



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

THALES MACHADO NUNES

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE ROCHAS
ORNAMENTAIS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO: UMA REVISÃO LITERÁRIA**

JOÃO PESSOA

2020

THALES MACHADO NUNES

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE ROCHAS
ORNAMENTAIS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO: UMA REVISÃO LITERÁRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, Campus I, João Pessoa, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Cibelle Guimarães Silva Severo

João Pessoa
2020

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

N972e Nunes, Thales Machado.

Estudo de Viabilidade da Utilização de Resíduo de
Rochas Ornamentais na Produção de Concreto: Uma Revisão
Literária / Thales Machado Nunes. - João Pessoa, 2020.
92 f. : il.

Orientação: Cibelle Guimarães Silva Severo.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. sustentabilidade. 2. granito. 3. mármore. I. Severo,
Cibelle Guimarães Silva. II. Título.

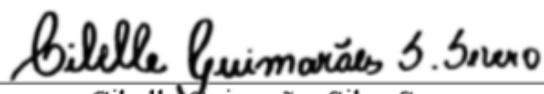
UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

THALES MACHADO NUNES

ESTUDO DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO: UMA REVISÃO LITERÁRIA

Trabalho de Conclusão de Curso em 04/08/2020 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Cibelle Guimarães Silva Severo

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Aline Flávia Nunes Remígio Antunes

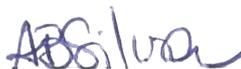
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Elisângela Pereira da Silva
UFCG

APROVADO



Prof.ª Andrea Brasiliano Silva

Matrícula Siape: 1549557

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente à minha mãe, Robéria Maria Linhares Machado, e ao meu pai, Antônio Carlos Pereira Nunes, por sempre terem sido presentes em minha vida e por terem me ensinado o real significado das palavras esforço e dedicação. Dedico esse trabalho a vocês por sempre incentivarem meus estudos independente de qualquer situação.

Agradeço aos meus tios, Maria Marineide Machado Dantas e Geraldo Dantas da Silva, por estarem me acolhendo e me acolherem sempre como um dos seus filhos. E aos meus primos, Emmanuel Machado Dantas, Emmanuela Machado Dantas, José Albino da Silva Neto e Adjaninny Machado Dantas por fazer me sentir como um de seus irmãos.

As amigas que firmei nesses anos de graduação, que tornaram a rotina da universidade mais humana e levarei comigo para fora da vida acadêmica. Aos companheiros de sempre Lucas Eduardo, Eduardo Bezerra, André rocha e Camila Andrade.

Aos professores da UFPB, que foram importantes para minha formação acadêmica e alguns que significaram mais que isso, acrescentando valores éticos, morais e de amizade.

À minha orientadora Prof.^a Cibelle Guimarães, por aceitar participar desse projeto, pela colaboração, solicitude, empatia, gentileza e disponibilidade de sempre estar disposta a me ajudar.

Ao professor Hildebrando, como professor, pela oportunidade de participação no seu projeto de iniciação científica, que com certeza contribuiu muito para minha formação acadêmica, e como pessoa, sempre se mostrando paciente e disposto a me ajudar.

Aos tantos outros que não caberiam em citação, mas que também são importantes nessa realização, meu muito obrigado!

RESUMO

Atualmente a busca por padrões mais sustentáveis de produção e consumo é responsável pela crescente melhora nos setores industriais e de incentivo as novas tecnologias. O processo de extração mineral gera grande impacto econômico, social e ambiental, por isso a utilização dos recursos naturais nesse setor é questionada. O setor de rochas ornamentais é responsável por grandes volumes de extração de matéria prima, chegando a milhões de toneladas de rochas que são extraídas, beneficiadas, exportadas e utilizadas comercialmente em todo país. Com toda essa demanda, é sabido que essa exploração exacerbada, ao mesmo tempo que gera grandes quantidades de matéria prima para a indústria, acomete o ambiente, com a extinção dos bens minerais e poluição, pela geração de resíduo e descarte irregular. Um dos materiais amplamente consumido no mundo é o concreto, apresentando importância como identificador de desenvolvimento social e econômico. A incorporação de resíduos na cadeia produtiva do concreto é objeto de estudo por viabilizar uma nova proposta para esse material, reinserindo-o em um novo ciclo produtivo, reduzindo assim o desgaste ambiental e não prejudicando tecnicamente as suas características como material estrutural. A metodologia de pesquisa consistiu em uma revisão literária, com o objetivo de verificar a utilização dos resíduos de rochas ornamentais na produção do concreto. Foi constatado uma grande flexibilidade para esse material, podendo ser utilizado como adição mineral, substituinte do cimento e dos agregados graúdo e miúdo. Dentre as alternativas levantadas foi elaborada uma breve discussão sobre os principais impactos desses resíduos nas propriedades do concreto, chegando à conclusão que há viabilidade técnica na sua utilização nos quatro tipos de incorporação.

Palavras chaves: sustentabilidade, granito, mármore.

ABSTRACT

Currently, the search for more sustainable patterns of production and consumption is responsible for the growing improvement in industrial sectors and the incentive for new technologies. The mineral extraction process generates great economic, social and environmental impact, which is why the use of natural resources in this sector is questioned. The ornamental stone sector is responsible for large volumes of raw material extraction, reaching millions of tons of rocks that are extracted, processed, exported and used commercially throughout the country. With all this demand, it is known that this exacerbated exploitation, at the same time that it generates large quantities of raw material for the industry, affects the environment, with the extinction of mineral goods and pollution, by the generation of waste and irregular disposal. One of the most widely consumed materials in the world is concrete, presenting importance as an identifier of social and economic development. The incorporation of waste in the concrete production chain is the object of study because it enables a new proposal for this material, reinserting it in a new production cycle, thus reducing environmental wear and not technically damaging its characteristics as a structural material. The research methodology consisted of a literary review, in order to verify the use of ornamental stone residues in the production of concrete. Great flexibility was found for this material, which can be used as a mineral addition, replacing cement and coarse and fine aggregates. Among the alternatives raised, a brief discussion was elaborated on the main impacts of these residues on the concrete properties, reaching the conclusion that there is technical feasibility in their use in the four types of incorporation.

Keywords: sustainability, granite, marble.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação dos recursos naturais.....	19
Figura 2: Consumo de Brita no Brasil.....	24
Figura 3: Consumo de Areia no Brasil.....	25
Figura 4: Prioridade da geração de resíduos.....	27
Figura 5: Composição dos resíduos em Salvador (2006).....	30
Figura 6: Exemplo de rocha intrusiva: Gabro.....	35
Figura 8: Exemplo de rocha sedimentar: Calcário.....	36
Figura 9: Exemplo de rocha metamórfica: Mármore.....	37
Figura 10: Evolução da produção mundial de rochas ornamentais (milhões de tonelada/ano)	39
Figura 11: Lavra por desabamento.....	41
Figura 12: Lavra seletiva.....	41
Figura 13: Lavra de matacões.....	42
Figura 14: Lavra por bancadas altas.....	43
Figura 15: Lavra subterrânea.....	43
Figura 16: Resíduos da produção de rochas ornamentais.....	45
Figura 17: Ponte de Chazelet.....	49
Figura 18: Influência da sílica ativa na matriz cimentícia.....	67
Figura 19: Tipos de água na microestrutura do concreto.....	69
Figura 20: Etapas de uma Revisão Sistemática.....	71
Figura 21: Relação dos artigos por ano de publicação.....	75
Figura 22: Tipo de utilização dos resíduos.....	76
Figura 23: Distribuição dos artigos segundo o periódico.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Geração de RCD nas regiões do Brasil em 2018	31
Tabela 2: Produção brasileira em 2017	47
Tabela 3: Classificação da pedra britada	54
Tabela 4: Consistência medida pelo abatimento	60
Tabela 5: Classificação dos agentes agressivos.....	63
Tabela 6: Relação dos artigos por ano de publicação.....	Error! Bookmark not defined.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Combinações e Palavras-chave	73
Quadro 2: Aplicação dos Operadores Booleanos	74
Quadro 3: Quantidade de artigos gerada nas combinações complementares	76

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	12
1.1.1 Geral	12
1.1.2 Específicos.....	13
1.2 Justificativa.....	13
1.3 Estrutura do Trabalho	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 Sustentabilidade.....	16
2.1.1 Recursos naturais e desenvolvimento sustentável.....	17
2.1.2 Economia circular e logística reversa.....	20
2.2 Um panorama sobre o consumo de recursos naturais utilizados pela indústria da construção.....	23
2.2.1 Indústria de Agregados no Brasil	23
2.2.2 Mineração e exploração de recursos naturais	26
2.3 Sustentabilidade na construção civil	27
2.3.1 Geração.....	29
2.3.2 Reuso	31
3 INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS	33
3.1 Tipos de rochas.....	33
3.1.1 Rochas Magmáticas.....	34
3.1.2 Rochas Sedimentares.....	36
3.1.3 Rochas Metamórficas	37
3.2 Rochas Ornamentais	38
3.2.1 Extração.....	39
3.2.2 Beneficiamento.....	44
3.2.3 Geração de resíduos e aproveitamento	44
3.2.4 Tipologia.....	45
3.2.5 Histórico do Cenário Brasileiro	46
4 CONCRETO	49
4.1 Breve histórico.....	49
4.2 Concreto como material estrutural	50

4.2.1 Componentes do concreto	51
4.3 Propriedades do concreto.....	59
4.3.1 Estado fresco	59
4.3.2 Estado endurecido.....	62
4.4 Influência dos agregados no concreto	65
4.5 Influência das adições minerais no concreto	66
4.6 Influência da água no concreto	68
5. METODOLOGIA.....	70
5.1 Tipos de revisão.....	70
5.2 Parâmetros da Revisão.....	72
5.2.1 Definição da Pergunta de Estudo.....	72
5.2.2 Seleção dos Artigos	72
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	76
6.1 Trabalhabilidade	77
6.2 Resistência do concreto	79
6.3 Permeabilidade e Porosidade.....	81
6.4 Resistência à Carbonatação e Penetração de Cloretos.....	82
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

1 INTRODUÇÃO

Conto *et al* (2017) afirma que a indústria da construção civil tem grande participação no desenvolvimento econômico e social através da criação de infraestrutura, redução do déficit habitacional, geração de emprego e renda. Apesar dos benefícios sociais e econômicos dessa indústria, como tão grande é o serviço, grande também é a sua demanda necessitando de uma grande quantidade de matéria prima que para essa indústria são recursos naturais, fontes esgotáveis e insubstituíveis ao meio ambiente. Portanto, percebemos o quão necessário é a intervenção e o traçado de novas diretrizes para que o caminho entre economia e sustentabilidade seja o menor possível.

A partir da década de 70, com a intensificação dos impactos gerados pelo setor industrial começou a crescer os movimentos ambientalistas e da medicina social, a noção dos problemas ambientais e sua relação com a saúde se ampliou criando um novo campo de estudo: o da saúde ambiental (MAURY, 2012). Com o passar dos anos o modelo linear de economia deu lugar a um modelo mais dinâmico e ligado ao desenvolvimento sustentável. A economia circular, ao abordar a possibilidade de criação de produtos em um sistema de ciclo, reduz a dependência de recursos e ao mesmo tempo elimina ou minimiza o desperdício. O que se pretende com esse modelo é a correlação entre produção e insumos. De modo que se algum produto não puder ser realocado no processo, poderá ser designado para outro setor produtivo (LABOISSIÈRE, 2015).

Os processos de construção civil contribuem significativamente com a degradação ambiental, desde a exploração dos recursos naturais, por meio da mineração, até a fabricação de insumos essenciais, como na indústria de cimento, grande contribuinte para a geração de gases do efeito estufa. Devido a necessidade de reduzir os fatores que poluem e degradam o ambiente que diversas alternativas são utilizadas para desacelerar e minimizar os impactos causados pela indústria da construção. Um dos meios encontrados para a redução do risco ambiental é a incorporação de outros produtos como alternativa técnica e viável. Abreu (2014) comenta que a introdução dessas novas tecnologias no processo de manufatura dos produtos, como agregados no concreto, acaba possibilitando um ganho ambiental.

No Brasil a indústria de rochas ornamentais possui uma grande demanda no mercado interno além de ser caracterizada como uma grande produtora e exportadora. Xavier (2019) levanta que em 2016 foi exportado um total de 2,46 milhões de toneladas de rochas ornamentais e de revestimento para 120 países. Esse setor utiliza como processos a extração do material e seu beneficiamento. Utilizado para fins interiores e paisagísticos, a indústria de rochas ornamentais é de grande contribuição para a geração de resíduos. A matéria prima necessita passar por um processo de beneficiamento, onde ocorre a transformação da rocha bruta em um produto final dimensionado, polido e acabado. O principal processo gerador de resíduo é o corte das placas. Para as peças de mármore e granito são dadas as mais diversas formas, gerando desperdício tanto na sobra das placas, quanto pela formação de pó de rocha ocasionado pelo corte.

Alguns dos estudos sobre materiais alternativos usados na construção civil foca na análise do resíduo de corte de rochas ornamentais. Por se tratar de um material rochoso com boas qualidades, esse tipo de resíduo vem sendo estudado na incorporação ao concreto. Dentre as maneiras mais usuais desse tipo de rejeito estão a utilização como fíler, substituição do agregado pelo resíduo ou ainda pela substituição fracionada do material cimentício.

1.1 Objetivos

O presente trabalho busca analisar a influência da utilização do resíduo de rochas ornamentais na produção de concretos através de uma revisão literária do tema buscando resposta na literatura para a possível aplicação desse tipo de material como fonte viável, técnica e econômica.

1.1.1 Geral

Este trabalho busca contribuir em uma alternativa para a diminuição dos impactos causados pela indústria da construção civil através do estudo bibliográfico do uso do resíduo de corte de rochas ornamentais na indústria do concreto.

1.1.2 Específicos

Competem aos objetivos específicos:

- a) Trazer a ideia da importância do uso de materiais alternativos na indústria da construção civil como fator responsável pela redução do passivo ambiental;
- b) Fazer o levantamento e listar as alternativas possíveis de utilização do resíduo de rochas ornamentais na produção de concreto;
- c) Analisar e discutir as alternativas encontradas para a utilização do resíduo de rochas ornamentais na produção de concreto.

1.2 Justificativa

A temática da gestão de resíduos ocupa grande parte da agenda de ações sustentáveis nas conferências ambientais. Seja em uma menor escala, como no caso de uma empresa, ou em grande escala, como em um setor industrial, a abordagem desse contexto é o ponto crítico para que se dê um passo rumo a sustentabilidade dos processos (LABOISSIÈRE, 2015). Ainda segundo o autor, em 2007 a questão dos resíduos já superava a questão do aumento populacional, apontando uma questão de comportamento (individual, social, etc.).

Observa-se que o fator de crescimento econômico e social é incompatível com um ambiente finito, em que os recursos naturais, capacidade de absorção e reciclagem de resíduos são limitados (BRAGA *et al.*, 2005). John *et al* (2002) aponta que uma das alternativas para o problema do consumo exagerado de recursos naturais é alcançar uma forma de utilizar menores quantidades, sem afetar o ambiente, representando por consequência uma redução dos poluentes e a manutenção dos recursos naturais. Outra forma de minimizar os efeitos é utilizar a reciclagem no ciclo produtivo, de forma que o resíduo gerado possa retornar ao processo produtivo como matéria prima.

Segundo Braga *et al* (2005), à viabilidade técnica e econômica de uma obra de engenharia adicionou-se a viabilidade ambiental. Atualmente as decisões contratuais de empreendimentos e/ou exploração não está ligada somente ao retorno econômico que pode gerar, mas questões ambientais entram em discussão de forma obrigatória por meio das legislações ambientais.

A construção civil é um setor industrial que necessita de recursos naturais como fonte dos seus processos produtivos. Por conta dessa carência ele acaba sendo responsável por ocasionar um incessante impacto ambiental, estando ligada também a uma grande parcela da poluição e geração de resíduos. De acordo com Conto *et al* (2017) um total de 35 % dos recursos naturais consumidos pelo setor produtivo são derivados da construção civil e como aponta John *et al* (2002) aproximadamente 3% do CO₂ gerado mundialmente ocorre pela decomposição da cal na produção do clínquer.

