumentos, obras de saneamento, obras de pavimentação entre outros; e que o seu uso permitiu a construção e evolução de sociedades; melhorando a qualidade de vida e auxiliando no seu desenvolvimento. A areia é um dos bens mais consumidos pelo homem e em conjunto com a brita representa a mais importante indústria de mineração mundial quanto se refere ao volume, representando mais de 60% da produção mineral do mundo. Ao longo da história, o homem modificou os aglomerantes e outras matérias-primas da argamassa e do concreto; porém em relação a areia, ela sempre esteve presente como componente fundamental para as suas confecções, não sendo encontrado nenhum material com características técnicas e econômicas capazes de a substituir. Atualmente, praticamente todas as nações utilizam areia e o seu consumo per capita está diretamente relacionado à qualidade de vida de seus habitantes, quanto maior o consumo de areia per capita de uma sociedade, melhores são as suas condições de vida; por outro lado, quanto menor esse tipo de consumo, pior a qualidade de vida.

No futuro, apesar de toda a evolução tecnológica vivida pela famosa Instituição Americana USGS, no artigo intitulado "*Natural – Foundation of America's Future*" (Natural – Fundação do Futuro da América), estima que o consumo de areia aumentará significativamente nos Estados Unidos pelo menos nas próximas duas décadas; não sendo diferente no restante do mundo, o UNFPA estima que a população urbana passará de 3,3 bilhões em 2008 para 4,9 bilhões em 2030, com isso, será preciso muita areia para garantir a sobrevivência digna nas cidades.

Nos próximos anos, o crescente consumo demandará milhões de toneladas de areia, o que causará prejuízos ambientais como; prejuízo da qualidade do ar, devido a gases do motor e partículas sólidas, pelo uso de máquinas em diferentes operações; aumento da concentração de partículas suspensas em cursos d'água; contaminação do curso de água por resíduos de máquinas utilizadas em diferentes tipos de operações; e alteração do canal original dos córregos, devido a equipamentos de extração de areia nos leitos dos rios (NOGUEIRA, 2016).

#### 4.1.5 Mudando a paisagem

Atividades intensivas próximas a rios e bacias fere drasticamente a geografia do local a curto e a longo prazo, fazendo que toda a área se modifique, como no exemplo da Figura 5; em alguns casos, essas modificações podem ser permanentemente, sendo às vezes necessário a intervenção humana, visto que a própria biologia do ambiente não consegue se recuperar dos impactos provocados.

Figura 5 – Trecho do Rio Iguaçu no município de Umbará, Paraná



Fonte: Moletta (2005).

Alguns rios sofrem com a degradação decorrente da extração de areia, como por exemplo, no rio Iguaçu, no estado do Paraná, onde existem pontos com depósito de areia e erosão em outros.

#### 4.1.6 Do uso de equipamentos

A facilidade de uso de equipamentos e transporte afeta significativamente a paisagem local. Máquinas cada vez maiores (Figura 6) e mais poluentes têm o poder de destruição e impactos mais intensos na vegetação e no solo. Máquinas menores estão cada vez mais sendo substituídas pelo fato do seu custo em relação a máquinas relativamente maiores, levando em conta a quantidade de material que se pode levar em relação ao número de viagens que a atividade demanda.

Figura 6 – Comparativo entre um caminhão de mineração e um SUV



Fonte: Oficina Brasil Virtual (2010).

#### 4.1.7 Interferência sobre a fauna

A extração de areia, principalmente a de maneira ilegal pode causar a fuga ou mudança de hábitos da vida silvestre ao redor do local de extração, principalmente devido a retirada da vegetação; modificação do solo; aumento ou a introdução de ruídos provocados principalmente pelo motor da draga de sucção, caminhões ou tratores; trepidações causadas pela movimentação de veículos de carga e transporte; aumento do risco de acidentes de trânsito; e poluição do ar e da água (MATERIOTECA, 2016).

#### 4.1.8 Uso e ocupação do solo

A extração de areia, principalmente a de maneira ilegal pode acarretar em diversos prejuízos ao solo, como por exemplo, alterações no nível do lençol freático; subsidência do terreno (rebaixamento da superfície do terreno devido à extração de água, petróleo e gás do subsolo); inativação de poços de captação de água no entorno do local de extração; remoção de vegetação, inclusive em APP; e alteração dos ecossistemas locais (MATERIOTECA, 2016).

### **4.2 A OBTENÇÃO DO AGREGADO E SUA IMPORTÂNCIA PARA O MUNDO GLOBALIZADO**

A areia é um dos materiais mais consumidos pelo homem, sendo utilizada para os mais diversos fins; destacando-se entre eles aqueles relacionados à construção civil, seja pelos mais diversos usos, ou pelos grandes volumes consumidos (ZANETTE, s.d.).

Segundo Beiser (2018), em meio submerso a areia é mais facilmente extraída, desde que não haja contato com a terra em um método conhecido como “*overburden*” (ou capeamento, todo o material que estiver acima da jazida que seja solo ou rocha). Em terra, a areia é geralmente extraída em poços abertos, às vezes necessitando o uso de explosivos e máquinas para quebrar rochas de arenito.

#### 4.2.1 Crescimento da demanda

Com o imenso crescimento demográfico e a hegemonia dos grandes centros urbanos, a demanda pela areia aumentou mais de 300%, tornando-se o bem natural mais consumido no mundo, depois da água. A procura incansável pela areia não gera consequências apenas na construção civil, mas como em toda a sociedade moderna; saques em minas de extração do agregado, regiões inabitadas por falta do mesmo, cenário este que repercute pelo mundo todo. Na maioria das vezes, não colocamos areias do deserto em nosso serviço. Os grãos encontrados nos desertos são em sua maioria redondos demais para serem usados na construção. A razão é que o vento é mais forte que a água. Em um rio, a água amortece o impacto dos grãos caindo uns contra os outros. Em um deserto, eles apenas batem com força total contra o outro (BEISER, 2018).

#### 4.2.2 Consumo crescente

O consumo é impulsionado pela crescente urbanização, como a exemplo da cidade Hong Kong (Figura 7); segundo as Nações Unidas, a porcentagem da população mundial que vive em áreas urbanas aumentará de 54% para 66% até 2050. Desde 1950, a população urbana mundial passou de cerca de 750 milhões para aproximadamente 3,9 bilhões em 2014 (BBC, 2018).

Figura 7 – Vista aérea da cidade de Hong Kong



Fonte: BBC (2018).

De acordo com um especialista em comércio da ONU, o mercado global de areia vale US\$ 70 bilhões (BBC, 2018).

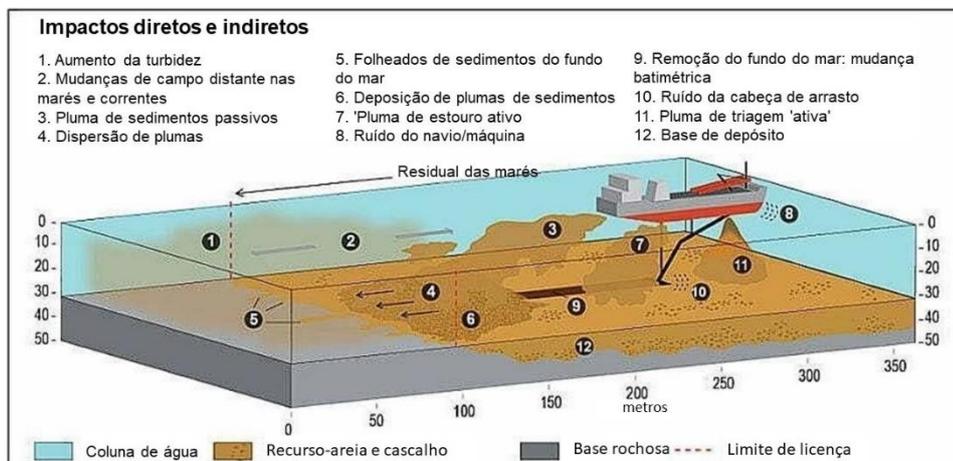
Aurora Torres, ecologista do iDiv, explica em reportagem da BBC (2018), que a ideia de areia espalhada por praias e por desertos, além do fato do baixo custo de extração e fácil acesso, dificultam pensar em escassez e efeitos ambientais e humanos por conta desse tipo de extração.