A indústria cimentícia é responsável por grande impacto tanto ao meio ambiente quanto à saúde humana. Por mais que, com o passar dos anos, as tecnologias tenham melhorado os impactos ainda são observados, mas em menor escala. Portanto, as influências não se limitam ao campo dos recursos naturais, mas também da liberação de gás carbônico e emissão de material particulado. Das contribuições específicas da indústria de cimento temos que 50% se refere a produção, 40% ao processo de clínquerização e 10% relativos ao transporte e uso da eletricidade. Já, sendo considerado um produto básico da construção civil, o concreto de cimento Portland utiliza, em média, por metro cúbico, 42% de agregado graúdo, 40% de areia, 10% de cimento, 7% de água e 1% de aditivos químicos (CETEM, 2012).

O setor de exploração mineral também tem grande participação na geração de resíduos pela demanda do mercado que, como aponta a ABIROCHAS (2019), nos últimos 25 anos a produção brasileira de rochas teve uma taxa de crescimento apenas inferior à do gás natural. O Brasil, em 2018, ocupou o 5º lugar no ranking de produtores mundiais com uma participação de 5,4%. Em 2017 as exportações de rochas ornamentais e seus variados produtos comerciais somaram 2,36 milhões de toneladas, correspondendo a um total de faturamento de US\$ 1,1 bilhão; já se tratando de importações, no mesmo ano, o Brasil bateu o faturamento de US\$ 35,9 milhões para um total de 6,1 mil toneladas (ABIROCHAS, 2018). Com esses dados podemos perceber a importância econômica desse setor, o porquê há tanta procura de investimento nessa área e os impactos causados por essa grande absorção de recursos.

As etapas de beneficiamento de rochas ornamentais geram diferentes tipos de resíduos, como pós ou pedaços de rocha de dimensões variadas, desde centímetros até metros, além de restos de insumos industriais, tais como abrasivos (SANTOS, 2016). É estimado que os resíduos gerados desde a lavra até o beneficiamento final representem perdas de matéria prima na ordem de 83%, algumas delas da natureza do próprio material, não sendo caracterizado como resíduo.

Durante o processo de corte, a lama gerada apresenta aproximadamente 30% de pó de rocha e estima-se que sejam geradas 2,2 toneladas de lama por metro cúbico de rocha.

Buscando melhorar a sustentabilidade no setor de rochas ornamentais, ao longo dos anos esse tema é cada vez mais abordado, desde propostas e melhoria nos processos de extração, lavra e beneficiamento, até a utilização desses resíduos como subprodutos para um novo ciclo da cadeia produtiva. Como comenta Santos (2016), os estoques remanescentes (blocos rochosos derivados dos processos primários de extração) podem ser posteriormente transformados em britas, areia artificial e material fino para várias aplicações na construção civil.

Dessa forma, dando continuidade aos estudos nessa área de utilização de materiais alternativos e observando o grande potencial de reutilização desse recurso natural, esse trabalho foca na produção de concreto usando como materiais componentes os resíduos de rochas ornamentais. Foi utilizado o modelo da sistemática de literatura de modo a colher as possíveis utilizações desse material no concreto e propor sua utilização.

1.3 Estrutura do Trabalho

O Capítulo 1 foi dedicado a uma breve introdução dos temas que serão apresentados durante a pesquisa, bem como sua importância como justificativa desse trabalho.

O Capítulo 2 abordará a sustentabilidade. Serão mostradas as definições, conceitos e todo o caminho que liga esse tema ao setor da construção civil no que concerne a exploração de recursos naturais, o impacto da indústria da construção civil no meio ambiente e as formas para minimizar seus efeitos.

O Capítulo 3 é dedicado a discutir sobre a indústria de rochas ornamentais no país e no mundo, seu consumo, produção, processo e as formas de extração mais utilizadas. É apresentado como essa indústria lida com a geração de resíduo e como ocorre a sua relação com as questões ambientais.

O capítulo 4 será focado no concreto, apresentando as principais características que fazem dele o material mais utilizado em construções de maneira geral. Abordará sua constituição em termos de elementos integrantes, exposição das propriedades (como as características nos estados fresco e endurecido), bem como fatores que influenciam sua vida útil e qualidade técnica.

O Capítulo 5 aborda a metodologia utilizada na pesquisa desse trabalho. Mostra inicialmente o conceito das revisões literárias como forma interativa de busca, facilitando o processo crítico de levantamento dos dados e análise dos resultados, e aborda a elaboração e montagem da revisão para esse trabalho.

O Capítulo 6 é focado na análise da bibliografia colhida. É mostrada as alternativas utilizadas na indústria da construção civil para incorporar o resíduo de rochas ornamentais no processo de produção do concreto. Os resultados serão mostrados no contexto da viabilidade técnica e se são satisfatórios.

No capítulo 7 é concluído o trabalho por meio de um breve fechamento do tema acerca da utilização do resíduo de rochas ornamentais na produção do concreto e sua importância ambiental. É comentado quais os maiores sucessos dos pesquisadores de forma a melhor conduzir as próximas pesquisas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sustentabilidade

Segundo Zangalli Jr (2013) um dos desafios enfrentados por esse século é superar o conflito existente entre desenvolvimento e preservação do meio ambiente, e a sustentabilidade vem sendo debatida durante longos anos. De acordo com Corrêa (2009) desde a década de 60 que questões ambientais são levantadas fortemente em conferências. Com o intenso avanço da industrialização e seus processos produtivos foi necessário implantar diretrizes para que países não pudessem usurpar o direito das sociedades futuras de um meio ambiente saudável e a preocupação com essa temática se deu ao perceber que, ao longo dos anos, a utilização dos recursos naturais superaria o potencial de regeneração natural. O Clube de Roma em seu primeiro relatório, intitulado “Limits to Growth” de 1972, esboçou cenários bastante

catastróficos para o futuro devido ao padrão desenvolvimentista da época. A partir de então a questão do desenvolvimento sustentável e busca por questões mais racionais de uso dos recursos naturais começaram a ter mais importância e foram pauta de diversas outras conferências.

Os princípios de direito ambiental foram originados principalmente a partir da Declaração de Estocolmo (1972) que pregava o princípio da prudência ou cautela, princípio da responsabilidade, princípio do poluidor-pagador e o princípio da cooperação entre os estados (CUNHA *et al*, 2011). Em 1983 foi criada a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), pela ONU, promovendo audiências por todo mundo. Em 1987 foi aprovado o relatório intitulado “Nosso Futuro Comum”, também conhecido como relatório de Brundtland. Nele o conceito de sustentabilidade foi apresentado e dizia que o desenvolvimento sustentável é aquele que consegue satisfazer as necessidades presentes sem interferir e/ou alterar as gerações futuras. Em contrapartida há um grande enalce no modelo de desenvolvimento sustentável que é o desenvolvimento econômico. Por conta dessa dualidade de pensamentos ocorreram diversas conferências desde a Declaração de Estocolmo em 1972, até a Rio+20, em 2002.

Em junho de 1992 aconteceu no Brasil a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), conhecida com cúpula da terra, Rio-92 ou ECO-92. Teve como sede a cidade do Rio de Janeiro e reuniu representantes de 175 países e de Organizações Não-Governamentais, sendo considerado o evento de maior representação no século XX e ocorrendo 20 anos depois da primeira conferência do tipo, em Estocolmo (CORRÊA, 2009; CUNHA *et al.*, 2011). Essa conferência colocou o homem no centro das preocupações relacionadas ao desenvolvimento sustentável ao considera-lo como participante da diversidade biológica existente no ambiente. No âmbito das relações entre países foi acordado que deveria ser concebido investimento financeiro e tecnológico para os países em desenvolvimento, de forma a alcançar os padrões sustentáveis a serem alcançados.

2.1.1 Recursos naturais e desenvolvimento sustentável.

Segundo Braga *et al* (2005) um recurso natural é definido como qualquer insumo de que os organismos, as populações e os ecossistemas necessitam para sua manutenção. Desse modo percebemos a importância de quantificar e identificar a utilização desses recursos. Torres

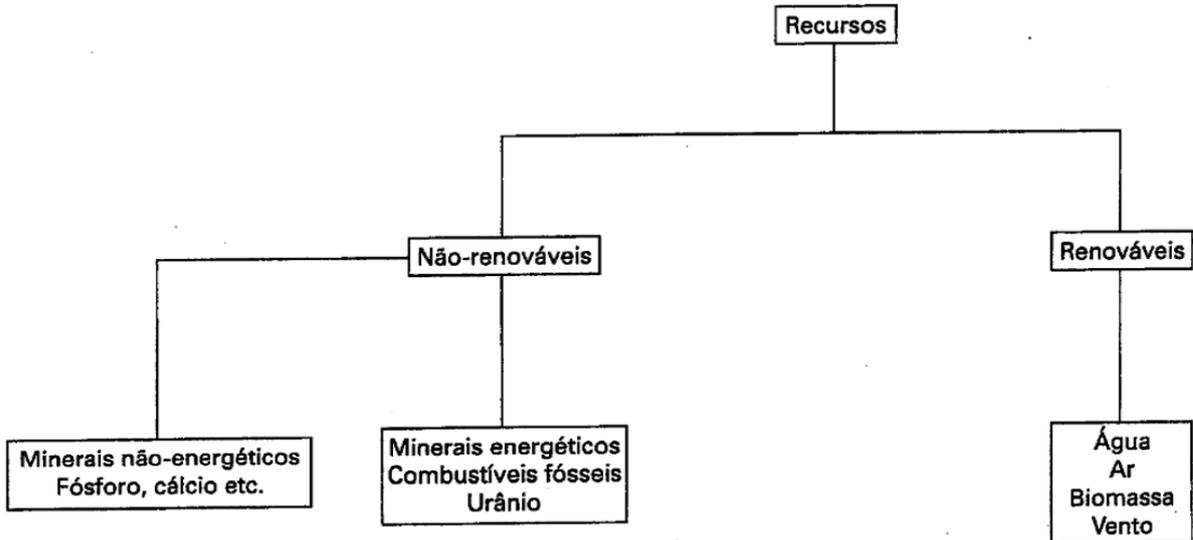
& Gama (2005) apontam o desenvolvimento sustentável como alternativa para o uso dos recursos naturais de forma: prudente, racional e/ou apropriado. Ainda segundo o autor, o desenvolvimento sustentável propõe a garantia de uma utilização ideal dos recursos naturais, de modo a não comprometer o esgotamento dos recursos não renováveis e a capacidade do planeta em gerar recursos renováveis.

É comum classificar os recursos naturais em 4 grupos:

- a) Recursos biológicos: são os relacionados a diversidade genética do planeta como plantas, animais, frutos, etc. São utilizados na alimentação, construção, medicina e contribuem para o equilíbrio da biodiversidade dos ecossistemas.
- b) Recursos hídricos: são as formações aquáticas, superficiais e subterrâneas, encontradas no globo terrestre (rios, lagos, oceanos). São utilizados para consumo, na indústria, geração de energia, etc.
- c) Recursos energéticos: são os que fornecem energia ao meio ambiente e ao homem como os combustíveis fósseis (carvão, petróleo). São utilizados em processos industriais ou para a geração de energia (solar, eólica, biomassa).
- d) Recursos minerais: são os de característica geológica, compreende os compostos minerais existentes no globo terrestre (ferro, cobre, cálcio, grafite, etc.) e as rochas (mármore, calcáreo, etc.)

Também é comum classificar quanto a sua disponibilidade: renováveis ou não-renováveis, como ilustra a Figura 1.

Figura 1: Classificação dos recursos naturais



Fonte: Braga *et al* (2005)

Os recursos renováveis podem ser utilizados sem risco à sua existência futura, pois pelos processos naturais eles voltam a ser disponíveis. Como exemplo temos o ar, a energia eólica e a água, em seu ciclo hidrológico (BRAGA *et al.*, 2005). Um recurso renovável dependendo da situação de uso pode se tornar um recurso não-renovável, com o passar dos anos ou pelo aumento da demanda, sua capacidade de estimulação pode ser alterada, iniciando um processo de extinção.

Por sua vez, um recurso não-renovável representa um bem que, se utilizado, não poderá ser aproveitado para aquela mesma finalidade. Existem alguns tipos de recursos não renováveis considerados como minerais energéticos (combustíveis fósseis e urânio) e minerais não-energéticos (cálcio, fósforo) (BRAGA *et al.*, 2005).

De acordo com a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED), o desenvolvimento sustentável possui dois grandes objetivos. Em termos sociais, ela visa atender as necessidades dos menos favorecidos e ao meio ambiente, visa reduzir o desgaste dos recursos naturais. Para tal é necessário que haja compreensão de que, se no presente não

forem tomadas medidas que mitiguem os impactos gerados, o futuro sofrerá com a carência de recursos naturais e um meio ambiente saudável.

Leitão (2015) afirma que a inovação de produtos e serviços, sistemas produtivos e modelos de negócio, a partir de um novo paradigma de sustentabilidade para gerar crescimento econômico, bem estar social e restauração ecológica dentro dos limites dos ecossistemas, é um dos desafios do século XXI. Como aponta Braga *et al* (2005), o modelo assegurado pelo consumismo representa um sistema aberto que depende da permanente alimentação de matéria e energia, e o sucesso desse modelo se baseia em três fatores:

- I. Suprimento inesgotável de energia;
- II. Suprimento inesgotável de matéria;
- III. Capacidade infinita do meio de reciclar matéria e absorver resíduos.

Os avanços econômicos acabam gerando mudanças no estilo de vida da população tendo como consequência o aumento desenfreado pelo consumo, degradando de maneira inconsequente a natureza (CONTO; OLIVEIRA; RUPPENTHAL, 2017). Geralmente acaba acontecendo a colisão entre modelos dentro de uma sociedade. Nesse âmbito estamos discutindo sobre o modelo econômico, social e sustentável. O crescimento econômico e o desenvolvimento social muitas vezes entram em conflito com a proposta de sustentabilidade, pois seus preceitos de desenvolvimento do setor industrial e crescimento das cidades vão de encontro a princípios como a redução das emissões gases do efeito estufa, minimização da poluição ambiental e redução dos recursos naturais. Braga *et al.* (2005) aponta a forte ligação que a economia tem com o meio ambiente ao dizer que um insumo só é considerado como recurso quando sua exploração se torna economicamente viável.

2.1.2 Economia circular e logística reversa

De acordo com Laboissière (2015) o modelo de economia adotado na era da revolução industrial aumentou a eficiência na produção e proporcionou a descoberta de novas tecnologias. Portanto, desde meados do século XIX com a revolução industrial o mundo passa por um processo de inovação tecnológica constante, onde o aumento da produção de bens de consumo acaba gerando uma diminuição dos recursos naturais utilizados como insumos. O modelo de

produção adotado é linear, com processos sequenciais em uma cadeia produtiva e os produtos gerados nunca retornam para alimentar a produção.

Segundo Foster *et al* (2016) tal modelo pressupõe a depleção contínua de recursos naturais e também se caracteriza pelo descarte acelerado e precoce dos bens consumidos. Portanto o modelo linear aliado ao crescimento do setor industrial acarreta uma maior exploração, necessidade de recursos naturais e por consequência maior geração de resíduos. A geração e a destinação dos resíduos são apontadas como uma das principais fontes poluidoras do meio ambiente, portanto, é necessário buscar alternativas que combatam na origem.

Barboza *et al* (2019) explica que a busca pela sustentabilidade ambiental está relacionada a maneiras inovadoras propostas pelas empresas como soluções para problemas sociais e ambientais. Uma alternativa encontrada é a utilização do conceito de economia circular. Considerada como o sistema do futuro, propõe a dissociação do modelo linear em substituição a um modelo mais dinâmico de retroalimentação. A proposta é modificar os processos tornando-os cíclicos, onde os recursos possam ser reinseridos na cadeia produtiva, diminuindo as perdas e os resíduos gerados nos processos. O que antes era considerado como resíduo deve ser considerado como matéria prima de outro processo, tal que o fluxo de materiais possa ser mantido continuamente num ciclo industrial fechado (LEITÃO, 2015). Essa ideia pretende dar outro significado à palavra “desperdício” já que o resíduo gerado pode ser inserido em um novo ciclo de produção ou pode ser comercializado.