#### 4.2.3 Impactos ambientais e sociais

Grandes consumidores como Cingapura e China não conseguem o recurso suficiente para sustentar o seu mercado doméstico. Cingapura se tornou o maior importador do mundo, devido a um projeto de 40 anos de expansão do território, onde o país recuperou terras do mar, em uma área total equivalente a 130 km<sup>2</sup>. O projeto continuou apesar da decisão de vários vizinhos de suspender as exportações de areia para a ilha, por razões que vão desde preocupações ambientais (Figura 8), a considerações políticas sobre rotas marítimas e limites territoriais. Na medida que ilhas surgem em Cingapura, outras somem na Indonésia por conta da erosão

provocada pela extração da areia e quebra dos ecossistemas. Autoridades do país relataram que diversas ilhas do arquipélago desapareceram devido à extração intensiva da areia (BBC, 2018).

Figura 8 – Impactos da dragagem da areia no ambiente marinho



Fonte: Adaptado de Tillin et al. (2011), por Mar sem fim (2019).

A China usou mais concreto durante sua construção entre 2011 e 2013 do que qualquer consumo dos EUA durante o século 20, afirmam a “*International Cement Review*” (Revisão Internacional de Cimento) e o USGS. Este foi o ápice da construção civil do país, onde mais edifícios eram construídos no seu território simultaneamente, do que no mundo todo somado. O país recuperou terras no Mar do Sul, mais precisamente nas as Ilhas Spratly, um arquipélago de soberania reivindicado por vários países, mas que foi gradualmente assumido pelos chineses (BBC, 2018).

De acordo com Beiser (2018), isso significa que os países podem modificar suas fronteiras, citando como exemplo a China, que construiu a maior frota de dragagem do mundo e, desta forma, pode transportar mais areia do fundo do oceano para construir mais terras artificiais do que qualquer outra nação na Terra.

O Burj Khalifa (Figura 9) é atualmente o prédio mais alto do mundo; para a sua construção, foram consumidos aproximadamente 330 mil metros cúbicos de concreto, que tem como uma de suas matérias-primas, a areia.

Figura 9 – Burj Khalifa, Dubai



Fonte: BBC (2018).

#### 4.3 EXPLORAÇÃO ESPECÍFICA POR TIPO DE GRÃO

Em entrevista ao jornal da USP (2021), a doutoranda em Engenharia Civil na escola Politécnica da USP, Lidiane Santana Oliveira diz que, em grande maioria, a areia não é extraída dos desertos, pois estes grãos são consideravelmente maiores, mais esféricos, possuindo superfície lisa, sem a rugosidade necessária para a produção de materiais cimentícios. Grande parte do agregado é obtido das margens, de leitos de rios e lagos, e às vezes até de praias. Embora abundante, as areias dos desertos (Figura 10) não possuem composições adequadas para fabricação de vidros, concretos e outros produtos.

Figura 10 – As areias dos desertos não são apropriadas para o concreto



Fonte: BBC (2018).

Para Beiser (2018), exploramos esse grão das mais variadas formas em muitos locais, em algumas localidades, multinacionais drenam os rios e cavam colinas e transportam o material com o auxílio de máquinas (Figura 11); em outros locais, pessoas transportam com o uso de pás e caminhonetes. De forma genérica, a mineração de areia é uma atividade de baixo custo tecnológico e o motor básico de procura não é alterado desde a década de 20.

Figura 11 – Uso de máquinas na expedição de areia



Fonte: ANEPAC (2013).

#### **4.4 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA**

No Brasil, por lei, a extração ilegal de areia é considerada crime em dois casos diferentes:

##### **DO CRIME CONTRA O PATRIMÔNIO**

- Art. 2º Constitui crime contra o patrimônio, na modalidade de usurpação, produzir bens ou explorar matéria-prima pertencentes à União, sem autorização legal ou em desacordo com as obrigações impostas pelo título autorizativo (BRASIL, 1991).

Pena: Detenção, de um a cinco anos e multa.

##### **DO CRIME AMBIENTAL**

- Art. 55. Executar pesquisa, lavra ou extração de recursos minerais sem a competente autorização, permissão, concessão ou licença, ou em desacordo com a obtida (BRASIL, 1998).

Pena: Detenção, de seis meses a um ano, e multa.

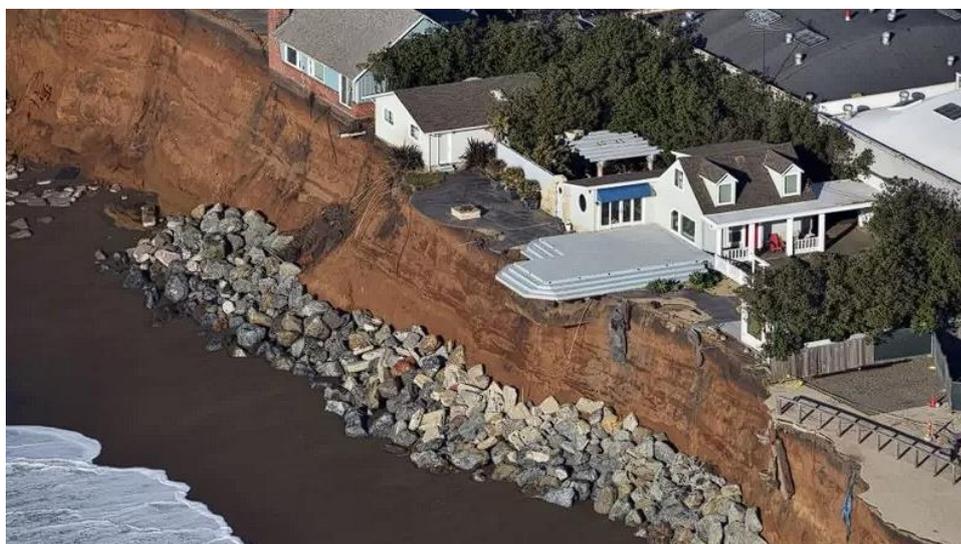
#### 4.4.1 Processos ambientais

Muitos impactos sociais, ambientais e econômicos podem ser causados pela mineração ilegal e desenfreada de areia. A ONU, por acaso, toma o exemplo das comunidades ribeirinhas onde a exploração de areia de ambientes habitados por caranguejos pode complicar toda a fauna e o ecossistema, dificultando a vida de famílias em aldeias Camboja, um dos principais centros de extração de agregados do mundo. A mineração também reduz o represamento dos rios, além de aumentar a erosão das praias (UOL, 2020).