Com o crescimento do mercado e o paradigma de um setor industrial mais sustentável é necessário pensar em alternativas que minimizem os impactos dos processos industriais, desde a redução dos desperdícios até o uso racional dos recursos naturais. Segundo Barboza *et al* (2019), a economia circular visa a dissociação do desenvolvimento econômico do consumo dos recursos naturais. Ela busca romper o modelo econômico antes adotado, o linear, que se baseia em: extrair, transformar e descartar. Nesse novo modelo os materiais são elaborados para circular de forma eficiente e serem realocados nos processos produtivos, sem perda de qualidade. Portanto, busca manter os processos produtivos, de forma que não haja perdas, mas adequando o uso dos insumos e resíduos à produção de modo a retroalimentar o processo, implicando em criação de empregos, reciclagem e redução de impactos ambientais.

Essa nova abordagem para os processos produtivos gera vantagens tanto operacionais quanto estratégicas, em ambos os níveis, micro e macro econômico, trazendo consigo oportunidades de inovação ao setor, geração de empregos e estímulo ao crescimento econômico inteligente, sustentável e integrador, com efeitos positivos sobre a vida econômica e social, deixando de lado a ideia de que o crescimento é danoso o ambiente (LEITÃO, 2015).

O problema enfrentado é o mesmo quanto a outros modelos já existentes. Por existir a necessidade de inovação, também há necessidade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Grande parte dos setores inclusive o da construção civil é considerado tradicional, ou seja, ocorre uma dificuldade ao se propor aplicações de novos métodos e novas tecnologias. A falta de capital de pequenas empresas também se configura como uma barreira para os novos caminhos, implicando na necessidade de mecanismos de investimento (LEITÃO, 2015).

Outra forma de se pensar em sustentabilidade e manutenção do meio ambiente é através da logística reversa. Segundo Laboissière (2015) a logística reversa é o aspecto da economia circular quando aplicado a normalização brasileira referente aos resíduos sólidos. A política Nacional de Resíduos sólidos a define como:

“instrumento desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada”. (BRASIL, 2010, Art 3º, inciso XII)

A proposta da logística reversa é viabilizar o reaproveitamento dos resíduos sólidos no processo produtivo diminuindo o envio de materiais para a disposição no solo (ABRELPE, 2019). Segundo Luchezzi & Terence (2013), a discussão gera em torno dos desafios encontrados para reinserir esses materiais usados na construção civil novamente na cadeia produtiva, o modo como esses recursos vão ser gerados nos processos de reuso e como essa alternativa contribui para a sustentabilidade.

A construção civil apresenta dificuldades por ser um setor ainda muito conservador e até certo ponto inflexível com algumas propostas de inovação. Por ser uma indústria que agrega grandes lucros, passa a negligenciar algumas etapas dos processos. Atualmente o mercado

dispõe de alternativas ligadas a tecnologias e mecanismos de gestão, que se comparado a outros segmentos percebemos a construção civil em atraso. Segundo Luchezzi & Terence (2013) a logística aplicada não serve mais, pois o problema atual não é só a destinação dos resíduos, mas sim como eles retornarão as empresas. O volume observado de descarte não consegue acompanhar a taxa de reaproveitamento causando um desequilíbrio entre geração e reciclagem.

A escassez de um modelo de logística reversa aplicada a construção civil aliada as legislações ambientais como CONAMA n°307 e Lei n° 12.305, fizeram com que as empresas percebessem o custo da não implantação de um modelo sustentável. Ademais, como objetivo maior a mudança da cultura do consumismo, as empresas são partes diretamente influenciadoras nesse processo. Elas devem enxergar os benefícios, que vão além do social e ambiental, mas sim do econômico para elas.

2.2 Um panorama sobre o consumo de recursos naturais utilizados pela indústria da construção

2.2.1 Indústria de Agregados no Brasil

Agregados para a construção civil são materiais minerais, considerados inertes, utilizados na indústria da construção civil nos mais variados tipos de obras. Os mais comuns são a areia, pedra britada e cascalho. São obtidos de materiais rochosos, consolidados ou granulares e com fragmentação natural ou mecânica. Sua extração pode ser decorrente de rochas sedimentares como arenitos e siltitos, rochas metamórficas como calcário e gnaiss ou rochas ígneas como os granitos e basaltos. Segundo Luchezzi & Terence (2013) a construção civil é responsável pela construção e manutenção da infraestrutura do país e consome até 75% dos recursos naturais extraídos.

De acordo com Conto, Oliveira e Ruppenthal (2017) estima-se que o setor da construção civil consuma em torno de 9,4 ton./hab. ano de materiais de construção. O nome agregado deriva do fato desses materiais servirem de insumos para os materiais mais utilizados em obras em geral: as argamassas, concretos e em obras de infraestrutura, como os asfaltos. A produção de 2015 foi de aproximadamente 519 milhões de toneladas e faturamento de R\$ 15 bilhões. Tal fato deu a areia e a pedra britada o 1° e 2° lugar respectivamente, no ranking da Produção Mineral Brasileira.

O Brasil possui uma ampla e diversificada gama de produtores. Segundo a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção (ANEPAC) esse setor industrial abrange cerca de 3100 empresas, sendo elas: 600 de produção de brita e 2500 de extração de areia, gerando um total de 75.000 empregos diretos e 250.000 não diretos.

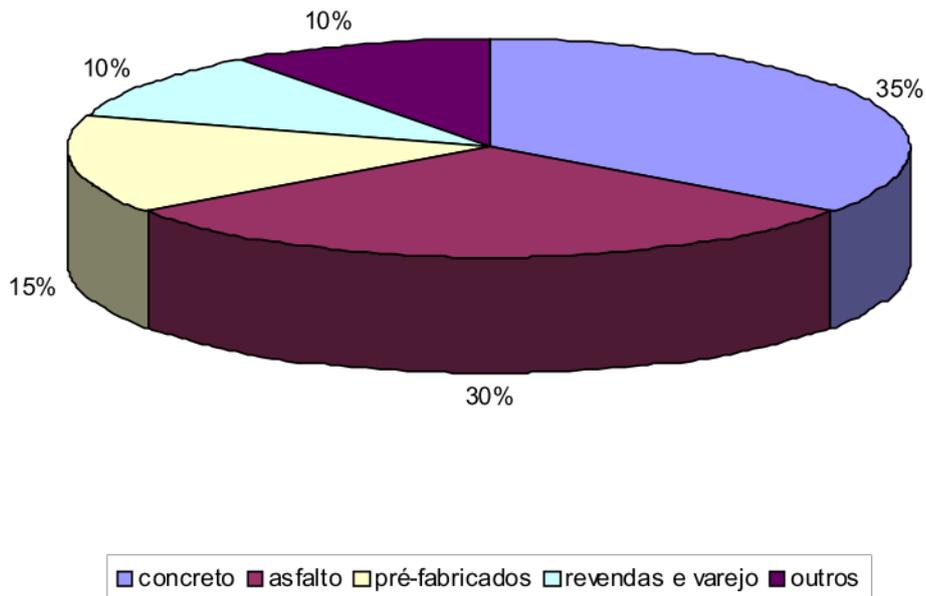
Segundo CETEM (2012) a produção de areia e brita gira em torno dos seguintes índices.

- Em relação a Brita:

- 60% das empresas produzem menos de 240.000 toneladas/ano;
- 30% produzem entre 240.000 e 480.000 toneladas/ano;
- 10% produzem mais de 480.000 toneladas/ano.

A Figura 2 ilustra a porcentagem da brita em relação à sua finalidade como agregado e percebe-se a sua influência como material construtivo somando 80% do consumo total abrangendo a aplicação em concretos e pavimentação.

Figura 2: Consumo de Brita no Brasil

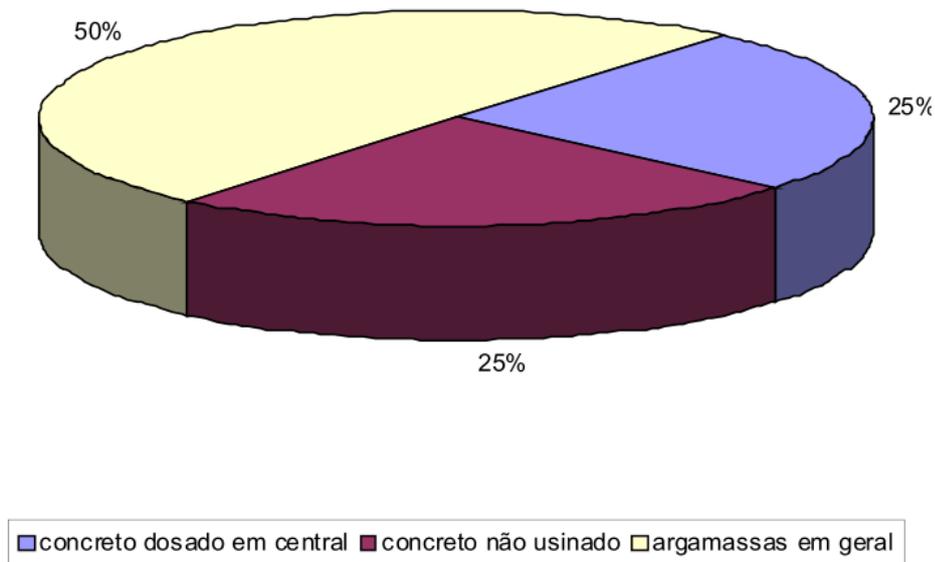


Fonte: CETEM (2012)

- Em relação a Areia:
 - 60% das empresas produzem menos de 120.000 toneladas/ano;
 - 35% produzem entre 120.000 e 300.000 toneladas/ano;
 - 5% produzem mais de 300.000 toneladas/ano.

Atualmente 90% da produção de areia é obtida pela extração em leito de rios e 10% em outras fontes (CETEM, 2012). Essa exploração é responsável pela degradação ambiental devido ao assoreamento dos rios e degradação dos cursos d'água, ocasionados pela retirada da cobertura vegetal nas áreas a serem lavradas. Percebemos que toda a areia consumida no Brasil é transformada em insumo para a construção civil, como mostra a Figura 3.

Figura 3: Consumo de Areia no Brasil



Fonte: CETEM (2012)

A produção de agregados no Brasil é refletida na questão da qualidade de vida da população, esse setor está associado a construção da infraestrutura das cidades com obras de pavimentação, saneamento básico, edifícios, pontes, aeroportos, etc. São os recursos naturais mais explorados no mundo e o seu consumo reflete um indicador do perfil socioeconômico de um país (CETEM, 2012). De acordo com o SINDIPEDRAS, a brita representa 2% do custo total de uma edificação e 60% do seu volume, e em obras de pavimentação chega a 30% sua participação no custo total.

2.2.2 Mineração e exploração de recursos naturais

A indústria da mineração sempre foi vista de maneira negativa pelos impactos provocados ao meio ambiente e por muito tempo as empresas não tiveram iniciativa a questões ambientais ou desenvolvimento tecnológico que reduzissem os impactos produzidos. Segundo CETEM (2014) a mineração passa por alguns estágios no Brasil no que se refere à questões de sustentabilidade. Em meados de 1970 começaram a se discutir questões mais amplas no que se refere a poluição ambiental e desenvolvimento das cidades, colocando em cena os setores industriais como o da mineração.

De acordo com IBRAM (2013) a mineração pode ser classificada como um processo de extração de minerais, ou compostos minerais, de valor econômico para o usufruto da humanidade. A indústria é caracterizada como primária por seus bens serem derivados da crosta terrestre, e sequencialmente comercializados por outras indústrias como a da construção civil. A mineração de agregados no Brasil destaca-se por seus grandes volumes de produção e chega a representar de 3% a 5% do Produto Interno Bruto (PIB). Eles são considerados como matérias primas, brutas ou beneficiadas, para o uso em obras de edificações, infraestrutura e etc. Um indicativo de desenvolvimento de um país é o consumo per capita desses materiais seja como insumos, areia e brita, ou como concreto. Por se tratar de insumos necessários para a construção de escolas, indústrias, aeroportos, reflete o desenvolvimento econômico e social de uma região. Embora as políticas ambientais tornem prioritárias às ações de desenvolvimento do meio ambiente, a iniciativa do setor industrial nessa temática ainda é um grande diferencial para a conscientização das comunidades e sucesso dos negócios. A análise dos benefícios e desvantagens ligadas as atividades de extração mineral são de extrema importância socioambiental para a sociedade.

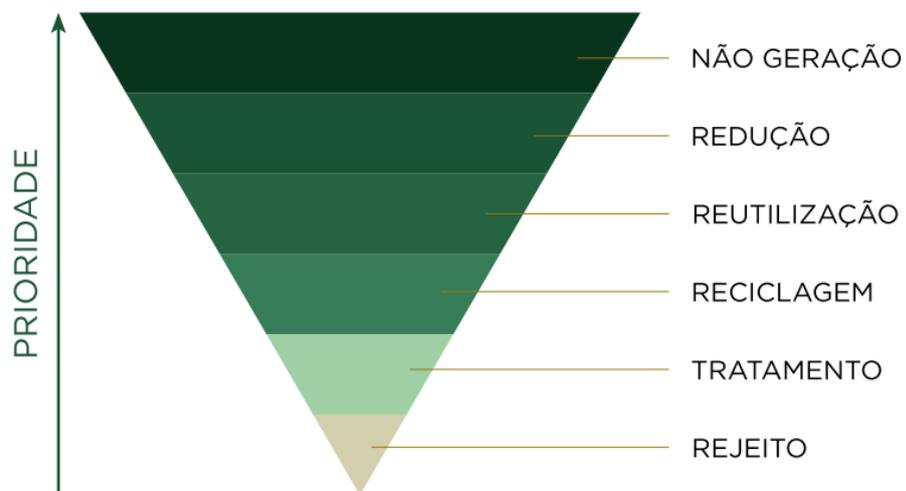
Segundo CETEM (2014), uma ferramenta utilizada pelos ambientalistas é o “Ordenamento Territorial”, que consiste na análise de determinado espaço físico de interesse. Quando encontra o setor da mineração, esses planos propõem várias intervenções que visam melhorar o relacionamento entre a atividade econômica, ambiente e comunidades, já que a mineração representa, para o ordenamento territorial, uma “atividade temporária” em relação ao uso do ambiente. Já é de conhecimento que com o passar dos anos há um aumento da necessidade de recursos naturais, e a sua extração está diretamente ligada ao setor de mineração que representa grande parcela da economia em muitos países. Com isso temos um aumento pela

busca destas atividades bem como implementação de novas tecnologias de extração e surgimento de novas empresas no mercado. Com o aumento da demanda também surge a necessidade de um olhar mais crítico para com os resultados que serão enfrentados no futuro com o aumento do mercado, então entra em cena as grandes conferências ambientais e as soluções que trazem para mitigar e compensar os impactos gerados. Ainda há o fato de muitas empresas não encararem a sustentabilidade como forma de geração de valor. Para elas, o cumprimento das exigências ambientais está pautado na forma de “função” e não como um princípio a ser seguido, não sabendo diferenciar as práticas compensatórias e obrigações legais.

2.3 Sustentabilidade na construção civil

Atualmente há a percepção do preço que se paga pela elevada demanda de recursos naturais consumidos e o resultado dessa modernização é a elevada geração de resíduos em todos os setores, sejam urbanos, construção civil, industrial, etc. Com o passar dos anos, as leis de incentivo ao desenvolvimento sustentável vêm se tornando mais rígidas fazendo com que os setores produtivos geradores de poluentes e resíduos minimizem seus impactos. No Brasil, em 2010, foi sancionada a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) que tem a finalidade a não geração de resíduos ou a diminuição do seu potencial risco ao meio ambiente e a saúde humana pelas perspectivas da reciclagem, reutilização e destinação ambientalmente adequada de rejeitos (PNUMA, 2015).

Figura 4: Prioridade da geração de resíduos



Fonte: PNUMA (2015)

O modelo de pirâmide invertida, mostrado na Figura 4, é aplicado à PNRS na ótica de duas perspectivas que aproximam a produção do consumo sustentável: responsabilidade compartilhada e logística reversa.

Na lei, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos é considerado um princípio da política de resíduos sólidos, sendo caracterizada como o conjunto de atribuições individualizadas que abrangem responsabilidades para os fabricantes, distribuidores, consumidores com o objetivo de diminuir a geração de resíduo e os impactos causados ao meio ambiente e à saúde humana.

Em 2014 foi lançado um relatório intitulado “Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de políticas públicas”. Esse estudo técnico foi encomendado pelo ministério do meio ambiente (MMA) ao conselho Brasileiro de construção sustentável (CBCS) e foi feito em parceria com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) com objetivo de trazer um panorama sobre a situação da “economia sustentável” aplicada pelo setor da construção civil. O relatório aborda as dificuldades encontradas pelo setor da construção para aplicar a proposta de construção sustentável e aponta as ineficiências ocasionadas pelas legislações ao propor um modelo e não dar o suporte necessário, ocasionando uma falsa participação por parte das empresas. As atribuições da indústria da construção civil também são citadas na Política nacional dos resíduos sólidos que identificam os RCC como os derivados nas construções, reformas, reparos e demolições. Também comenta sobre as diretrizes para a elaboração de um plano de gerenciamento, onde as empresas de construção civil ou os órgãos competentes estão aptos a sua elaboração.

De acordo com Linhares, Ferreira e Ritter (2007), em pesquisa ao IBGE (2001), o setor de construção civil apresentou números bastante representativos, como execução de 40 milhões de obras (75% na modalidade edificações), mão de obra empregada de 670 mil (sendo 62% no Sudeste e 14% no Rio de Janeiro), receita operacional bruta de 43 milhões. Mas esse setor no Brasil ainda passa por problemas, como baixa produtividade, precária organização, incipiente base técnica e imprevisibilidade de tempo e custos. Um dos resultados causados por essas combinações de ineficiências é o aumento do resíduo produzido pelas empresas. Os desperdícios não se configuram somente pela forma de entulho, mas também aos incorporados à obra podendo chegar até 50%.

Em virtude da grande quantidade de resíduos gerados pela indústria da construção foi que em 2002 o Conselho Nacional de Meio Ambiente-CONAMA instituiu a resolução nº307 que dispõe sobre as competências da indústria da construção civil afim de minimizar os impactos gerados pelo setor. Essa resolução classifica e especifica os resíduos de construção e demolição (RCD) em função de sua grande heterogeneidade, determina a elaboração de um plano integrado de gerenciamento de RCD, que compete aos municípios, assim como atribui prazos para que os projetos sejam elaborados e colocados em prática. (LINHARES; FERREIRA; RITTER, 2007).

Essa resolução caracteriza os resíduos de construção civil em 4 classes:

- I. Classe A: são resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
 - a) De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive sobre solos provenientes de terraplanagem;
 - b) De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
 - c) Do processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fio etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- II. Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;
- III. Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
- IV. Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

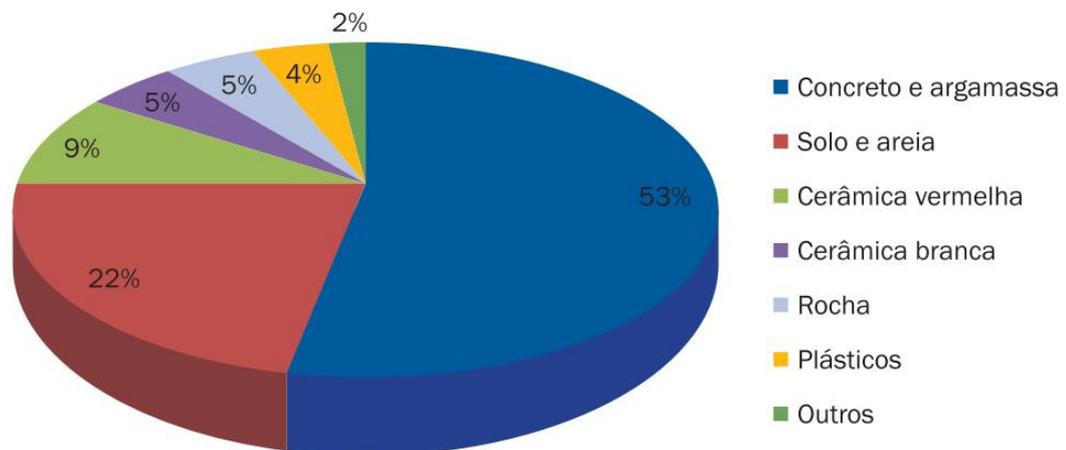
2.3.1 Geração

O resultado de um crescimento populacional e de avanços tecnológicos é o aumento no consumo. Dessa forma há um aumento da necessidade de recursos, como água, energia e matéria prima para a produção de bens e serviços que supram as novas condições sociais. É sabido que em um modelo linear, um aumento no consumo será acompanhado de um aumento de resíduos. A questão não é mais a falta de conscientização por parte das empresas, mas sim saber como gerenciar o resíduo por elas gerado que acaba incidindo em um problema ainda

encontrado: descarte irregular ou em local inapropriado. Segundo Luchezzi & Terence (2013) a composição do resíduo depende dos materiais disponíveis em cada região, tecnologia e qualidade da mão de obra.

A Figura 5 mostra a composição dos resíduos de construção e demolição gerados no município de Salvador em 2006. Pode ser observado que concreto e argamassa, cerâmica branca, cerâmica vermelha e rocha totalizam 72%. Observa-se que a quantidade gerada é muito alta e que os materiais classificados como resíduos possuem potencial de reutilização já comprovado, podendo ser usado como material de enchimento, agregados, fíler, entre outros.

Figura 5: Composição dos resíduos em Salvador (2006)



Fonte: Luchezzi & Terence (2013)

Com o crescimento do mercado e o paradigma de um setor industrial mais sustentável, é necessária uma solução capaz evitar o mau gerenciamento dos resíduos de construção. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Serviços Essenciais (Abrelpe), em 2018 foram coletados, um total que representa 122.012 toneladas de RCD por dia, referente a soma da coleta de todos os municípios do país. Ela ainda afirma que esse número não reflete a realidade uma vez que o recolhimento dos resíduos é feito por parte das empresas e o levantamento da Abrelpe só reflete a parcela que foi abandonada nas vias e logradouros. Como afirma Luchezzi & Terence (2013) as empresas que recolhem entulho nem sempre são credenciadas ambientalmente e as que são muitas das vezes não fazem o tratamento adequado.

A partir do levantamento feito pela Abrelpe, foi elaborada uma tabela com um resumo da geração de RCD equivalente as 4 regiões do Brasil.

Tabela 1: Geração de RCD nas regiões do Brasil em 2018

Região	Total [ton/dia]	Per capita [Kg/hab/dia]
Norte	4.709	0.259
Nordeste	24.123	0.425
Centro-Oeste	13.255	0.824
Sul	16.246	0.546
Sudeste	63.679	0.726

Fonte: adaptado de ABRELPE (2019)

Estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelas atividades humanas sejam provenientes da indústria da construção (CONTO; OLIVEIRA; RUPPENTHAL, 2017). Nos últimos anos devido ao aumento do mercado da construção civil houve uma potencialização do consumo dos recursos naturais, gerando enormes impactos na matéria prima consumida, aumento da geração de resíduo, consumo de energia elétrica e água.

Segundo Szomorovszky *et al* (2016), é enfrentado dentro das empresas o problema da implementação, mudando a cultura corporativa e o modelo de negócios. As dificuldades são encontradas também pelos governos por terem a necessidade de implementar políticas ambientais que facilitem a adoção das empresas e vão de encontro com o desenvolvimento sustentável.

2.3.2 Reuso

Na construção civil é corriqueiro o desperdício de material, isso pelo fato da carência de acompanhamento e planejamento dos serviços. É dessa forma que o custo final da obra supera as estimativas. Com o intuito de evitar desperdício que surge a ideia do “*Lean Construction*”, que tem a proposta de melhorar os aspectos de planejamento das atividades afim de minimizar o desperdício gerado. Segundo Luchezzi & Terence (2013), a reciclagem, além

de agregar valor econômico, ecológico e logístico aos materiais que podem voltar como novas matérias primas, agrega valor de reutilização ao bem pós-consumo.

Para Szomorovszky *et al* (2016), em todo o processo é preciso pensar como avaliar o impacto ambiental, como reduzir o uso de recursos naturais, como aperfeiçoar a vida do produto, estender a vida dos materiais, facilitar e encorajar o uso de resíduos como matéria prima. Na produção do concreto e argamassas é normal a utilização de resíduos de vários setores, como por exemplo as escórias siderúrgicas e provenientes da construção civil. Os materiais que tem o potencial de substituição para areia e brita vem crescendo ao longo dos anos, resultando em economia de recursos naturais e energia. Um material comumente usado na substituição desses insumos é o entulho, obtido em demolições. Tem sido bastante utilizado como material de enchimento em sub-bases, solo-cimento, pavimentação e em concretos são utilizados como substituição parcial ou até total dos agregados usuais. Medeiros (2018) comenta que a transformação dos resíduos de construção em agregados vem sendo estudada a algum tempo e apresenta algumas alternativas como:

- Concreto e bloco de concreto: ocorre a substituição do material fino feito do RCD pelo agregado miúdo natural na produção de concreto. Dependendo do tipo de dosagem, a utilização desse material pode servir para a confecção de concreto com ou sem função estrutural;
- Pavimentação: utilização como agregados em obras de pavimentação, contribuindo para desempenho econômico da obra e sem apresentar perdas técnicas;
- Ph do solo: utilização de RCD classe A na forma de cinzas para correção de acidez do solo;
- Argamassa de assentamento de alvenaria: apresenta ótimos resultados como melhoramento na resistência e trabalhabilidade, chegando em alguns casos a 50% de substituição do agregado reciclado.

Os benefícios do entulho a exemplo podem ser vistos pelo setor ambiental pela redução da disposição inadequada e menor grau exploração da matéria prima nas jazidas. Segundo Dantas (2018) a reciclagem de resíduos de construção civil é uma alternativa viável por trazer benefícios econômicos e ambientais. Ela ainda comenta que além de diminuir os custos com a gestão do resíduo, o valor do produto reciclado é menor que o tradicional.

Portanto, a maneira mais eficiente de reduzir os impactos ambientais pode ser percebida ao se maximizar o uso de energia e material renovável, como diz John *et al* (2002), quando afirma que a utilização de uma fonte de energia renovável ao invés do carvão, por exemplo, resolve os problemas do aquecimento global e chuvas ácidas. Porém, os insumos dos materiais de construção na sua grande maioria são não-renováveis, sendo necessário políticas públicas de preservação ambiental para frear a utilização desordenada desses materiais.

3 INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Os materiais rochosos utilizados na construção civil quando usados de forma granular rebem o nome de agregados, ao utilizar as rochas na forma de placa e com determinado tipo de beneficiamento são chamadas de rochas ornamentais ou pedras de revestimento (CETEM, 2012). Na antiguidade o homem já utilizava os recursos minerais das mais variadas formas, desde então esses materiais tem a finalidade tanto estrutural quanto decorativa. Esse setor acompanha a crescente demanda na economia ao longo do tempo, impulsionados pela alavancagem da indústria de mineração, essas empresas representam um "vetor" contribuindo para a extração dos recursos minerais e fonte geradora de resíduo. Por essa influência que a muitos anos os resíduos gerados pela indústria de rochas ornamentais vêm sendo estudados por pesquisadores como fonte alternativa na construção civil. A principal motivação são as características químicas e físicas desses materiais. Por se tratar de rochas cujos minerais existentes apresentem boas propriedades quanto à resistência mecânica, também são estudados com fonte substitutiva de agregados utilizados na produção de concretos

3.1 Tipos de rochas

A rocha é um material consolidado constituído de um ou mais minerais e resultante de um processo geológico específico. O tipo de rocha é determinado por fatores como temperatura e pressão ocorridos no seu processo de formação. As rochas podem ser classificadas como ígneas ou magmáticas, sedimentares e metamórficas. Dentro desses grupos a identificação do tipo de rocha, ou litologia, ocorre pela textura e composição mineral (CETEM, 2012).

Segundo Nunes & Junior (2009), a mineralogia e a textura, que determinam a aparência de uma rocha, são também responsáveis pela identificação de sua origem, isso pelo fato delas

serem parâmetros das condições geológicas que elas foram impostas desde sua formação até os dias atuais. Ainda segundo o autor ao classificar uma rocha, podemos deduzir não só sua gênese, mas também os possíveis minerais que a constituem.

3.1.1 Rochas Magmáticas

Conhecidas também por ígneas, esse tipo de rocha provém da presença do magma no interior da crosta terrestre e sua consolidação acontece pelo resfriamento causado na expulsão do magma pelas erupções vulcânicas. O resfriamento do magma pode ocorrer tanto na superfície quanto no interior da terra formando dois tipos diferentes de rocha.

De acordo com Reis (2009) ela corresponde a classe de rochas predominantes na crosta terrestre com cerca de 70% do seu volume. Ainda segundo o autor as rochas ígneas podem ser classificadas de acordo com as proporções de materiais silicosos. As ricas em sílica tendem a ter a coloração mais clara, como o caso do granito com aproximadamente 70% de sílica, são chamadas de rochas ígneas félsicas. Já as ricas em magnésio e ferro apresentam a cor mais escurecida, como o gabro, e são denominadas rochas ígneas máficas.

Em relação a porcentagem de sílica (SiO_2), CETEM (2014) classifica as rochas como:

- 0-45% rocha ultrabásica, de coloração muito escura (Peridotito)
- 45-52% rocha básica, coloração escura (Basalto)
- 52-66% rocha intermediária, pouco densa (Diorito)
- >66% rocha ácida, coloração clara e pouco densa (granito)

Segundo a Companhia de pesquisa de recursos minerais (CPRM), o termo “ácida” ou “básica” nada tem a ver com o conceito de acidez (pH), visto em química, e a quantidade de sílica tem pouca relação com a quantidade de quartzo. A denominação depende do tom da rocha, as ácidas são geralmente claras, e as básicas, escuras.

Quando a solidificação do magma ocorre no interior da terra acontece um lento resfriamento ocasionando a formação de grandes cristais, visíveis a olho nu, nesse caso classifica-se esse tipo de rocha como magmáticas intrusivas ou plutônicas.

Figura 6: Exemplo de rocha intrusiva: Gabro



Fonte: <http://mundoeducacao.uol.com.br/>

Com as erupções vulcânicas ocorre a expulsão do magma que se deposita na superfície da terra. Observa-se, portanto, o rápido resfriamento de modo que possa ocorrer a não formação de cristais, apresentando a rocha uma textura vítrea, ou ocasionando uma solidificação com pequenos cristais, invisíveis a olho nu. Chama-se esse tipo de rocha de magmática extrusivas ou vulcânicas. Um exemplo de rocha extrusiva é o basalto muito usado na construção civil como agregado graúdo e como paralelepípedo na construção de calçadas.

Figura 7: Processo de formação do basalto pela larva vulcânica



Fonte: <http://mundoeducacao.uol.com.br/>

As rochas ígneas são formadas praticamente de minerais silicáticos. Os minerais mais abundantes são chamados de essenciais e os que ocorrem em menor quantidade são denominados acessórios (zircão, apatita, magnetita, etc.). Dentre elas, o tipo granito *sensu*

stricto é uma das mais apreciadas como rocha ornamental ou de revestimento por sua grande variedade de cores, definidas pelo tipo de feldspato existente e as impurezas presentes (CETEM, 2014).

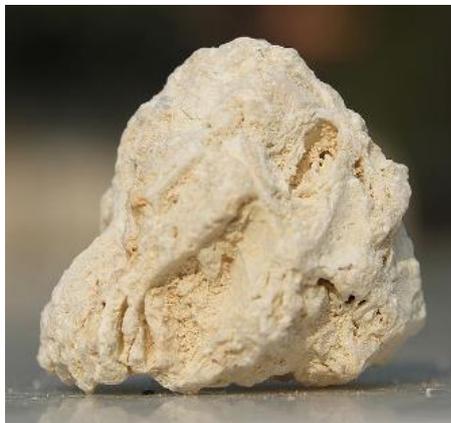
3.1.2 Rochas Sedimentares

As rochas sedimentares são as mais comumente encontradas na superfície e cobrem cerca de 75% dos continentes (REIS, 2009). A formação desse tipo rochoso acontece pela influência dos processos naturais de intemperismo como, chuvas, ventos, mares e rios. Provocam sobre a superfície da terra o desprendimento das rochas que são levadas por esses agentes naturais para outros locais, onde ocorre a deposição e acumulação do material.

Esse tipo de rocha é resultante de um conjunto de processos exógenos, sendo que o critério de classificação segue vários fatores que tem relação das combinações entre o ambiente, o tipo de sedimentação, a constituição mineralógica ou o tamanho das partículas (NUNES; JUNIOR, 2009).

A transformação dos sedimentos em rocha sólida ocorre por meio do processo de litificação, que corresponde a consolidação da rocha pelos processos de compactação e cimentação. Na formação da rocha sedimentar ocorre o carreamento pela água de material inorgânico, como a calcita, sílica e sais, que entra pelos poros onde ocorre a cristalização do material (CETEM, 2014).