Conforme reportagem da BBC (2018), a remoção ilegal de areia pode levar à erosão acelerada e compactação do solo, que juntos podem levar a processos de desertificação e até mesmo mudanças no microclima da região. A praia de uma pequena cidade na Califórnia chamada Marina, próxima da metrópole de São Francisco, é uma ampla faixa de areia que se inclina para o Oceano Pacífico. Grande parte da sua extensão foi transformada em um parque estadual, obscurecido em meio a dunas altas e uma região predominante habitada por suculentas. "Esta é a linha costeira de erosão mais rápida da Califórnia", disse Ed Thornton, engenheiro costeiro e professor aposentado da NPS. "Estamos perdendo oito acres por ano de costa intocada, algumas das mais belas do mundo. É por causa da mineração de areia".

Os cientistas levantaram a hipótese que a erosão e o aumento do nível do mar podem acabar com 70% das praias da Califórnia até 2100 (Figura 12).

Figura 12 – Erosão de um trecho da faixa costeira do estado da Califórnia



Fonte: BBC (2018).

De uma forma geral, a areia é um material abundante em quase todas as regiões do mundo; “o que a gente não tem é a areia com as propriedades e características que a gente precisa para a aplicação no material” afirma Lidiane.

Os Emirados Árabes Unidos, por exemplo, que está localizado em uma região desértica, esgotou suas reservas, desde então devem importar o material. Segundo Lidiane, a escassez também se tornou um problema na região metropolitana de São Paulo.

De acordo com Tamaro (2021), a expansão das áreas urbanas exige cada vez mais grandes quantidades de recursos, mas as licenças ambientais são concedidas em áreas cada vez mais afastadas dos centros de consumo.

“Quando se fala em escassez, é preciso olhar para a região e se é devido à alta demanda ou às características do material que é dito”, afirma Lidiane.

## **4.5 EFEITOS DA EXTRAÇÃO ILEGAL E ESCASSEZ NO BRASIL**

### **4.5.1 Degradação ambiental**

Além da escassez, outro problema identificado no PNUMA é a degradação ambiental. Lidiane explica que a extração de areia é feita principalmente nos leitos dos rios, no fundo do mar ou em cavernas.

### **4.5.2 Resíduos e perda de biodiversidade por extração irregular**

Esse processo gera resíduos, desde poluição e até desmatamento de vegetação e outros que podem levar à perda da biodiversidade. A extração de areia no Brasil se torna mais grave quando é feita em volumes consideráveis, de forma ilegal e irregular, sem quaisquer indícios de fiscalização ambiental. “Apenas 30% da areia consumida no Brasil foi extraída de forma regular”, diz Lidiane.

A pesquisadora usa o exemplo do Rio Jacuí (Figura 13), na RMPA, onde é extraído mais areia do que a legislação permite, provocando o afundamento do rio. Há outros riscos como a perda da pesca, do turismo e o surgimento de criminosos com mercado lucrativo do bem como a vinda as famosas “máfias da areia”, organizações criminosas dentre as mais perigosas e violentas do mundo, responsáveis pela a morte de vários ambientalistas, ativistas, mineradores e jornalistas em grande parte no oriente médio e na Índia.

Figura 13 – Rio Jacuí, na Região Metropolitana de Porto Alegre



Fonte: Souza (2017).

O rio Jacuí é o segundo maior corpo d'água do estado do Rio Grande do Sul, e sofre com a poluição e assoreamento, devido a extração exagerada de areia.

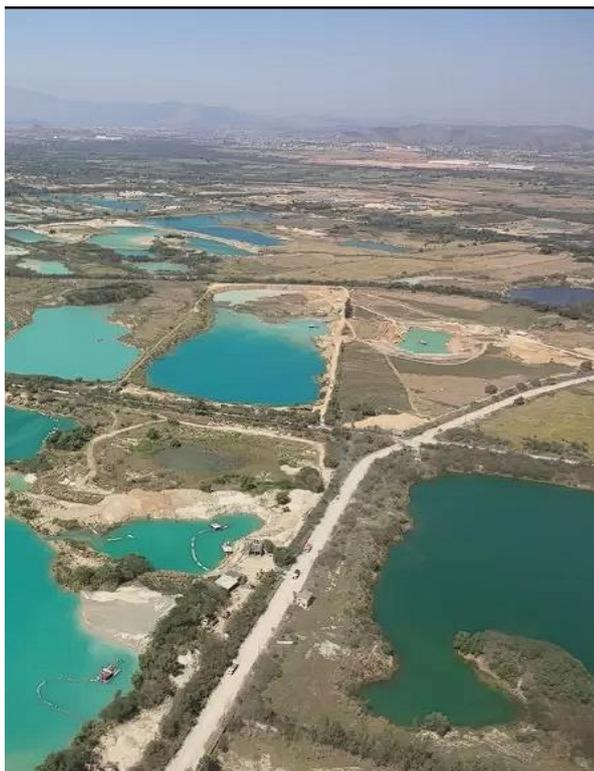
#### 4.5.3 Ações criminosas por meio de facções e milícias

No dia 3 de maio de 2020, um guarda florestal terceirizado foi morto ao entrar em uma floresta no Vale do Ribeira, zona sul de São Paulo e encontrar um garimpo ilegal de ouro; o espaço é um dos maiores centros de mineração de areia e outros minerais do país, que são extraídos de forma legal e ilegalmente da região (UOL, 2020).

Para Ramadan (2016), pesquisador e especialista em mineração e PROFÁGUA, mestrando em gestão hídrica da UERJ, autor do estudo sobre mineração ilegal de areia no país de nome "A Extração Ilegal de areia no Brasil"; a extração ilegal de areia estar ao lado do tráfico de drogas, de armas e de pessoas, com números que chegaram a US\$ 8 bilhões no ano de 2016, último ano levantado por ele. "A extração de minérios não é negativa. O que temos que fazer é ter uma fiscalização mais compatível para garantir sustentabilidade", diz Ramadan.

A Figura 14 mostra áreas de extração ilegal de areia no interior do estado do Rio de Janeiro, que são dominadas até por forças milicianas.

Figura 14 – Áreas de extração ilegal de areia no interior do Rio de Janeiro



Fonte: Luís Fernando Ramadan, por UOL (2020).

O estudo feito por Ramadan baseou-se nos impostos pagos pela indústria de cimento, que utilizam a areia para a sua composição; foram declaradas uma quantidade muito maior de cimento, do que de areia, indicando que parte dessa areia não foi declarado por ter origem ilegal.

É possível sim fazer a extração e uso da areia em âmbito mundial, desde que haja uma fiscalização e controle do mesmo, pelo fato de não ser um bem renovável. A aplicação de multas para responsáveis pela mineração ilegal do agregado é uma das alternativas mais eficazes atualmente no combate a crimes ambientais (UOL, 2020).

#### 4.5.4 Crimes ambientais no Nordeste

Em 24 de fevereiro de 2021, uma mineradora foi flagrada operando ilegalmente em uma APP no município de Igarassu, em Pernambuco (Figura 15). No dia 3 de março ela foi multada no valor de R\$ 131,5 mil por conta da retirada de areia e do descarte irregular de óleo. Segundo a CPRH, a atividade provocou uma degradação ambiental em uma área de aproximadamente 15 hectares (G1, 2021).

Figura 15 – Extração ilegal de areia em uma APP em Igarassu, Pernambuco



Fonte: CPRH, por G1 (2021).

#### 4.5.5 Dados gerais nacionais do agregado

Segundo Vieira e Rezende (2015), a mineração é considerada um dos setores básicos da economia do Brasil, fornecendo insumos para a indústria e servindo de matéria-prima para a fabricação de diversos tipos de produtos, desde os mais simples até os mais complexos. Na Figura 16 é possível notar uma diminuição na estimativa de produção e na produção real, e um aumento na extração ilegal e no preço médio da areia entre os anos de 2012 e 2015, o que demonstra um aumento do mercado ilegal de extração de areia nacional.