Figura 8: Exemplo de rocha sedimentar: Calcário



Fonte: <http://mundoeducacao.uol.com.br/>

3.1.3 Rochas Metamórficas

Segundo CETEM (2014), etimologicamente o termo metamorfismo significa “sucessão de formas”, fazendo referência as variadas transformações físico-químicas que essa rocha sofre durante sua formação. As rochas encontradas na superfície terrestre ou as que posteriormente se sedimentam são submetidas com o passar do tempo a fatores como mudança de clima, temperatura e alteração das pressões. Por esses motivos acaba ocorrendo nas rochas um metamorfismo e acontecendo um novo arranjo na sua estrutura interna de cristais.

Segundo Reis (2009), a temperatura, pressão e os fluidos são os agentes que possibilitam a alteração nas rochas, podendo atuar conjuntamente ou exclusivamente. Esses agentes geram a recristalização total ou parcial da rocha, mudando sua estrutura, alterando sua coesão e causando uma variação na textura.

Nos processos de metamorfismo ocorre tanto a recristalização dos minerais preexistentes como a formação de novos minerais, ocasionados pela combinação química entre minerais ou a mudança na estrutura cristalina, formando um novo mineral adequado a suportar as novas condições de pressão e temperatura. Portanto, a constituição mineralógica da rocha está relacionada ao grau de metamorfismo, assim como a natureza dos esforços sofridos podem gerar deformações mecânicas em seus minerais constituintes (NUNES; JUNIOR, 2009).

Figura 9: Exemplo de rocha metamórfica: Mármore



Fonte: <http://mundoeducacao.uol.com.br/>

3.2 Rochas Ornamentais

As rochas ornamentais nada mais são do que rochas normais usadas com uma finalidade diferente. Possuem a motivação de serem adotadas para decoração por suas características: físico-químicas, colorações variadas e estética. Os principais tipos de rochas ornamentais encontradas são os “granitos” e os “mármorees”.

Os “mármorees” são considerados como toda rocha carbonatada de origem sedimentar (calcário ou dolomito) ou metamórfica (mármore); e o “granito” toda rocha não-calcárea que seja capaz de receber corte e polimento (basalto, gabro, granito, gnaisse), apesar de outros tipos de rocha serem comercializadas nesse setor como os quartzitos e ardósias (CETEM, 2014).

Essas rochas ao serem exploradas estão em sua forma bruta, necessitam de processos de beneficiamento para se enquadrar no padrão do mercado. Os beneficiamentos são feitos em níveis primário e secundário, correspondendo as etapas de corte, serragem, polimento, modelagem e venda. O Brasil participa de um grande mercado de exploração¹ de rochas ornamentais. Correspondendo a 63% das exportações de todo o país estão os estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo.

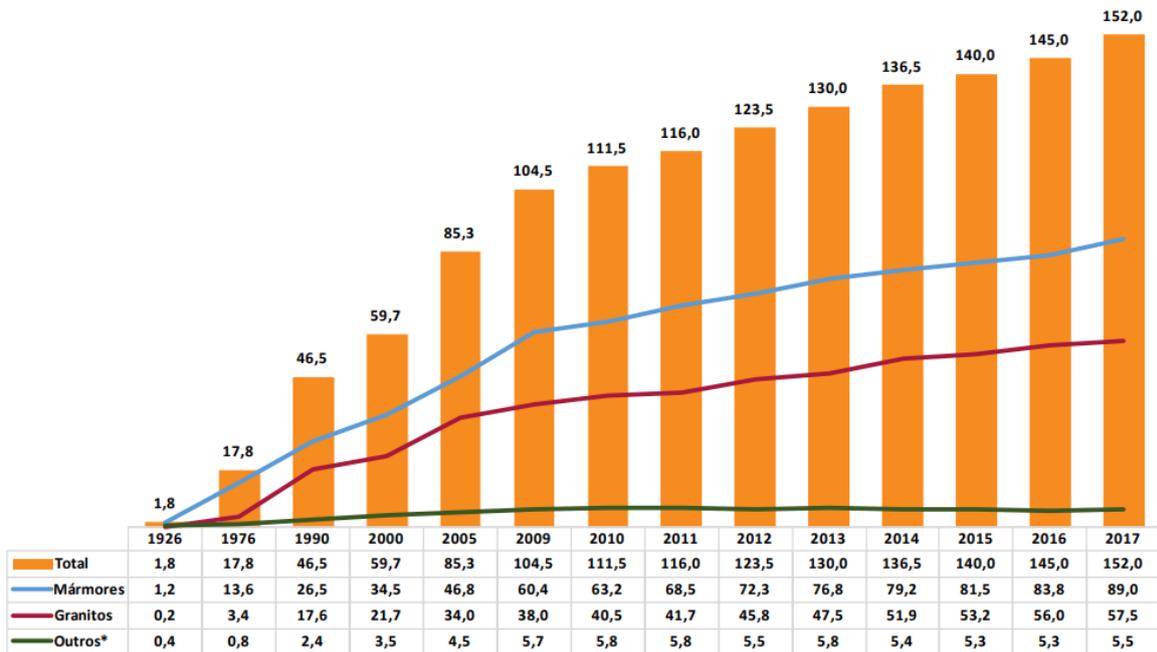
O processo produtivo descrito por Bezerra (2018) de rochas ornamentais se apresenta em 3 etapas:

- a) Mineração: corresponde à etapa realizada pelas empresas de lavra e consiste na exploração da rocha, realizada na forma de blocos;
- b) Serraria: etapa de desdobramento dos blocos em chapas;
- c) Marmoraria: última etapa em que ocorre o polimento e corte das placas e posterior modelagem da peça a ser comercializada.

Segundo Bezerra (2018), desde a década de 1990 o setor de rochas ornamentais cresceu a uma taxa de aproximadamente 4,5% a.a., e nos últimos 5 anos, entre 2013 e 2017, 4% a.a., como mostra o a Figura 10.

¹ Exploração de recursos minerais

Figura 10: Evolução da produção mundial de rochas ornamentais (milhões de tonelada/ano)



Fonte: Bezerra (2018)

Por se tratar de um recurso natural não renovável a exploração de rochas passa por observações quanto a sustentação ambiental do setor, trazendo consigo indagações sobre os impactos gerados que são observados pela poluição atmosférica, assoreamento dos rios, etc.

3.2.1 Extração

A extração dos blocos de rocha também conhecido como lavra é a remoção do material útil ou que possua um grau de aproveitamento viável dos maciços rochosos. Geralmente os blocos são cortados em dimensões retangulares e de tamanhos variados de modo que haja o melhor aproveitamento do material por parte da jazida e uma maior eficiência do equipamento utilizado para as operações de beneficiamento.

As etapas da lavra de rochas ornamentais são:

- I. Prospecção: corresponde ao levantamento inicial onde é observado o local que será feito a lavra;
- II. Pesquisa mineral: nessa etapa é estudado por meio de testes e ensaios o potencial da jazida;

- III. Lavra: processo de extração da rocha pelos métodos de beneficiamento;
- IV. Recuperação ambiental: ocorre ao se encerrar o potencial econômico da jazida, e tem o objetivo de reduzir os impactos ambientais causados.

O Brasil é marcado por uma grande variedade litológica distribuída no território, possuindo uma grande variedade de jazidas de granitos e mármore. Os principais estados produtores de rochas ornamentais estão na região sudeste e nordeste do país, como Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia, Ceará e Paraíba (CETEM, 2014).

O processo de lavra das rochas ornamentais é dividido em etapas, de acordo com o tipo de jazida e o método de extração empregado, devendo seguir como logística para se obter uma boa produção e não gerar tantos desperdícios. Segundo CETEM (2014), para se obter uma melhor eficiência, na escolha do método de lavra deve ser levado em conta: a morfologia dos afloramentos, volumes da reserva mineral, localização geográfica da área, entre outros.

De acordo com Reis & Souza (2003), os métodos de lavra consistem num conjunto específicos de trabalhos de planejamento, dimensionamento e execução, devendo existir harmonia entre as tarefas e os equipamentos dimensionados. São listados abaixo os métodos utilizados para os variados tipos de lavra, como a de céu aberto e subterrâneo.

- Lavra por desabamento: ocorre o desmoronamento do material rochoso por meio da aplicação de explosivos alocados nos planos de fraqueza da rocha. As principais vantagens desse método são: o baixo custo de operação, investimento inicial reduzido e por ser considerado de pouca exigência técnica (REIS; SOUSA, 2003). Por outro lado, é um método muito dispendioso e gera bastante rejeito, acarretando gastos com o transporte para locais de adequada disposição. De modo geral, suas condições de segurança são consideradas críticas, sendo pouco utilizado atualmente.

Figura 11: Lavra por desabamento



Fonte: CETEM (2014)

- Lavra seletiva: diferentemente do método de desmoronamento, esse adota critérios de seleção baseados nos planos de fratura das rochas, que são aproveitados como planos naturais de separação, e permitem identificar os volumes de rochas susceptíveis a serem deslocados e transportados (CETEM, 2014).

Figura 12:Lavra seletiva



Fonte: CETEM (2014)

- Lavra de matacões: é o processo de retirada de grandes porções rochosas, que geralmente não se encontram afloradas, sendo necessário a retirada do solo de todo seu entorno. A viabilidade econômica desse tipo de lavra está muito relacionada com o tipo de rocha, mas geralmente apresenta resultados não significativos, tendo uma vida útil reduzida por ocasionar grandes danos ao meio ambiente (CETEM, 2014). Esse método possibilita uma maior taxa de recuperação das áreas degradadas (apresenta impacto visual mínimo) e é justificada pelo alto valor agregado do material, sendo necessário um maior investimento em tecnologias por ser um processo bastante delicado, onde a maior preocupação se deve a estabilidade dos maciços.

Figura 13: Lavra de matacões



Fonte: CETEM (2014)

- Lavra por bancadas: é um método no qual a jazida é subdividida em níveis, nos quais são retirados blocos rochosos de tamanhos variados. Esse nome é devido ao tipo de exploração, que não acontece de forma contínua, mas sim de forma sequenciada, onde o número de níveis é função das características geomorfológicas da jazida e das exigências produtivas (CETEM, 2014).

Figura 14: Lavra por bancadas altas



Fonte: CETEM (2014)

- Lavra subterrânea: devido ao desenvolvimento tecnológico e sobre a perspectiva de máximo aproveitamento das jazidas, foi que ao longo do tempo os métodos tradicionais de lavra a céu aberto deram lugar às explorações subterrâneas, ocorrendo por razões econômicas e características geológicas da reserva mineral CETEM (2014).

Figura 15: Lavra subterrânea



Fonte: CETEM (2014)

3.2.2 Beneficiamento

É chamado de beneficiamento o processo de transformação dos blocos, extraídos na fase da lavra, em produtos finais ou semiacabados. Pode ocorrer em duas fases, a primária em que as rochas são cortadas em chapas de tamanho variável e espessura próxima da final; e a secundária, onde as chapas recebem o acabamento superficial podendo ser por polimento, flameado, etc. Os principais grupos obtidos após o beneficiamento são:

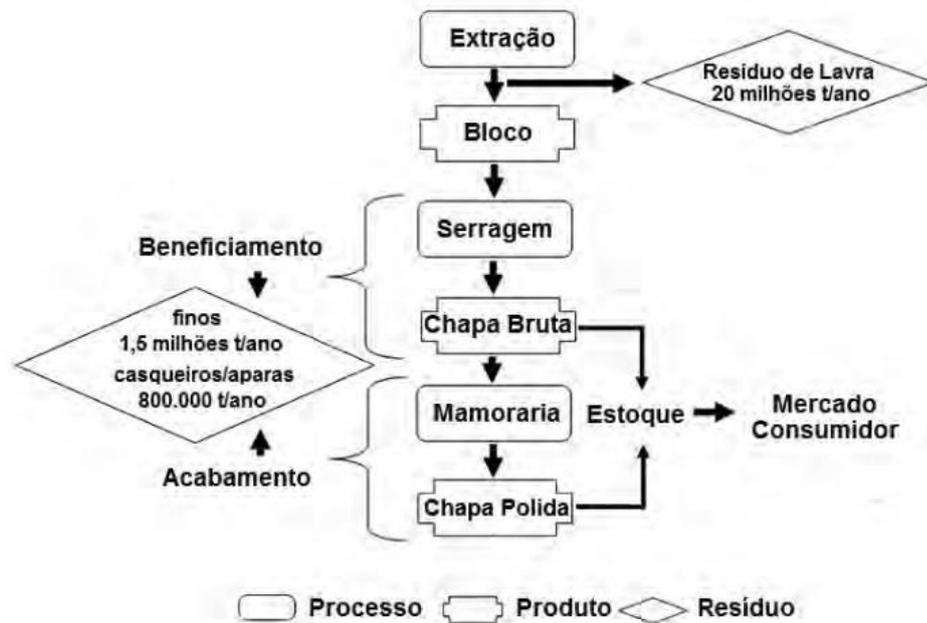
- Painéis para revestimento externo;
- Degraus;
- Meios-fios, molduras e rodapés;
- Mesas e bancadas para decoração.

3.2.3 Geração de resíduos e aproveitamento

Dentro do setor da mineração, a indústria de rochas ornamentais, por apresentar baixas taxas de aproveitamento, acaba sendo uma forte geradora de resíduos. Segundo (CETEM, 2014), em 2012 estimou-se que no Brasil foram geradas 22 mil toneladas de resíduos. Desses, cerca de 20 mil toneladas constituída por resíduos grossos gerados na própria pedreira (blocos foras dos padrões ou fragmentados). Os processos primários são grandes fontes de geração de resíduo. Segundo dados do Centro de Tecnologia Mineral, para a produção de 330 m² de chapas é necessário a extração de um bloco de 30 m³, onde aproximadamente 20 m³ vira resíduo na própria pedreira.

Nas etapas secundárias de beneficiamento, como a serragem dos blocos, estima-se que 40% do volume do bloco seja transformado em resíduo. Desses, 26% correspondendo a pó de rocha e 14% a frações mais grosseiras. Portanto, no beneficiamento são gerados aproximadamente 1.5 mil toneladas de pó de rocha e 1 mil tonelada de material grosseiro anualmente no país (CETEM, 2014).

Figura 16: Resíduos da produção de rochas ornamentais



Fonte: CETEM (2014)

Atualmente há uma gama de alternativas para os resíduos gerados nos processos de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. Os estoques remanescentes, que são os resíduos gerados nos processos primários de corte das rochas, podem ser usados na própria pedreira ou na forma de artesanato; e os resíduos gerados nos processos secundários são utilizados como material alternativo da construção civil, abrangendo a indústria cimenteira, argamassas e cerâmicas.

3.2.4 Tipologia

I. Rochas Silicáticas (Granitos e Similares)

Quando nos referimos a rochas graníticas, estamos relacionando um conjunto de rochas silicáticas como monzonitos, diabásios e basaltos, e os próprios granitos. A sua composição mineralógica varia a depender da associação dos minerais existentes, como quartzo, feldspato, mica (biotita e muscovita), anfibólios e piroxênios.

Prioritariamente nos granitos ocorre a dominância de minerais como o quartzo, feldspato, mica e os acessórios em menor quantidade. O quartzo é caracterizado por ser um mineral incolor, ou fumê; já os feldspatos são conhecidos por serem os balizadores, conferindo cores avermelhadas, rosadas, etc. Os granitos mais leucocráticos² (claros) apresentam uma quantidade de quartzo e feldspato que podem chegar a 90%. A cor negra ocorre pela presença da mica, se apresentando como característica dos minerais máficos (silicatos ferro-magnesianos) (ABIROCHAS, 2019).

II. Rochas carbonáticas (Mármore, Traventinos e Calcários)

Na indústria de rochas ornamentais o termo “mármore” é utilizado para designar todas as rochas carbonáticas, metamórficas ou não. O metamorfismo de calcários, dolomitos, margas ou arenitos com cimento carbonático, gera uma variedade de rochas metamórficas caracterizadas pela presença de carbonatos recristalizados e/ou silicatos de cálcio e magnésio em variadas proporções, onde nos processos de recristalização formam-se os mármore (CETEM, 2014).