Figura 16 – Dados relativos à produção de areia no Brasil



Fonte: Revista Mineração (2016).

Vieira e Rezende (2015), afirmam que a areia e a pedra são os produtos mais minerados no Brasil considerando o volume; e que apesar da extração de areia ter grande importância para o desenvolvimento social, ela também é responsável por impactos ambientais, alguns inclusive irreversíveis. Como por exemplo, os mostrados na Figura 17.

Figura 17 – Operações ilegais de extração de areia, Indonésia



Fonte: Chaideer Mahyuddin, por CNET (2020).

## **4.6 AGREGADOS**

### **4.6.1 Definição**

De acordo com a NBR 9935 (2011), o agregado é um material granular, geralmente inerte com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto. Devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto (NBR 7211, 2005).

### **4.6.2 Classificação**

Segundo Menossi (2004), esses agregados podem ser classificados quanto:

#### 4.6.2.1 A origem:

- Naturais: São aqueles que já se encontram em forma particulada na natureza, por exemplo, areia de rio e cascalho.
- Artificiais: São aqueles que as formas particuladas são obtidos de processos industriais; por exemplo, areia britada, pedra britada e argila expandida.

#### 4.6.2.2 Às dimensões das partículas:

- Agregado miúdo: Agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 150  $\mu\text{m}$ , por exemplo, as areias.
- Agregado graúdo: Agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, por exemplo, cascalho e britas.

#### 4.6.2.3 Ao peso específico aparente:

- Agregados leves: Aqueles com densidade aparente média entre 0,30 e 1,0.
- Agregados médios: Aqueles com densidade aparente média entre 1,4 e 1,7.
- Agregados pesados: Aqueles com densidade aparente média entre 2,9 e 3,3.

#### 4.6.3 Caracterização

A NBR 7211 (2005) define requisitos descritos nos itens 2.6.3.1 ao 2.6.3.3 aos quais amostras de ensaio de agregados miúdos, devem atender.

##### 4.6.3.1 Granulometria – Distribuição granulométrica

A distribuição granulométrica dos agregados deve atender aos limites estabelecidos na Tabela 1. Podem ser utilizados agregados com distribuição granulométrica diferentes, desde que estudos prévios de dosagem comprovem sua aplicabilidade.

Tabela 1 – 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
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 2,20 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: NBR 7211 (2005).

#### 4.6.3.2 Substâncias nocivas

A quantidade de substâncias nocivas não deve exceder os limites estabelecidos na Tabela 2 com relação à massa do material.

Tabela 2 – 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 carbonosos <sup>1)</sup>	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 orgânicas <sup>2)</sup>	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%

<sup>1)</sup> 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).

<sup>2)</sup> 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: NBR 7211 (2005).

Quando o material fino passante pela peneira 75  $\mu\text{m}$  for constituído totalmente de grãos gerados durante a britagem de rocha, os valores podem ser alterados de 3% para 10% (para concreto submetido a desgaste superficial) e de 5% para 12% (para concreto protegido do desgaste superficial), desde que seja possível comprovar, por apreciação petrográfica, que esses grãos não interferem nas propriedades do concreto.

#### 4.6.3.3 Durabilidade

Quando os agregados forem provenientes de regiões litorâneas, extraídos de águas salobras ou com suspeita de contaminação natural ou industrial, eles não poderão ter teores de cloretos e sulfatos que excedam os limites estabelecidos na Tabela 3.

A avaliação petrográfica é responsável por indicar a natureza mineralógica potencialmente reativa ou não do agregado; em que, agregados com potencial reativo devem ser ensaiados pelo método estabelecido na ASTM C 1260, não devendo apresentar expansão maior que a estabelecida na Tabela 3. Agregados que apresentem barras de argamassa com expansões superiores a 0,10%, quando ensaiados pelo método ASTM C 1260, podem ser utilizados somente em concretos com teor total de álcalis menor ou igual a 3  $\text{kg}/\text{m}^3$  ou quando for comprovado que o cimento utilizado atua como inibidor da reação álcali-agregado, como ocorre com o cimento Portland de alto forno e o cimento Portland pozolânico. Alternativamente, pode ser verificada a reatividade do agregado de acordo com a ABNT NBR 9773, devendo ser observados os limites da Tabela 3.

Tabela 3 – Limites máximos para a expansão devida à reação álcali-agregado e teores de cloretos e sulfatos presentes nos agregados

Determinação	Método de ensaio	Limites
Reatividade álcali-agregado	ASTM C 1260	Expansão máxima de 0,10% aos 14 dias de cura agressiva
	ABNT NBR 9773 <sup>1)</sup>	Expansão máxima de 0,05% aos três meses
		Expansão máxima de 0,10% aos seis meses
Teor de cloretos <sup>2)</sup> (CL <sup>-</sup> )	ABNT NBR 9917 ABNT NBR 14832 <sup>3)</sup>	< 0,2% concreto simples
		< 0,1% concreto armado
		< 0,01% concreto protendido
Teor de sulfatos <sup>4)</sup> (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	ABNT NBR 9917	< 0,1%

1) Ensaio facultativo, nos termos de 5.3.2.

2) Agregados que excedam os limites estabelecidos para cloretos podem ser utilizados em concreto, desde que o teor total trazido ao concreto por todos os seus componentes (água, agregados, cimento, adições e aditivos químicos), verificado por ensaio realizado pelo método ABNT NBR 14832 (determinação no concreto) ou ASTM C 1218, não exceda os seguintes limites, dados em porcentagem sobre a massa de cimento:

- concreto protendido ≤ 0,06%;
- concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura ≤ 0,15%;
- concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura) ≤ 0,40%;
- outros tipos de construção com concreto armado ≤ 0,30%.

3) O método da ABNT NBR 14832 estabelece como determinar o teor de cloretos em clínquer e cimento Portland. Neste caso específico, o método pode ser utilizado para o ensaio de agregados.

4) Agregados que excedam o limite estabelecido para sulfatos podem ser utilizados em concreto, desde que o teor total trazido ao concreto por todos os seus componentes (água, agregados, cimento, adições e aditivos químicos) não exceda 0,2% ou que fique comprovado o uso no concreto de cimento Portland resistente a sulfatos conforme a ABNT NBR 5737.

Fonte: NBR 7211 (2005).

De acordo com Menossi (2004), ensaios adicionais também podem ser feitos para melhor caracterizar esses agregados, como os descritos nos itens 4.6.3.4 ao 4.6.3.8.

#### 4.6.3.4 Massa específica aparente

É a relação entre a massa total de um volume de agregados e esse volume, considerando os vazios existentes entre os grãos do agregado.

#### 4.6.3.5 Massa específica absoluta

É a razão entre a massa do agregado e o seu volume desconsiderando os vazios existentes entre os grãos do agregado.

#### 4.6.3.6 Pozolanicidade

Adição de materiais pozolânicos para melhorar a trabalhabilidade do concreto, reduzindo a temperatura, reduzindo os riscos do aparecimento de fissuração, reduzindo expansões, aumentando a resistência do concreto contra águas ou solos agressivos, e etc. em contrapartida ocorre um aumento no consumo de água, aumento da retração por secagem e redução da resistência à compressão nas primeiras idades.

#### 4.6.3.7 Reatividade potencial álcali-agregado

Reação álcali-agregado (RAA) é uma reação química resultante do encontro de hidróxidos alcalinos, provenientes do cimento, com minerais reativos presentes nos agregados. Como resultado desta reação, são formados produtos na parte interna da estrutura de concreto, que se expandem na presença de umidade, gerando fissuras e deslocamentos, comprometendo as estruturas afetadas. Como alternativa para combater essa reação, é indicado o uso de adições minerais na confecção desse concreto, com a finalidade de reduzir essa expansão.

#### 4.6.3.8 Composição química por difração de raios X

É uma técnica utilizada para identificar todos os seus componentes químicos de uma amostra.

Na Tabela 4, Sbrighi (2000) relaciona as características dos agregados com as propriedades do concreto.

Tabela 4 – Interferência dos agregados miúdos nas propriedades do concreto

<b>Propriedades do concreto</b>	<b>Características relevantes do agregado</b>
Resistência mecânica	Resistência mecânica Textura superficial Limpeza Forma dos grãos Dimensão máxima
Retração	Módulo de elasticidade Forma dos grãos Textura superficial Limpeza Dimensão máxima
Massa unitária	Massa específica Forma dos grãos Granulometria Dimensão máxima
Resistência à derrapagem	Tendência ao polimento
Economia	Forma dos grãos Granulometria Dimensão máxima Beneficiamento requerido Disponibilidade

Fonte: Sbrighi (2000).

#### 4.6.4 Funções

Segundo a ANEPAC (2013), a principal finalidade do uso de agregados no concreto, é o preenchimento do volume e conseqüentemente barateamento do concreto, visto que os agregados representam de 60 a 80% do volume final do concreto, é representam cerca de 30% do custo final do produto.

Entre outras finalidades do uso do agregado miúdo no concreto, podem ser citados (TECNOSILBR, s.d.):

- Transmissão das tensões aplicadas nos grãos ao concreto.
- Diminuição dos efeitos de retração no concreto, cuja diminuição é proporcional à adição de agregado no concreto.

## 4.7 CONCRETO

### 4.7.1 Definição

De acordo com a ANEPAC (2009), o concreto é um material que no estado fresco possui características plásticas, possibilitando a sua moldagem nas mais diversas formas e tamanhos; e que no seu estado endurecido, tem resistência similar às das rochas naturais.

### 4.7.2 Uso e importância para construção civil

O concreto é o segundo produto mais consumido no mundo, atrás apenas da água; no campo da construção civil, ele é o material mais consumido (HELENE e ANDRADE, 2010, p. 905).

Ele é amplamente difundido, podendo ser encontrado em residências, prédios, rodovias, pontes, hidrelétricas, em obras de saneamento, de fundação, de contenção, entre outras.

### 4.7.3 Composição

De acordo com Pinheiro (2007), o concreto é um material resultante da mistura homogênea e em proporções adequadas de aglomerantes, agregados e água. Podendo ainda conter adições e aditivos na sua composição.

✓ Aglomerante hidráulico (cimento Portland): São materiais responsáveis por unir os fragmentos de outros materiais, por meio de uma reação química que ocorre na presença de água. No concreto este aglomerante normalmente é o cimento Portland, que reage na presença de água e endurece com o passar do tempo.

✓ Água de amassamento: É a água utilizada para dar início a reação química do aglomerante, deve obedecer a prescrições da NBR 15900-1 (2009), e ser desprovida de substâncias estranhas ou de teores que possam prejudicar essa reação.

✓ Agregado: São materiais minerais inertes, cuja função é dar volume à mistura, barateando o custo do concreto, dividindo-se em dois quanto às dimensões dos grãos.

- Agregados miúdos:  $0,075 \text{ mm} < \emptyset < 4,8 \text{ mm}$ . No concreto este agregado normalmente é a areia.

- Agregados graúdos:  $\emptyset \geq 4,8$  mm. No concreto este agregado normalmente é a brita.
- ✓ Adições: São materiais adicionados ao concreto ou ao cimento ainda durante a sua fabricação, cuja função é alterar a composição do material, dando-lhes características pertinentes à adição feita. As mais comuns são: Escória de alto forno, cinza volante, sílica ativa de ferro-silício e metacaulinita (SILVA, 2017).
- ✓ Aditivos: São produtos adicionados ao concreto em pequenas proporções, cuja função é modificar suas propriedades, dando-lhes características com o intuito de melhorar esses concretos para atender às determinadas condições. Esses aditivos podem ser: Plastificantes, retardadores de pega, aceleradores de pega, plastificantes retardadores, plastificantes aceleradores, incorporadores de ar, superplastificantes, superplastificantes retardadores e superplastificantes aceleradores (SILVA, 2017).

#### 4.7.4 Agregado miúdo no concreto

O concreto é considerado como produto básico da construção civil; em média, para cada metro cúbico de concreto à base de cimento Portland utiliza-se 42% de agregado graúdo, 40% de agregado miúdo, 10% de cimento, 7% de água e 1% de aditivos químicos (MENOSSI, 2004).

Diante da crescente demanda por concreto, e sendo o agregado miúdo responsável por cerca de 40% deste material, o consumo e produção/extração de areia também crescem, principalmente a de origem natural. A extração de areia em várzeas e leitos dos rios, ocasiona graves impactos ambientais nas áreas de extração ou nas que sofrem influência desses cursos d'água.

Perante esse cenário, torna-se necessário a procura por alternativas à utilização de agregados de origem natural para confecção de concreto.

De acordo com Gonçalves (2004, p. 6) as alternativas a esse uso podem ser:

- Agregados procedentes da reciclagem de resíduos sólidos
- Areia resultante do processo de britagem dos agregados graúdos.
- Areia artificiais, que são produzidas a partir do agregado graúdo.

## 4.8 PÓ DE PEDRA

### 4.8.1 Definição

É o resíduo produzido pela britagem de rochas nas regiões onde concentram-se as indústrias de mineração; também pode ser conhecido, como pó de brita, areia britada, areia de britagem, (SOUZA et al., 2016).

Segundo Menossi (2004), existem ainda outras denominações tais como “areia artificial” e “areia de brita”; no entanto existe diferença entre pó de pedra e a areia artificial, sendo a fração fina abaixo de 0,075 mm das peneiras descartada para areia artificial. Apesar disso, o pó de pedra possui características que se adequam àquelas classificadas pelas normas da ABNT para a utilização de agregados em concreto.

O pó de pedra caracteriza-se como sendo um material proveniente do britamento de pedra, com partículas de diâmetro nominal máximo inferior a 0,075 mm (NBR 7225, 1993).

Ele se enquadra na forma de agregado miúdo, ou ainda como agregado total, também, nos casos de misturas com outros tipos de agregados, como a areia natural (SOUZA et al., 2016).

Segundo Sá (2006) esse material representa em torno de 15 a 20% da produção de uma instalação de britagem, como consequência da fragmentação de rochas.

Soma-se a isso o seu pouco valor significativo, fatores de estocagem e meio ambiente, os quais seriam do ponto de vista das pedreiras, como fatores determinantes à utilização deste material, que na maioria dos casos, é classificado como rejeito (MENOSSI, 2004).

### 4.8.2 Uso na construção civil

Nugent (apud MENOSSI, 2004), afirma que o uso do pó de pedra vem desde séculos passados em países como Estados Unidos e o Canadá. Atualmente possui diversas utilidades na construção civil podendo ser aplicado em:

- ✓ Confecção de concreto com finalidade estrutural.
- ✓ Confecção de argamassa para assentamento ou revestimento.
- ✓ Confecção de blocos de concreto e de pré-moldados.
- ✓ Obras de calçamento de pisos pré-moldados e paralelos.

- ✓ Obras de terraplenagem, como material para sub-base ou estabilizador de base.
- ✓ Obras de recapeamento, como material para a fabricação de massa asfáltica e estabilizador de base.