As rochas carbonáticas apresentam materiais sedimentares e metassedimentares, constituídos basicamente dos minerais calcita (carbonato de cálcio) e dolomita (carbonato de cálcio e magnésio), na ordem de mais de 50% (ABIROCHAS, 2019). Esse tipo de rocha é utilizado por diversas indústrias como insumo na sua cadeia produtiva, como na indústria da construção civil, com o clínquer na produção de cimento, indústria farmacêutica e química.

3.2.5 Histórico do Cenário Brasileiro

A partir da década de 1990 o setor brasileiro de rochas ornamentais apresentou notável crescimento, isso pelo fato do aumento das exportações. Qualitativamente, esses resultados foram alcançados pelo incremento nas vendas de rochas processadas semiacabadas. Quantitativamente, o setor produtivo passou de 900 mil toneladas em 1997 para 2,5 milhões de toneladas em 2007, incentivadas pelo aumento na demanda em países como os EUA e China, com exportações de chapas polidas e blocos, respectivamente (ABIROCHAS, 2018).

² Tipo de rocha ígnea onde ocorre uma maior composição de minerais félsicos e uma menor quantidade de minerais máficos (baixa quantidade de minerais ferro-magnesianos).

A abertura inicial ao mercado externo fez com que o Brasil precisasse de novos produtos para se tornar competitivo. Alguns destes são as denominadas rochas exóticas, importante grupo que colocou no Brasil um status de possuidor de uma excepcional “geodiversidade”, gerando ao mercado internacional uma variedade de produtos, ao longo dos 30 anos, maior que toda a Europa nos últimos 500 anos (ABIROCHAS, 2018).

Ao longo de todos esses anos o Brasil passou por variações em relação ao mercado de importações e exportações de rochas ornamentais, tendo como principais negociadores, a China e os EUA. Em 2006 o país chegou ao seu primeiro grande pico tornando-se o quinto maior produtor e exportador de rochas ornamentais e de revestimento. A partir de 2008, começou um período de recessão no mercado brasileiro devido à queda do setor imobiliário dos EUA e posteriormente, em 2009, pela crise econômica mundial.

Em 2010 as exportações avançaram mais que o esperado, superando a estatística anterior aos anos de 2008 e 2009, centralizado mais no mercado norte-americano, mas sendo beneficiada também pelo aumento da construção civil, bem como da economia, na China. Os anos de 2012 e 2013 foram representativos ao setor, pois foram superados os recordes de volume físico, em 2006, e faturamento, em 2007.

O perfil de produção brasileira para o ano de 2017 é mostrado na Tabela 2, observando que os materiais comercialmente classificados como mármore e granito correspondem a mais da metade da produção do país.

Tabela 2: Produção brasileira em 2017

Tipo de Rocha	Produção (Mt)	Participação (%)
Granito e similares	5,0	54
Mármore e Travertino	2,0	22
Ardósia	0,4	4,5
Quartzito Foliado	0,3	3
Quartzito Maciço	0,9	10

Pedra Miracema	0,2	2
Outros (Basalto, Pedra Cariri, Pedra-Sabão, Pedra Morisca, etc)	0,4	4,5
Total estimado	9,2	100

Fonte: ABIROCHAS (2018)

Segundo dados do CETEM (2014) as participações de mármore e granito em 2012 foram de 18,2% e 49,5 %, respectivamente, ressaltando uma maior predominância ao longo dos anos da exploração desses tipos de rocha.

Alguns materiais exportados possuem um alto valor agregado, como o granito. Em valores monetários, as rochas silicáticas processadas representam cerca de 70% das exportações brasileiras; as silicáticas brutas representam 19%, chegando-se a um total de aproximadamente 90% das exportações brasileiras, com mais destaque aos granitos (BEZERRA, 2018).

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, em 2018 a situação do Brasil no cenário mundial foi:

- 5º lugar na produção de lavra e exportação de rochas processadas;
- 2º lugar no ranking na exportação de granitos brutos;
- 3º lugar no ranking das ardósias;
- 5º posto geral em volume físico das exportações mundiais, com uma cota de 3,8%.

4 CONCRETO

4.1 Breve histórico

É sabido que os egípcios tem grande contribuição para o desenvolvimento das construções, sendo as pirâmides as mais conhecidas dos seus feitos. O primeiro título de arquiteto foi dado ao brilhante político e alquimista, Imhotep, sendo reconhecido pela construção da primeira pirâmide durável do planeta, Pirâmide de Djeser, feita de blocos de rocha, substituindo as formas tradicionais, provavelmente em madeira ou argila (HELENE; ANDRADE, 2010). A primeira utilização que conhecemos para o concreto é a de hoje denominada como “concreto simples”, aplicado na pavimentação do império romano, tendo seu uso mais expressivo na cúpula de maior vão livre da antiguidade, o Panteão de Roma. Tratava-se de um concreto primitivo, composto de cal hidratada misturada com argila pozolânica, que conferiam a esse material uma boa durabilidade, mesmo que com uma baixíssima resistência.

O concreto da era atual teve início somente após a patente de cimento Portland, por Jhon Aspdin, em 1824 na Inglaterra. Passando algumas décadas sem maiores contribuições em termos de construção, o concreto armado passou a ter mais atenção após os estudos de Joseph-Louis Lambot e Joseph Monier, um agricultor e outro jardineiro, respectivamente. Eles estudaram inicialmente a denominada “argamassa armada”, onde Joseph Louis Lambot foi responsável pela construção de um barco de concreto (1855), Joseph Monier pela construção de vasos (1867) e apresentou maior sucesso pela construção da primeira ponte em concreto armado, inaugurada em 1875 no Castelo de Chazelet.

Figura 17: Ponte de Chazelet



Fonte: <https://pontesvida.wordpress.com/2013/11/19/53-ponte-de-chazelet/>

Um grande marco nas estruturas de concreto armado foi a construção do primeiro edifício utilizando esse método construtivo, com lajes, vigas e pilares, pelo francês François Hennebique no início do século XX. Contendo 7 andares, demonstrou ser durável e seguro ao substituir as paredes portantes pelas de vedação e os pisos metálicos ou de madeira por lajes de concreto (HELENE; ANDRADE, 2010).

4.2 Concreto como material estrutural

O concreto surge através de uma mistura de cimento, agregados e água, se apresentando mais ou menos fluido a depender da quantidade adicionada de água. A pasta, formada por cimento e água, envolve os agregados de forma a produzir um material que possua boa trabalhabilidade para se moldar as mais diferentes formas e com o tempo atinja propriedades de resistência e durabilidade para os diversos tipos de ambientes de exposição. Além disso, é um material versátil onde podem ser incorporados aditivos, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais. A proporção entre os materiais é um fator importante buscada pela tecnologia do concreto de forma a agregar a esse material de construção boas propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade (HELENE; ANDRADE, 2010).

Segundo Metha & Monteiro (2008) existem pelos menos 3 razões pelas quais o concreto é considerado um material tão amplamente utilizado.

- a. *Elevada resistência à água:* frente as outras opções de materiais construtivos, como a madeira e o aço, o concreto possui baixo grau de deterioração, sendo indicado nas construções para controle, armazenamento e transporte de água. As tecnologias do concreto avançaram ao ponto de conseguir controlar o ataque de agentes danosos às estruturas, como o sulfato, pela presença de adições, visando impedir a degradação.
- b. *Facilidade na modelagem:* o concreto em estado fresco é composto da mistura dos materiais naturais, originando um produto de consistência plástica que favorece o fluxo de material através dos moldes. Após o endurecimento e ganho de resistência, podem ser retiradas as fôrmas e observado a estabilidade da estrutura acabada.
- c. *Custo baixo e rápida disponibilidade:* como os materiais de construção do concreto se apresentam como recursos naturais, ainda há uma grande abundancia, não sendo necessário exportar material de outras localidades por exemplo, apresentando um custo reduzido e disponibilidade, tanto de material quanto de mão de obra.

4.2.1 Componentes do concreto

4.2.1.1 Cimento

Também conhecido como um material de propriedade aglomerante³, quando em contato com água, o cimento é uma mistura finamente moída de compósitos inorgânicos calcinados (calcário e argila) que, quando combinado com a água apresenta endurecimento e resistência elevada (IBRACON, 2009). Existe dois tipos básicos de cimento: os que não endurecem debaixo da água ou dissolvem-se lentamente quando em meio aquoso, e os que são estáveis quando na presença da água.

Os cimentos não-hidráulicos eram muito usados pelos egípcios, como a cal e a gipsita. A cal é um produto resultante da calcinação de rochas calcáreas e pode ser considerada um aglomerante aéreo. Existem basicamente dois tipos de cal: virgem e hidratada. A calcinação é o processo da queima da rocha moída à elevadas temperaturas (900°C) para a obtenção da cal virgem, que na presença de água transforma-se em cal hidratada (LOPES, 2014)

O cimento é dito hidráulico quando suas reações de hidratação⁴ ficam estáveis em meio aquoso. O mais utilizado é o cimento Portland, que consiste essencialmente em silicatos reativos de cálcio, que quando na presença das reações de hidratação são os principais responsáveis pelas características de adesão e estabilidade no ambiente aquoso (METHA; MONTEIRO, 2008).

Em termos de composição química, segundo Fonseca (2010), o cimento é constituído de Silicato tricálcico (C_3S), Silicato dicálcico (C_2S), Aluminato tricálcico (C_3A) e ferroaluminato tetracálcico (C_4AF). Os silicatos são os principais responsáveis pelas características de resistência, onde o C_2S nas primeiras idades e o C_3S em idades mais avançadas. Os aluminatos são responsáveis pelas primeiras reações de hidratação e também atuam bastante no desprendimento de calor, seguido pelo C_3S .

³ Materiais, geralmente minerais, de propriedades ligantes e pulverulento, que quando misturado com água ou outro líquido formam uma pasta, que podem por processos de reações químicas ou por simples secagem endurecer.

⁴ Reações químicas que ocorrem entre os minerais constituintes da mistura que resulta no aumento gradativo da resistência

De acordo com o tipo de construção, grau de solicitação e exposição à agentes degradantes, deve ser escolhido um concreto que atenda as demandas do projeto. Um agente influenciador importante na mistura é o cimento, possuindo cada país um conjunto de normas específicas para os diferentes tipos de cimento e suas aplicações (IBRACON, 2009). Abaixo são listados os tipos de cimentos utilizados no Brasil e suas respectivas normas.

1. ABNT NBR 5732 (Cimento Portland Comum) - CP I
2. ABNT NBR 11578 (Cimento Portland Composto) - CP II
3. ABNT NBR 5735 (Cimento Portland de alto-forno) – CP III
4. ABNT NBR 5736 (Cimento Portland pozolânico) – CP IV
5. ABNT NBR 5733 (Cimento Portland de alta resistência inicial) – CP V ARI
6. ABNT NBR 5737 (Cimentos Portland resistentes a sulfatos) – RS
7. ABNT NBR 13116 (Cimento Portland de baixo calor de hidratação) – BC
8. ABNT NBR 12989 (Cimento Portland branco) – CPB

Os cimentos Portland dos tipos I e II, respectivamente, comum e composto, são indicados nos casos onde não são necessárias propriedades especiais do concreto. São comumente usados em obras típicas de edifícios em geral, onde o CP II apresenta grande vantagem pelas adições incorporadas, como escória de alto-forno (CPII-E), materiais pozolânicos (CP II-Z) e material carbonático (CP II-F).

Os tipos III e IV tem a peculiaridade da incorporação da adição em grande escala, em substituição ao clínquer. O CP III é um cimento que possui de 35% a 75% de escória de alto forno e é indicado para obras que necessitem de um baixo calor de hidratação e inibição da expansão pela reação álcali-agregado. O CP IV é denominado cimento pozolânico, pois pode conter de 15% a 50% de material pozolânico, e é indicado para obras onde haja exposição à água ou em ambientes agressivos.

No caso de obras onde seja necessário uma rápida desforma, como por exemplo em elementos pré-moldados, é necessário que o material apresente elevada resistência logo nos primeiros dias e o CP V-ARI é indicado para essas situações. Segundo a norma ABNT NBR 5733, o concreto de alta resistência inicial deve obedecer a critérios de resistência, para as idades de 1 dia, 3 dias e 7 dias, na ordem de 14 Mpa, 24 Mpa e 34 Mpa respectivamente.

Para ambientes muito agressivos, como águas sulfatadas, existe a opção do cimento resistente a sulfatos. De acordo com a norma ABNT NBR 5737, qualquer cimento das classes anteriores pode ser considerado resistente à sulfatos desde que sua composição mineralógica obedeça aos limites:

- Cimentos com teor de C3A do clínquer menor que 8% e cujo teor de adições carbonáticas seja igual ou inferior a 5% da massa do aglomerante total;
- Cimentos CP III cujo teor de escória de alto-forno esteja entre 60% e 70%;
- Cimento CP IV cujo teor de materiais pozzolânicos esteja entre 25% e 40%.

Para os cimentos com baixo calor de hidratação não é diferente, realizando-se os ensaios e este tendo um resultado positivo, qualquer classe pode ser considerada de geração de baixo calor de hidratação. O ensaio deve ser realizado de acordo com a norma NBR 12006 (Determinação do Calor de Hidratação pelo Método da Garrafa de Langavant) e os valores máximos de liberação de calor devem obedecer:

- Aos 3 dias: 260 J/g
- Aos 7 dias: 300 J/g

4.2.1.2 Agregados

Os agregados tem uma representatividade de 60% a 80% do volume do concreto endurecido e possui um valor aquisitivo menor se comparado ao cimento. A viabilidade econômica não é o único fator responsável pela utilização desse material, mas também a viabilidade técnica que transforma esses insumos em componentes indispensáveis para as características exigidas do concreto, como estabilidade dimensional e durabilidade (SILVA, 2016).

Metha & Monteiro (2008) definem agregado como material granular (areia, pedregulho, pedrisco, rocha britada, escória de alto-forno ou resíduo de construção e demolição) que é usado com um meio cimentício para produzir concreto ou argamassa. A normatização brasileira que trata desses materiais é a ABNT NBR 7211 (Agregados para concreto – Especificação).

Segundo Fonseca (2010), os agregados podem ser classificados em naturais (areia, cascalho, seixo rolado, pedras) e artificiais (resíduos e rejeitos originários das siderúrgicas, minerações e indústrias). Como agregados artificiais ainda estão inclusos os materiais processados termicamente como argila e folhelho expandido, que são utilizados na produção do concreto leve.

Os agregados miúdos são materiais de granulometria variando na faixa de 4,75 mm à 150 µm e o agregado graúdo é todo material granular capaz de passar pela peneira com abertura de 75mm e ficar retido na peneira de 4,75mm. Esses materiais são denominados como brita, e a depender das porcentagens retida nas peneiras recebe outra classificação referente ao tamanho médio dos seus grãos.

A norma ABNT NBR 7525 (Materiais de pedra e agregados naturais) corresponde a essa classificação, onde traz a numeração da pedra britada como mostrada na tabela 3. Nota-se que a brita número 5 está em desuso e não mais corresponde à classificação de agregado graúdo.

Tabela 3: Classificação da pedra britada

Número	Abertura máxima (mm)	Abertura mínima (mm)
1	4,8	12,5
2	12,5	25
3	25	50
4	50	76
5	76	100

Fonte: autor (2020)

A mesma norma ainda classifica a areia em 3 tipos.

- Areia grossa: aquela compreendida entre 0,2 mm e 1,20 mm;
- Areia média: aquela compreendida entre 1,20mm e 0,42 mm;
- Areia fina: aquela compreendida entre 0,42 mm e 0,075 mm.

4.2.1.3 Aditivos e Adições

Segundo Metha & Monteiro (2008), as características que os aditivos e adições provocam no concreto fresco e endurecido tem sido responsável pela grande demanda desse material nos últimos 50 anos, onde cerca de 70% a 80% dos concretos produzidos contenham um ou mais desses materiais.