#### 4.8.3 Impactos ambientais

Por não possuir destinação definida, muitas vezes o rejeito permanece armazenado por dias ao ar livre nos pátios das pedreiras, ficando exposto a ação dos ventos e das chuvas, como visto na Figura 18; o que pode ocasionar nuvens de poeira, obstrução de canais de drenagem, assoreamento de cursos d'água, além de poluição visual (MENOSSI, 2004). Além disso tem a questão da substituição da areia natural na confecção do concreto, que apesar de não ser o único uso para essa areia natural, é o de maior consumo, o que contribui para a diminuição da demanda pela exploração e extração dessa matéria prima.

Figura 18 – Armazenamento de pó de pedra no pátio de uma pedreira



Fonte: Menossi (2004).

#### 4.8.4 Influência do pó de pedra no concreto

##### 4.8.4.1 Distribuição granulométrica

Quanto à caracterização do agregado, o pó de pedra demonstra possuir as características físicas necessárias à utilização como agregado na fabricação de concreto convencional conforme ABNT NBR NM 248:2001 “Agregados – Determinação da Composição Granulométrica”.

A areia do rio apresenta granulometria difusa enquanto a areia industrial apresenta sempre a mesma granulometria, já que é um produto que passa por um processo de beneficiamento. Conforme citado por Costa (2005) há ainda dois

aspectos a serem considerados na substituição do produto natural pelo industrial; o primeiro é que há um reaproveitamento de um rejeito da produção de agregados graúdos, que é transformado em areia; o segundo é com relação à questão financeira, por seu custo de produção e de transporte reduzidos, o que não onera o preço final do agregado.

Sobre as características do agregado, destaca-se que a granulometria e a textura podem influenciar de maneira menos significativa na massa do concreto, mas que em casos de utilização de agregados de diâmetros maiores, pode ser identificada uma formação de um filme de água nas paredes do agregado, conhecida como exsudação interna. Esse processo enfraquece sua ligação com a massa, e em caso de agregados com menores diâmetros é aumentada a superfície de contato da pasta de cimento e do agregado, o que eleva a resistência do concreto. (BUTTLER, 2003).

Por meio da caracterização da distribuição granulométrica do pó de pedra, é possível constatar que ele se adequa a granulometria apropriada para o concreto, estando dentro dos limites especificados pela NBR 7211 (2005) para a zona 3, sendo classificado como uma areia média (MENOSSI, 2004).

#### 4.8.4.2 Teor de material pulverulento

Estudo realizado por Menossi (2004), mostram que para o pó de pedra o índice de material pulverulento pode chegar a 20% da composição, teor acima dos valores permitidos da NBR 7219, que variam de 3 a 5%; fazendo com que seja mais acessível trabalhar e preencher vazios da massa de cimento e água, pois colaboram na melhoria da aglomeração das partículas maiores do concreto aumentando a compactidade, o que conseqüentemente aumentaria a dureza do concreto. No entanto, se esse nível for alto demais, pode comprometer a qualidade do concreto, necessitando maior volume de água e baixando a resistência do concreto.

A utilização desse material pulverulento do pó de pedra contribui também na questão ambiental, uma vez que esse material de fração inferior a 0,075 mm sendo utilizado, ele deixa de ir para o meio ambiente (MENOSSI, 2004).

#### 4.8.4.3 Presença de material orgânico

De acordo com o mesmo estudo citado no tópico anterior, ensaios indicam que o pó de pedra apresenta quantidades de material orgânico inferiores à quantidade máxima permitida pela NBR 7220, que é de 300 ppm.

#### 4.8.4.4 Resistência à compressão

A substituição da areia natural pelo pó de pedra mostrou-se vantajoso no que se refere a resistência à compressão simples, os concretos que utilizam pó de pedra como substituto a areia natural mesmo que em frações parciais apresentaram valores satisfatórios em relação aos de referência, quanto maior a essa substituição na proporção de agregado miúdo do concreto, maior é a resistência da peça a resistência à compressão (MENOSSI, 2004).

#### 4.8.4.5 Abatimento do concreto (*slump test*)

Se por um lado essa substituição aumenta a resistência à compressão do concreto, por outro, ela também é inversamente proporcional ao abatimento, ou seja, quanto maior a proporção de pó de pedra como agregado miúdo do concreto, menor será o seu abatimento; isso se dá pela maior presença de material pulverulento na composição do concreto, o que o deixa menos poroso aumentando a sua resistência, contribuindo para um menor abatimento (MENOSSI, 2004).

#### 4.8.4.6 Consumo de água

Conforme Carvalho e Freitas (2017), é necessário ter cuidado quanto à origem e a quantidade da água utilizada na preparação do concreto, pois ela é a responsável pela reação química que transforma o cimento em uma pasta aglomerante. Se a quantidade for muito pequena, não ocorrerá a reação completamente e se a quantidade for maior do que o ideal, haverá diminuição de resistência devido à formação dos poros que ocorrerão quando este excesso de água evaporar. Por isso é preciso uma atenção especial a estes requisitos, pois a qualidade dos componentes do concreto influenciará diretamente na sua qualidade e durabilidade.

De acordo com Menossi (2004), a utilização do pó de pedra em pastas e argamassas implica na elevação do consumo de água, pois essa substituição repercute de maneira negativa na trabalhabilidade, para não se empregar uma

quantidade exagerada de água podemos utilizar aditivos plastificantes como alternativa para se obter uma boa trabalhabilidade sem perda de resistência.

#### 4.8.4.7 Consumo do cimento

De acordo com Menossi (2004), há um aumento no consumo de cimento à medida que se aumenta a proporção da substituição da areia por pó de pedra, isto se dá pelo fato de uma maior demanda de água de amassamento para se obter uma boa trabalhabilidade do concreto.

#### 4.8.4.8 Pozolanicidade

Conforme Menossi (2004), a presença de finos no pó de pedra é um fator determinante quanto à compactidade e conseqüente resistência do concreto. Isto indica que a porção inferior a 0,075 mm do pó de pedra pode possuir atividade pozolânica, pelo fato desta atividade caracterizar-se pela perda de resistência nas idades iniciais, e ganho de resistência nas idades subsequentes.

Porém resultados de ensaios de pozolanicidade da fração fina do pó de pedra realizados por Menossi (2004), indicam que o pó de pedra não se encaixou em todos os parâmetros estabelecidos pela NBR 12653, como é mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados de ensaios de pozolanicidade e exigências da NBR-12653

<b>Propriedades</b>	<b>Resultados dos Ensaios</b>	<b>Exigências da NBR - 12653</b>
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	76,29%	mín.70,0%
Perda ao Fogo	2,50%	máx.10,0%
Índice de atividade pozolânica:		
- com cimento aos 28 dias, em relação ao controle	61,3%	mín.75%
- com a cal aos 7 dias,	0,70 MPa	mín. 6,0 MPa
- água requerida	104,60%	máx.115%
Aumento na retração por secagem de barras a 28 dias	0,008%	máx.0,05%
Reatividade com álcalis do cimento (%):		
- expansão da argamassa a 14 dias	0,106%	máx. 0,020%
- redução da expansão da argamassa a 14 dias	57,10%	mín.75%

Fonte: Menossi (2004).

Com isso, pode-se concluir que o pó de pedra não pode ser classificado como material pozolânico.

#### 4.8.5 Comparativo com a areia no concreto estrutural

A substituição da areia natural de rio por materiais alternativos tem se tornado uma realidade promissora e o agregado miúdo, utilizado na fabricação do concreto convencional, substituído por “pó de pedra”, mostra ser uma alternativa significativa.

Segundo Valverde (2001), a utilização de areias provenientes de britagem de rochas ainda encontra-se em um nível reduzido, estima-se que 90% da areia consumida no Brasil são extraídas de leito de rios. No Estado de São Paulo, cerca de 45% da areia são provenientes de várzeas, 35% de leitos de rios, e o restante, de outras fontes.

Para Tannús et. al (2007, apud Silva et al. 2016), em algumas regiões do Brasil, a utilização da areia de britagem tem se tornado um processo inevitável, por conta das restrições ambientais que se deram em função da escassez dos recursos naturais. A escassez desses recursos torna necessária a busca desta matéria prima em locais cada vez mais distantes elevando seu custo, associando outra vantagem a areia artificial, segundo Pereira e Almeida (2004), a produção pode ser realizada no canteiro das pedreiras localizadas próximas aos grandes centros urbanos, o que reduziria o custo final da matéria-prima para o seu maior mercado consumidor, a indústria da construção civil.

Conforme Carvalho e Freitas (2017), diversos estudos técnicos e científicos são desenvolvidos tendo em vista viabilizar alternativas eficientes e lucrativas para a substituir o uso de agregado miúdo de origem natural no concreto. Entre as alternativas no mercado, duas se destacam mais, os rejeitos de granito, provenientes de retalhos e sobras de marmorarias são submetidos a operação unitária de redução de tamanho (britagem), outra fonte de material são as rochas de gnaisse trituradas (conhecido popularmente como pó de pedra). Essas duas alternativas podem substituir a areia natural no concreto fresco e endurecido. A utilização desses materiais traz como benefício além da questão da preservação ambiental, uma lucratividade já que seu custo é menor em relação a areia de origem natural.

Segundo Silva et al. (2015), a substituição parcial da areia natural por pó de pedra é viável para a confecção de concretos convencionais, desde que o seu

processo de fabricação tenha um rigoroso controle tecnológico. Em diferentes países desenvolvidos, essa substituição já acontece, pois em muitos deles ocorrem escassez de areia natural. No Brasil, o uso de areia de britagem vem crescendo a cada dia pelo mesmo motivo, principalmente em regiões próximas a áreas em expansão econômica ou regiões metropolitanas das cidades com pressões relacionadas ao adensamento populacional que provocam a necessidade da viabilização de novas unidades habitacionais.

Conforme Silva et al. (2015), a confecção de concreto com a adição de pó de pedra apresenta vantagem econômica, quando comparado ao confeccionado apenas com areia natural de rio, isto se dá pelo fato do valor unitário do metro cúbico do pó de pedra ser mais barato do que o do valor unitário do metro cúbico da areia natural de rio, resultando em um barateamento da composição final do preço do concreto; outro fator contribuinte na questão econômica, é que o seu uso representa um fim mais adequado para um material anteriormente considerado como rejeito. Além das vantagens econômicas, essa adição também apresenta vantagens ambientais, visto que o seu uso diminui a exploração de areia natural nos leitos dos rios, que ocorrem muitas vezes de maneira descontrolada.

#### 4.8.6 Benefícios da substituição

- ✓ Aproveitamento integral das pedreiras sem descarte de efluentes.
- ✓ Obtenção de uma “areia” com características físicas e químicas constantes.
- ✓ Menor consumo de areia na preparação do concreto.
- ✓ Solução de problemas ambientais.
- ✓ Custo final reduzido do concreto.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise, do cenário que se encontra a extração de areia, torna-se necessário a busca por alternativas para diminuir a dependência em especial da construção civil, por esse tipo de material de origem natural, tornando-se necessário alternativas a essa exploração; como a substituição mesmo que parcial, da areia na confecção do concreto, que é um dos materiais mais consumidos no setor da construção civil.

Apesar de apresentar diferenças como maior índice de material pulverulento, maior consumo de água, de cimento, e não podendo ser classificado como material pozolânico; a substituição da areia se mostra viável, pois do ponto de vista mecânico, a resistência a flexão é igual ou maior no concreto, quando comparado com um concreto sem adição do mesmo. Além disso, o pó de pedra apresenta granulometria adequada para ser utilizado como agregado miúdo no concreto, inserindo-se na zona granulométrica 3, classificando-se como areia média, o tipo normalmente utilizado na fabricação do concreto o material preparado com essa adição apresenta baixo abatimento no *slump* test, índices aceitáveis de matéria orgânica.

Do ponto de vista econômico é viável, devido ao baixo valor de mercado, a sua grande disponibilidade, e por estar dentro da cadeia de produção da construção, o que facilitaria na questão do armazenamento e do transporte.

Sendo vantajosa também no ponto de vista ambiental, tanto pelo fato do pó de pedra de ser resultante de um outro processo produtivo (britamento de rochas maiores para a fabricação de brita), pela utilização de um material que tem ficaria armazenado nos pátios das pedreiras, e por conta de contribuir com a redução da necessidade da extração de areia do meio ambiente.

Essa substituição mostra-se possível, caso não totalmente, pelo menos parcialmente, o que diminuiria a demanda da construção por areia de origem natural.

Apesar disso, torna-se necessário a criação de políticas públicas para incentivar esse tipo de uso, visto que considerando no contexto nacional, apesar de existirem leis de combate a extração ilegal de areia, esse tipo de atividade é comum, seja pelas pequenas penas ou falta de fiscalização, esse tipo de crime mostra-se rentável aos grupos que o cometem. Além do fato do pó de pedra, apesar de apresentar algumas características similares à da areia, ele não é tão popular quanto ela.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A escolha por esse tema se deu pelo fato da areia ser uma importante matéria-prima para economia, presente em diversos setores da sociedade, e que demanda altas taxas de produção, necessitando taxas de extração cada vez maiores para atender a sua crescente procura, porém ao mesmo tempo ela é um material não renovável, o que faz com que a sua exploração torna-se cada vez mais cara e difícil.

Com o esgotamento das tradicionais áreas de extração, busca-se cada vez mais, áreas periféricas e próximas a áreas de proteção ambiental para a sua obtenção, resultando em elevados prejuízos à natureza e encarecimento do produto aos produtores e aos consumidores finais.

A construção civil como um grande consumidor desses recursos, necessita se adequar a realidade, e procurar buscar alternativas viáveis para diminuir esses impactos.

A maior parte da atual forma de extração da areia, encarece cada vez mais o preço da areia de conseqüentemente de seus produtos derivados, resultando na necessidade da busca por alternativas viáveis tecnicamente e financeiramente que visem se não acabar, pelo menos diminuir com os atuais níveis de extração desse material da natureza.

A escolha pelo pó de pedra se deu pelo fato dele ser um material que possui baixo valor de mercado, alta disponibilidade e pouca ou nenhuma necessidade de processamento para o seu uso, além de já estar dentro da cadeia produtiva da construção civil, o que resulta na diminuição de custos.