Na dosagem do concreto os compostos químicos adicionados são chamados de aditivos e os produtos minerais, adições. Eles entram na dosagem durante a mistura ou imediatamente antes, possuindo capacidade de melhorar propriedades do concreto em estado fresco e/ou endurecido (LOPES, 2014; METHA; MONTEIRO, 2008). A diferença na escolha desses materiais está nas propriedades que eles apresentam. Os aditivos não possuem propriedades ligantes e são utilizadas em menores quantidades com o objetivo de melhorar a plasticidade, fluidez, tempo de pega, redução da quantidade de água, entre outros. Já as adições são produtos de origem mineral, podendo ser industriais ou naturais, que possuem propriedades ligantes e tem o objetivo de redução da quantidade de cimento, melhoria das propriedades resistentes, redução da porosidade, entre outros. Os aditivos atuam frequentemente nas atividades reológicas do concreto e alteram as reações de hidratação do cimento: melhoram a trabalhabilidade, modificam a viscosidade, aceleram ou retardam tem de pega, diminuem a fissuração térmica, controlam o desenvolvimento da resistência mecânica, atenuam as consequências do ataque por sulfato, entre outras. A NBR 11768 trata da classificação dos aditivos, tais como:

- a. Aditivo redutor de água: plastificante, super plastificante tipo I e tipo II
- b. Aditivo incorporador de ar (IA)
- c. Que atuam na pega: acelerador de pega (AP) e retardador de pega (RP)
- d. Acelerador de resistência (AR)
- e. Polifuncionais/multifuncionais
- f. Hiper plastificantes

Os surfactantes, materiais tensoativos, compreendem os aditivos normalmente usados como incorporadores de ar ou redutor de água nas misturas de concreto (METHA; MONTEIRO, 2008). Os incorporadores de ar são indicados para a produção de concreto massa e de misturas de concreto leve, deve ser dosado com certo tipo de cuidado pois tem a característica de tornar as partículas de cimento hidrofóbicas, causando um retardo na hidratação do cimento e implicando na resistência do material. Já os aditivos redutores de água geralmente trabalham de forma positiva a resistência do concreto e diminuem a quantidade de água sem afetar a trabalhabilidade.

Segundo Metha & Monteiro (2008), os aditivos modificadores de pega são utilizados para acelerar ou retardar o tempo de pega e da taxa de desenvolvimento da resistência nas primeiras idades. Algumas substancias podem se comportar de forma dúbia a depender da quantidade do aditivo utilizado, se comportando ora acelerando as reações, ora reduzindo-as. Portanto, o aceleramento das reações ocorre quando há necessidade do desenvolvimento rápido da resistência do material onde se permita a retirada das formas, uma liberação mais rápida da construção para outros serviços, concretagem em dias frios. Já para os dias quentes, onde a temperatura traz um início precoce das reações, dificultando o lançamento e acabamento, utiliza-se os retardadores de pega., onde também se faz necessário em para a eliminação de juntas frias ou em grandes concretagens, favorecendo o não aparecimento de fissuras e um ganho de resistência uniforme nas seções.

As adições se subdividem em grupos, aquelas com atividade pozolânica (sílica ativa, cinza de casca de arroz, cinza volante classe F), com atividade cimentante (escória de alto-forno, cinza volante classe C) e as quimicamente inertes, os filers (material carbonático, pó de quartzo, pó de pedra) (GONÇALVES, 2000). As adições artificiais são subprodutos das indústrias geradas em processos onde, devido à alta temperatura, há a mudança na estrutura cristalina desses materiais tornando-os energeticamente estáveis. Os mais difundidos são a cinza volante, escória de alto-forno, sílica ativa e cinza de casca de arroz, denominadas pozolanas artificiais. Gonçalves (2000) frisa a importância de diferenciar um uma adição de um agregado muito fino. As adições de fíler são partículas muito finas, que apresentam diâmetro médio menor que 50 μm e que possuem atividade química como material constituinte, possuindo apenas efeito físico dentro do concreto. Já o agregado fíler é o material que apresenta granulometria na faixa de 50 μm à 150 μm , e é utilizado para o preenchimento dos vazios.

- *Cinza volante*

É o material proveniente da queima do carvão. Ao atravessar as zonas de alta temperatura na fornalha, materiais voláteis e carbono são queimados, enquanto que a maior parte das impurezas minerais se fundem e permanecem em suspensão. Existem dois tipos de cinzas geradas pelo processo da queima do carvão: as cinzas pesadas, que são as que se depositam no fundo das caldeiras, e as cinzas volantes, que são as partículas em suspensão que escapam através dos fumos de exaustão (FONSECA, 2010). Como são compostos de argilas, materiais silicosos e aluminosos, são classificados como de propriedade pozolânica, e por sua classificação primária por meio de separadores mecânicos e precipitadores eletrostáticos, podem geralmente ser utilizados como adição mineral sem passar por mais nenhum tipo de beneficiamento.

Witzke (2018) apresenta duas classes para acinza volante:

- a. Classe C: originados a partir da queima de carvão sub-betuminoso e apresentam propriedades cimentantes pela presença de grandes quantidades de CaO. Essa classificação ocorre sempre que a soma dos teores de silicado, alumina, óxido de ferro e de cálcio for maior que 50%.
- b. Classe F: originados a partir da queima do carvão betuminoso e pelo seu baixo teor de cálcio não apresenta propriedades cimentantes. Essa classificação é dada sempre que os teores de seus componentes (silicado, alumina, óxido de ferro e de cálcio) for maior que 70%.

- *Sílica ativa*

Esse tipo de adição mineral é um subproduto decorrente da produção do silício metálico, que por sua vez é obtido a partir da sílica presente no quartzo leitoso. O silício metálico é utilizado na produção de mais de 10.000 produtos, boa parte presente no nosso dia-a-dia, como componentes eletrônicos, silicões, ligas de alumínio, painéis solares (FONSECA, 2010). É um material altamente pozolânico, mas é de difícil manuseio e aumenta consideravelmente a necessidade de água no concreto, sendo necessário aditivos redutores de água (METHA; MONTEIRO, 2008).

Durante a redução da sílica, onde são utilizados fornos elétricos que podem ultrapassar os 3000 °C, o quartzo de elevada pureza e carvão são introduzidos no forno, ao qual é produzido um gás (monóxido de silício gasoso-SiO) que esfria-se, condensa e oxida na forma de (SiO₂) que é captada por filtros antes de sair para a atmosfera (FONSECA, 2010). Dependendo do tipo de liga, tipo de forno, composição química e dosagem de matérias-primas, podem ser obtidos diferentes tipos de sílica, em diferentes cores, distribuição granulométrica e outras características.

- Fíler

O fíler corresponde ao material cuja finura se aproxima à do cimento, podendo ser constituído de materiais naturais ou materiais inorgânicos processados. Segundo Fonseca (2010) esse material tem a propriedade de corrigir os finos da areia, melhorando a durabilidade, quando presentes em pequenas quantidades. São adições sem atividades pozolânicas, ou seja, que não apresenta atividade química, se tornando materiais que contribuem mais no estado fresco que no endurecido. Segundo Gomes (2008), a finura e a massa específica são as duas principais características que exercem maior influência no concreto. A elevada finura desse material acaba por densificar a matriz cimentícia ao preencher os vazios deixados pelos produtos de hidratação.

- Escória de alto-forno

A norma brasileira NBR 5735:1991 define escória de alto forno como “subproduto do tratamento de minério de ferro em alto forno, obtido na forma granulada por resfriamento brusco, constituído em sua maior parte de silicatos e aluminosilicatos de cálcio”. Diferente das cinzas volantes, a escória precisa ser moída até chegar a uma granulometria adequada, a depender do grau de ativação necessário e de fatores econômicos (FONSECA, 2010). A escolha na utilização desse material está no fato de sua composição química ser semelhante à do cimento, porém em proporções diferentes, conferindo a esse material propriedades cimentantes. Por si só não é capaz de conferir propriedades que o torne um material estrutural, por isso que sua utilização acontece na forma de adição, melhorando propriedades no concreto.

4.3 Propriedades do concreto

Para o processo de criação do concreto como elemento estrutural resistente é necessário um conjunto de procedimentos que ditam a fase de formação do material. Para estruturas de concreto, a combinação das competências, tanto na parte projetual quanto na fabricação e execução, ditam o sucesso das obras. Dessa forma, existe uma influência mútua entre as propriedades que o material deve adquirir e seu processo de produção.

As primeiras exigências que o material deve estar relacionado é na sua fase não endurecida, onde o principal objetivo é obter um material plástico e homogêneo capaz de ser moldado das mais diferentes formas. Requisitos como quantidade e forma dos agregados, relação água/cimento, qualidade na execução, são responsáveis por propriedades do material fresco como consistência, fluidez e trabalhabilidade, fazendo com que no estado endurecido o concreto possa trabalhar na sua maior eficiência. Segundo Metha & Monteiro (2008), os procedimentos realizados nas primeiras idades, como dosagem dos materiais, mistura, transporte, lançamento, adensamento, acabamento e cura, são extremamente necessários para assegurar que o elemento acabado seja estruturalmente adequado para a finalidade que foi projetado.

4.3.1 Estado fresco

4.3.1.1 Trabalhabilidade

Segundo Bauer (2000), a noção de trabalhabilidade é mais subjetiva que física. Ela representa a facilidade que a mistura possui de ser manipulada com perda mínima de homogeneidade e tem ligação com parâmetros como a consistência e a coesão entre os componentes. A norma brasileira NBR NM 67 é responsável por ditar os requisitos para o ensaio responsável para o ensaio de consistência do concreto, denominado slump test.

O abatimento de tronco de cone, slump test, é considerado um método eficaz e bem prático, de fácil execução e interpretação, podendo ser feito na própria obra. De acordo com Lara (2013), pelo abatimento podemos identificar a consistência do material, associando-o numericamente à uma trabalhabilidade. A tabela abaixo mostra a relação do slump com a consistência do material.

Tabela 4: Consistência medida pelo abatimento

Concretos	Slump (mm)
Secos	0 - 20
Pouco plástico	20 - 70
Plástico	70 - 120
Muito plástico	120 - 200
Fluído	>200

Fonte: Lara (2013)

A importância desse ensaio se deve aos diversos fins que o concreto exige e nas suas características definidas em projeto. De acordo com Metha & Monteiro (2008), um concreto utilizado em uma fundação pode possuir características de trabalhabilidade diferente de um lançado em uma peça esbelta, bem como a utilização de vibradores de alta frequência em relação ao adensamento manual. Um exemplo típico são os concretos bombeáveis, que necessitam de um slump maior, ou seja, maior consistência para poder ser lançado a grandes alturas. Da mesma forma, em projetos de estruturas de concreto armado ou protendido, segundo a NBR 6118, devem ser adotados valores de abatimento nas etapas de cálculo e dimensionamento das estruturas.

Portanto, podemos concluir que a trabalhabilidade não é uma propriedade intrínseca do material, pois está relacionada tanto a fluidez (facilidade de mobilidade) quanto a coesão (resistência à segregação), que por sua vez é um parâmetro obtido nas etapas de dosagem e execução do material (METHA; MONTEIRO, 2008).

4.3.1.2 Segregação

A segregação pode ser definida como a separação dos materiais componentes do concreto dentro da mistura. Segundo Metha & Monteiro (2008), há dois tipos de segregação, aquela em que os agregados se dissociam da argamassa, e aquela referente ao desprendimento da água de amassamento da superfície dos agregados. Geralmente é ocasionada por diferença

entre as massas específicas dos materiais, que é facilitada pelo transporte inadequado ou até um adensamento excessivo (LARA, 2013).

Bauer (2000) comenta que o primeiro tipo de segregação ocorre pela separação dos grãos maiores da mistura. Esses por terem uma maior densidade se depositam no fundo das formas ou no caso de concreto transportados em calha, onde por serem mais pesados se deslocam mais rapidamente.

O segundo tipo de segregação é conhecido como exsudação e acontece sempre que os sólidos em suspensão tendem a se sedimentar e a água emergir a superfície. Outro problema decorrente da exsudação está relacionado a expulsão dos finos, como o cimento e areia, devido a percolação da água, causando o carreamento desse material à superfície e depositando-se na forma de lama (METHA; MONTEIRO, 2008). Os resultados da exsudação são: alta porosidade, baixa resistência, redução da aderência na armadura, e podem ser minimizados pela utilização de cimentos mais finos e agregados com boa distribuição granulométrica (LOPES, 2014).

Para Bauer (2000), a exsudação se torna prejudicial quando a água superficial é impedida de evaporar, resultando em uma camada de concreto poroso, fraco e de pouca durabilidade. O autor também comenta que esse fenômeno só é prejudicial quando altera propriedades na estrutura do concreto, em caso contrário, evaporando-se a água, o fator a/c diminui, ocasionando um aumento na resistência.

4.3.1.3 Tempo de pega

Existe uma propriedade que serve de ponte conectando o estado fresco e o endurecido, o tempo de pega. Esse estado diz respeito ao começo das reações de hidratação e o início do enrijecimento do material, preparando-o para a próxima fase denominada cura. Os principais fatores que tem influência direta no tempo de pega são: composição do cimento, relação água/cimento e temperatura (METHA; MONTEIRO, 2008).

Segundo Bauer (2000), no processo de hidratação ocorre a floclulação dos grãos de cimento, inicialmente em suspensão, sendo responsável pela construção do esqueleto sólido que gera a estabilidade da estrutura geral e prosseguindo a hidratação, em idades mais

avançadas conduz ao endurecimento do concreto, responsável pelas características mecânicas do material acabado.

4.3.2 Estado endurecido

4.3.2.1 Resistência

De acordo com Metha & Monteiro (2008), a resistência de um material é definida pela capacidade de resistir as tensões sem se romper. O autor ainda comenta que o sentido de “romper” por si só não é garantia de um colapso do elemento estrutural, pois no concreto existem microfissuras internas que com o acréscimo das solicitações podem desencadear o aumento dessas fazendo com que o material perca sua capacidade resistente antes de se romper, portanto, o que existe é uma tensão máxima de ruptura que o material pode suportar. Esse nível de tensão tem relação com a zona de transição do concreto, pois a aderência entre os agregados e os produtos de hidratação é obtido pelas forças de Wan der Walls, o volume de vazios, tamanho desses vazios e os tipos e tamanhos dos cristais presentes na zona de transição determinarão a resistência dessa zona (GONÇALVES, 2000). Diversos fatores tem influência na resistência do concreto, como a relação a/c, teor de ar incorporado, tipo de cimento, agregados, água de amassamento, aditivos e adições minerais.

4.3.2.2 Durabilidade

A durabilidade do concreto faz referência a sua vida útil e está relacionada tanto as propriedades do concreto fresco quanto as do endurecido (LARA, 2013). Ainda segundo a autora esse requisito se torna uma exigência para estruturas de concreto, como pontes, edifícios, barragens, tanto pelo custo de fabricação, quanto pela dificuldade de manutenção. Segundo Bauer (2000), o conceito de durabilidade de um material deve ser abordado em termos relativos, pois relacionam o conhecimento do comportamento desse material, sujeito a deterioração, sobre as mais variadas condições. Na Tabela 5 são apresentados os principais fatores que afetam a durabilidade das estruturas de concreto armado.

Tabela 5: Classificação dos agentes agressivos

Agentes	Concreto	Armadura
Mecânicos	Abrasão, Choques, Vibração, Fadiga	
Físicos	Temperatura	
Físico-químicos		Corrosão eletroquímica Corrosão sob tensão
Ecológicos Químicos	Águas puras Águas carbônicas Águas sulfatadas Águas do mar Agentes agressivos	
Intrínsecos	Reação álcali-agregado	
Biológicos	Bactérias	

Fonte: Bauer (2000)

Percebe-se com a Tabela 5 que para o concreto em seu estado endurecido o prolongamento de sua vida útil está relacionado à fatores ambientais/exposição e utilização. Abaixo serão comentados os principais fatores que contribuem para a durabilidade do concreto

- Permeabilidade e Porosidade

O concreto é um material poroso e seus vazios podem estar relacionados há: excesso de água de mistura necessária à obtenção de trabalhabilidade adequada, diminuição de volume absoluto decorrente das reações de hidratação na mistura, ar incorporado e fissuras de diversas origens, térmicas, de retração, mecânicas (BAUER, 2000). Para concretos usuais todo fator que possui tendência de melhorar a resistência à compressão tem um efeito positivo sobre a permeabilidade, além do mais a redução da relação a/c favorece a impermeabilidade do material, bem como a proporção de finos e utilização de aditivos.

Segundo Metha & Monteiro (2008) existem três tipos de permeabilidade: da pasta de cimento, do agregado e a do concreto. Durante todo o processo de hidratação, o tamanho e a continuidade dos poros estarão relacionados ao coeficiente de permeabilidade. Ainda segundo o autor geralmente é empregado o termo “permeabilidade” quando se trata de coeficiente de permeabilidade, que acaba tendo o mesmo sentido, da facilidade com que a água pode penetrar na estrutura devido a interconexão dos poros.