## REFERÊNCIAS

- ABRAIN** Explica: A importância da Construção Civil para impulsionar a economia brasileira. ABRAIN, 2021. Disponível em: <https://www.abrainc.org.br/abrainc-explica/2021/06/28/abrainc-explica-a-importancia-da-construcao-civil-para-impulsionar-a-economia-brasileira/>. Acesso em 08 jan. 2022.
- AGREGADOS para concreto: O que são e para que servem?** TECNOSILBR, [s.d.]. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/agregados-para-concreto-o-que-sao-e-para-que-servem/>. Acesso em: 09 abr. 2022.
- ALMEIDA, S.L.M.; SAMPAIO, J.A. **Obtenção de Areia Artificial com base em finos de pedreiras**. Revista Areia & Brita nº 20, 2002. p. 32.
- ALTMAN, A. **The world is running out of sand, and you need to care**. CNET, 2020. Disponível em: <https://www.cnet.com/culture/the-world-is-running-out-of-sand-and-you-need-to-care/>. Acesso em: 17 mar. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1 - Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211 - Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7225 - Materiais de pedra e agregados naturais**. Rio de Janeiro. 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935 - Agregados - Terminologia**. Rio de Janeiro. 2011.
- AVALIAÇÃO do ciclo de vida da areia**. MATERIOTECA, 2016. Disponível em: <https://materioteca.paginas.ufsc.br/files/2016/09/ACV-areia.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2021.
- BEISER, V. **The World in a Grain: The Story of Sand and How It Transformed Civilization**. Version 1. New York. Riverhead Books, 2018.
- BRASIL. Lei nº 8.176, de 8 de fevereiro de 1991. Define crimes contra a ordem econômica e cria o Sistema de Estoques de Combustíveis. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l8176.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8176.htm). Acesso em: 07 mar. 2022.
- BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 3, Brasília, DF. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm). Acesso em: 07 mar. 2022.
- BUTTLER, A. M. **Concreto com agregado graúdos reciclados de concreto – Influência da Idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2003.

CANDIDO, M. **Mercado bilionário, areia tem extração ilegal e risco de acabar; há saídas**. UOL, 2020. Disponível em: <https://www.uol.com.br/ecoa/ultimas-noticias/2020/05/20/mercado-bilionario-areia-tem-extracao-ilegal-e-risco-de-acabar-ha-saidas.htm>. Acesso em: 18 dez. 2021.

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**. Instituto Tecnológico de Caratinga. Caratinga, 2017.

**COMO exploração sem limites de areia põe em risco grão que ‘transformou a civilização’**. BBC, 2018. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-45555528>. Acesso em: 04 abr. 2022.

**CONCRETO: Material construtivo mais consumido no mundo**. São Paulo: ANEPAC, 2009. ISSN 1809-7197. PDF.

**CONSTRUINDO o futuro, Sustentabilidade na Mineração de Agregados**. São Paulo: ANEPAC, 2013. Ed. Especial.

COSTA, M. J. **Avaliação do Uso da Areia Artificial em Concreto de Cimento Portland: Aplicabilidade de um Método de Dosagem**, Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2005.

**G1. Mineradora leva multa de R\$ 131,5 mil por causa de extração ilegal de areia em área de preservação em Igarassu**. G1, 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2021/03/03/mineradora-leva-multa-de-r-1315-mil-por-causa-de-extracao-ilegal-de-areia-em-area-de-preservacao-em-igarassu.ghtml>. Acesso em: 02 maio 2022.

GONÇALVES, J. P. **Desenvolvimento e Caracterização de Concretos de Baixo Impacto Ambiental e Contendo Argila Calcinada e Areia Artificial**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

HELENE, P.R.L; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland**. São Paulo. IBRACON, 2010. cap. 29.

LELLES, L. C. **Avaliação qualitativa de impactos ambientais oriundos da extração de areia em cursos d’água**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2004.

LIMA, R. C. **Areia artificial: Uma alternativa para uso em construção civil**. XIII Jornada de iniciação científica. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005.

LIRA, S. **A extração de areia no Brasil**. Revista Mineração, 2016. Disponível em: <https://revistaminerao.com.br/2016/12/22/extracao-ilegal-de-areia-no-brasil/>. Acesso em: 15 dez. 2021.

MENOSSE, R.T. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. Dissertação. Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2004.

MESQUITA, A. S. G. **Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina, Piauí**. Instituto Federal do Piauí, 2012.

MESQUITA, J. L. **Mineração de areia, a maior e mais perigosa indústria**. Mar Sem Fim, 2019. Disponível em: <https://marsemfim.com.br/mineracao-de-areia-a-maior-e-mais-perigosa-industria/>. Acesso em: 11 abr. 2022.

MOLETTA, I. M. **Área degradada pela extração de areia: Um estudo da derivação da paisagem no bairro de Umbará**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2005.

MUSTAFA, D. **Arranha-céus da cidade de Nova York**. Roteiros incríveis, 2018. Disponível em: [https://roteirosincriveis.com.br/old\\_version/destinos/america-do-norte/estados-unidos/nova-york/empire-state-conheca-o-arranha-ceu-mais-famoso-de-nova-york/](https://roteirosincriveis.com.br/old_version/destinos/america-do-norte/estados-unidos/nova-york/empire-state-conheca-o-arranha-ceu-mais-famoso-de-nova-york/). Acesso em: 19 maio 2022.

NOGUEIRA, G. R. F. **A extração de areia em cursos d'água e seus impactos: Proposição de uma matriz de interação**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2016.

PEREIRA, A. F. R.; ALMEIDA, S. L. M. **Obtenção de areia artificial da pedra Vigné**. Comunicação Técnica do XII JIC - Jornada de Iniciação Científica - CETEM, 07 e 08 de julho de 2004. Rio de Janeiro: CETEM, 2004.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do Concreto e Projetos de Edifícios**. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

RAMADON, L. F. **A extração ilegal de areia no Brasil**. Rio de Janeiro, 2016.

SÁ, N. V. V. A. **Influência da substituição de areia natural por pó de pedra no comportamento mecânico, microestrutural e eletroquímico de concreto**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2006.

SBRIGHI NETO, C. **“A Importância dos Conceitos Tecnológicos na Seleção dos Agregados para Argamassas e Concretos”**. Revista Areia & Brita, 2000. Ed. 12; p. 26 e 27.

SILVA, L. S.; DEMETRIO, J. C. C.; DEMETRIO, F. J. C. **Concreto Sustentável: Substituição da Areia Natural por Pó de Brita para Confeção de Concreto Simples**. Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, 2015.

SILVA, N. C. G.; OLIVEIRA, M. P. K.; SOUZA, J. S.; AMARAL, R. F.; PEREIRA, R. G. **Redução de impactos a partir da utilização de areia britada no Vale do Rio Doce**. XIII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. Universidade Vale do Rio Doce. Governador Valadares, 2016.

SILVA, R. V. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do concreto incorporado com resíduo de mármore em pó**. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2017, p. 19.

SOUZA, C. L. M.; AZEVEDO, E. S.; DIAS, F. L.; ANDRÉ, S. H.; ROCHA, S. B. **Utilização do pó de pedra em substituição a areia natural na produção do concreto**. Faculdade Capixaba de Nova Venécia. Nova Venécia, 2016.

SOUZA, F. **Rio Jacuí, na Região Metropolitana de Porto Alegre**. Ferdinando de Souza, 2017. Disponível em: <https://ferdinandodesouza.com/2017/10/13/o-rio-jacui-e-o-seu-famoso-delta/>. Acesso em: 16 maio 2022.

**SUPER caminhões de mineração**. Oficina Brasil Virtual, 2010. Disponível em: <http://oficinabrasilvirtual.blogspot.com/2010/11/super-caminhoes-de-mineracao.html>. Acesso em: 19 maio 2022.

TAMMARO, R. **Alta demanda pode fazer da areia um recurso escasso**. Jornal da USP, 2021. Disponível em: <https://jornal.usp.br/atualidades/alta-demanda-pode-fazer-da-areia-um-recurso-escasso/>. Acesso em: 14 maio 2022.

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

VIEIRA, E. G.; REZENDE, E. N. **Exploração Mineral de Areia e um Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado: É possível conciliar?** Escola Superior Dom Helder. Belo Horizonte, 2015.

ZANETTE, I. L. **Areia: Material indispensável no passado, presente e no futuro da humanidade**, [s.d.].