A porosidade no concreto é influenciada principalmente pelas microfissuras que são observadas na zona de transição da interface entre pasta de cimento e agregado, isso pela fragilidade na interação desses materiais e devido à esforços diferenciais entre os componentes, causados pela retração por secagem, retração térmica e pelo carregamento aplicado externamente (METHA; MONTEIRO, 2008). Essas microfissuras são pequenas ao ponto de serem menores que os poros observados na matriz da pasta de cimento, mas a propagação destas estabelece as interconexões necessárias para o aumento da permeabilidade do sistema.

- Ataque por sulfatos

O resultado dos ataques de sulfatos em concretos se apresentam na forma de fissuração e expansão (METHA; MONTEIRO, 2008). A fissuração ocorre quando há exposição direta ou indireta à um ambiente agressivo (podendo ser águas sulfatadas ou o próprio solo) e torna o material mais propício a permeabilidade, deixando livre o caminho para a penetração da água, acelerando o processo de deterioração. Já a expansão geralmente está associada ao ambiente interno do concreto que contém algum material contaminado com íons sulfatos.

Uma das principais causas de deterioração nos concretos são os ataques de sulfatos, podendo ser de magnésio, sódio, potássio, amônia. Esses compostos acabam reagindo, tanto com a cal hidratada, no processo de hidratação do cimento, quanto com os hidratos de aluminato de cálcio (BARROS, 2008). os ambientes com presença de sulfatos são: água do mar, água subterrânea, poços de mineração, água proveniente de esgoto, águas industriais.

4.3.2.3 Processos executivos

Após a discussão das propriedades do estado fresco e endurecido do concreto, podemos perceber o quanto os processos executivos empregados têm relação com a qualidade do concreto. A adequada proporção dos materiais, o controle de suas características no estado fresco e os cuidados com o lançamento e cura definem as propriedades do concreto endurecido (GONÇALVES, 2000).

As deficiências observadas no concreto fresco, tais como a perda de trabalhabilidade durante o lançamento e exsudação durante o adensamento, podem refletir no desenvolvimento tardio da resistência, prejudicando assim o produto final e diminuindo sua vida útil (METHA; MONTEIRO, 2008). As primeiras idades representam uma pequena parcela, se comparado a duração esperada para o concreto, mas é nesse período que o material se apresenta na forma mais frágil, quimicamente e fisicamente, ficando mais suscetível as alterações que podem ocorrer durante os processos.

4.4 Influência dos agregados no concreto

Fonseca (2009) comenta que a influência dos agregados graúdos no concreto está diretamente relacionada às características do próprio agregado, como diâmetro máximo, granulometria e forma do grão. No concreto fresco essas propriedades influenciam na trabalhabilidade da massa e no concreto endurecido tem implicações na resistência, estabilidade dimensional e durabilidade. A mudança no diâmetro máximo do agregado tem consequências distintas, segundo Silva (2016), se houver um aumento no diâmetro máximo, assumindo uma distribuição granulométrica bem graduada, para um mesmo teor de cimento, ocorrerá uma redução da água de amassamento. Por outro lado, agregados maiores influenciam na zona de transição, prejudicando a conexão pasta-agregado, causando uma tendência dessa interface ser mais fraca.

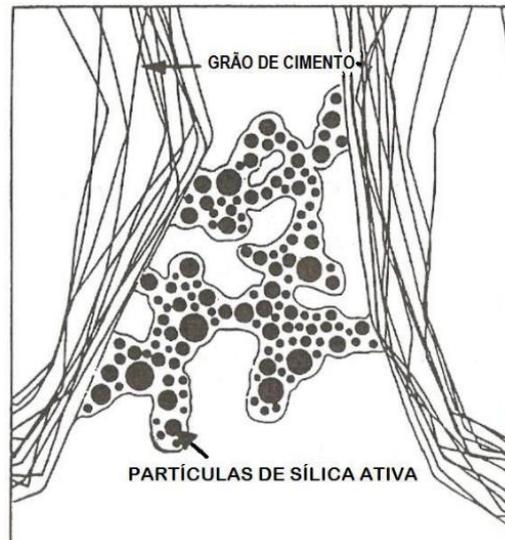
4.5 Influência das adições minerais no concreto

As adições minerais exercem grandes influências nas propriedades do concreto, devido as suas características físicas e à reatividade química. Segundo Gonçalves (2000), são melhoradas propriedades no estado fresco, como a exsudação, pois a finura das adições, quando incorporadas ao concreto, reduzem o tamanho e o volume de vazios, melhorando a coesão do material. Pela alta finura das adições e elevada superfície específica, elas provocam um aumento na demanda de água para manter a consistência.

Gonçalves (2000) comenta que a utilização de adições tem influência no tempo de pega e cura dos concretos. A utilização de um material mais fino gera uma aceleração das reações de hidratação pelo “efeito filer” e um consequente aumento na resistência. Também pode ocorrer a necessidade de um aumento no tempo de cura por conta da atividade pozolânica associadas à finura e ao teor adicionado ou substituído.

Segundo Fonseca (2010), uma das adições minerais com maior poder de reatividade é a sílica ativa, devido a sua finura, forma das partículas e sua natureza amorfa. Por ser um material esférico, com diâmetro de partículas aproximadamente 100 vezes menor que o cimento, possui uma grande superfície específica causando uma redução do volume de vazios e consequentemente uma densificação na zona de transição. Dessa forma, percebe-se o aumento no consumo de água do concreto sendo necessário a utilização de aditivos plastificantes para melhorar a trabalhabilidade do material.

Figura 18: Influência da sílica ativa na matriz cimentícia



Fonte: Fonseca (2010)

São observados resultados positivos relativos ao concreto fresco e endurecido ao se utilizar sílica ativa. Pela sua elevada finura, propriedades como segregação e exsudação garantem que a água de amassamento não fuja, garantindo as reações de hidratação, além de melhorias na porosidade e permeabilidade, que aumentam a resistência a ambientes agressivos, no concreto endurecido. Portanto, a combinação dos efeitos físicos e químicos da sílica ativa gera mudanças microestruturais no concreto, melhorando a aderência pasta-agregado e pasta armadura (FONSECA, 2010).

Existem materiais que não possui reatividade química quando incorporados ao concreto, os fílers, não apresentando influência nos produtos hidratados, mais podendo influenciar na quantidade total desses produtos e no calor de hidratação, também não causam alteração na pega e tempo de cura (GONÇALVES, 2000). A maior contribuição do fíler está na diminuição da permeabilidade e no refinamento da estrutura de poros, pois a finura desses materiais contribui para densificar a matriz e a zona de transição, gerando um aumento de resistência nas idades iniciais, sem acontecer atividade química.

Gonçalves (2000) comenta que a utilização de escória de alto forno e cinza volante gera uma melhora em propriedades como a trabalhabilidade, por causar uma maior coesão entre as partículas e acaba contribuindo para uma menor segregação, além de uma redução da quantidade de água pela substituição ao cimento, não apresentando interferência na

trabalhabilidade. Ao utilizar esses materiais como adições, Metha & Monteiro (2008) comentam que a redução da temperatura é quase que proporcional a quantidade do material substituído pelo cimento, contribuindo na resistência à fissuração térmica.

Essas adições minerais também acabam contribuindo para a diminuição do calor de hidratação, pois ocorre uma redução da quantidade de cimento. Admitindo-se que, devido ao calor de hidratação a temperatura máxima no concreto seja atingida por volta dos três dias após a concretagem, a utilização de adições, como a pozolâna natural, cinza volante ou escória de alto-forno, podem ajudar na questão das fissuras em idades iniciais. Esses materiais apresentam boas propriedades no início do processo de endurecimento e tendem a diminuir a representatividade de suas reações com o passar dos dias (METHA; MONTEIRO, 2008).

As misturas com adição de material pozolânico tendem a reduzir a velocidade com que o ganho de resistência acontece, isso porque as reações ocorrem de forma mais lenta pela diminuição da quantidade do material cimentício. Em contrapartida aumenta-se a quantidade de produtos de hidratação, pelo maior envolvimento dos finos, podendo reduzir a porosidade da matriz e da zona de transição, causando uma elevação na resistência final do concreto (GONÇALVES, 2000). A permeabilidade do concreto representa um papel fundamental na resistência aos agentes de deterioração, como os ataques por soluções ácidas ou por sulfatos. Como a reação pozolânica gera um refinamento dos poros, onde reduz-se a permeabilidade, é observado que esse tipo de adição melhora a durabilidade química do concreto (METHA; MONTEIRO, 2008).

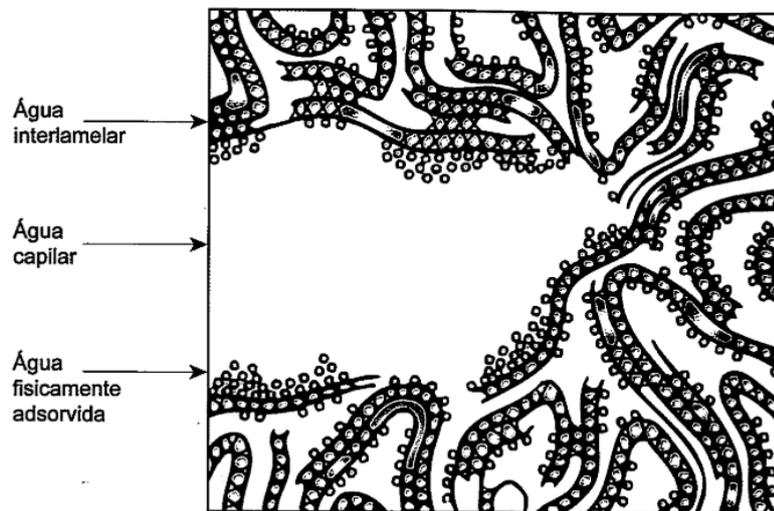
4.6 Influência da água no concreto

Segundo Metha & Monteiro (2008) a água é de extrema importância, pois ao mesmo tempo que é necessário para as reações de hidratação do cimento também atua como agente facilitador da mistura dos componentes do concreto, ou seja, a quantidade de água deve ser dosada de forma que facilite os processos executivos, bem como seja capaz de promover ao concreto suas propriedades esperadas no estado endurecido.

Como comenta Abrão (2018), a água desempenha um papel fundamental no que diz respeito a interação com o ligante, podendo ter efeitos adversos. A quantidade de água influencia no processo de formação de produtos hidratados da mistura, ou seja, uma maior quantidade de água ligada quimicamente gera um maior volume de produtos hidratados. Em contrapartida, uma quantidade adicional pode ser prejudicial no comportamento reológico da mistura, levando a um aumento na porosidade, afetando as propriedades mecânicas e de durabilidade. A NBR 6118 dita os valores máximos que podem ser atribuídos à relação água/cimento, isso por conta dos resultados negativos, na resistência à compressão e durabilidade que esse fator proporciona.

Microscopicamente existem diversos tipos de água presentes na estrutura do concreto, que são classificadas de acordo com a facilidade que podem ser removidas, que segundo Metha & Monteiro (2008) são: a água combinada (necessária aos processos de hidratação), ou a água livre (capilar, adsorvida e interlamelar). A quantidade de água nos poros depende da umidade relativa do ambiente, que é um dos principais responsáveis pelo fenômeno de retração por secagem.

Figura 19: Tipos de água na microestrutura do concreto



Fonte: Metha e Monteiro (2008)

A água capilar está presente nos grandes e pequenos vazios e representa a que possui maior facilidade de ser liberada. Após começar o fenômeno da secagem, observa-se que existe água próximo a superfície do sólido, que é fisicamente adsorvida pela parede da pasta de cimento hidratada. Como comenta Metha & Monteiro (2008), acontece que a energia de ligação

das moléculas diminui com o distanciamento da superfície do sólido, fazendo com que a uma umidade relativa de 30% possa ocorrer a secagem e ocorrer a retração do material. A parcela da água presente entre os produtos de C-S-H (Silicato de Cálcio Hidratado) é denominada de interlamelar, possui forte ligação por pontes de hidrogênio e só são removidas a baixas umidades relativas, na faixa de 11%.

5. METODOLOGIA

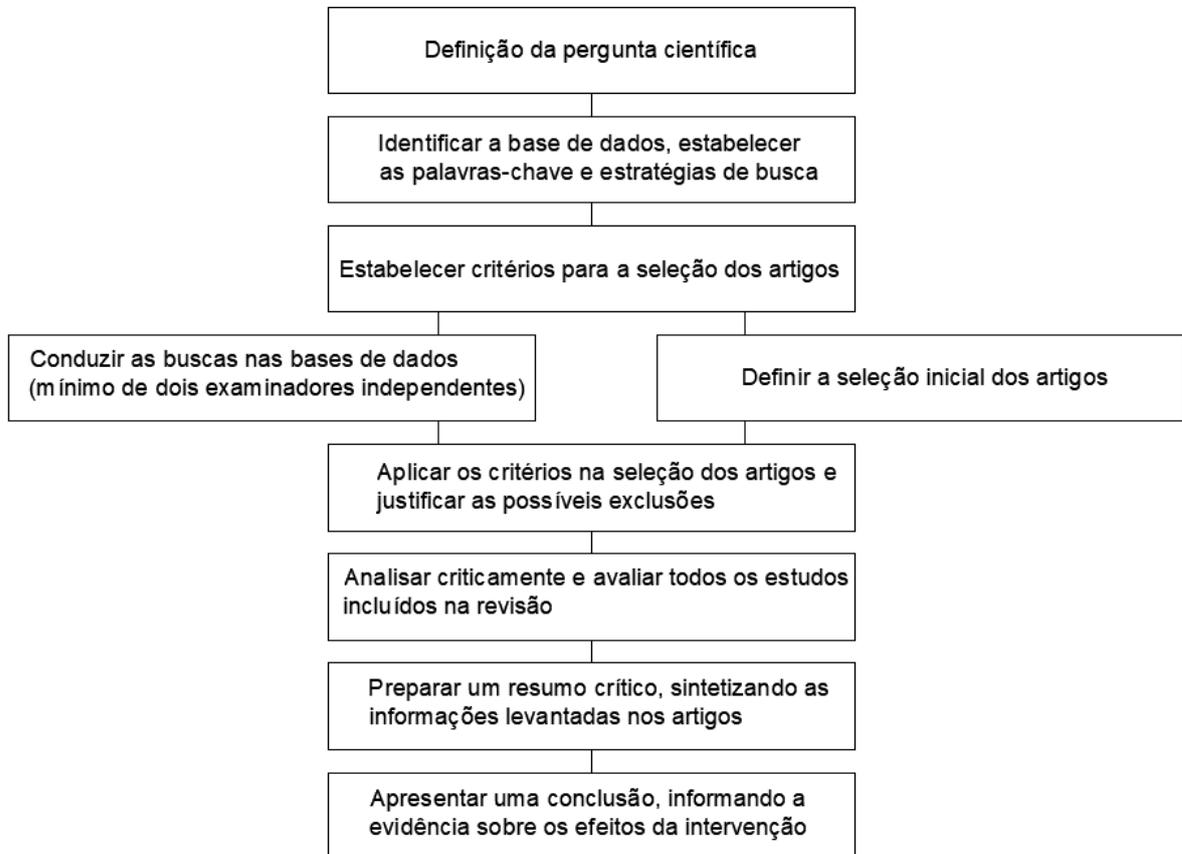
5.1 Tipos de revisão

As revisões bibliográficas configuram os primeiros passos para o conhecimento científico de determinada área ou assunto e a partir delas é permitido construir toda uma estrutura sobre um determinado tema. Por existir vários tipos de pesquisa, existem diversos tipos de revisão, ou seja, o nível de precisão acompanha o caminho para a escolha do tipo de revisão a ser adotado. De acordo com Botelho, Cunha e Macedo (2011), as revisões de literatura podem ser divididas em narrativas e sistemáticas, apesar de ambas apresentarem o nome de revisão, possuem características e objetivos distintos.

A revisão narrativa não apresenta uma metodologia de busca específica, sendo norteadas por uma forma geral de pesquisa sobre um determinado tema, não existindo metodologias que viabilize a reprodução dos dados e nem traga respostas quantitativas sobre os determinados questionamentos (BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011). A revisão sistemática não é considerada generalista e desconectada, como a narrativa, mais sim planejada e criteriosa a fim de responder a um questionamento imposto como pergunta. Ela é considerada um estudo retrospectivo, pois utiliza como fonte os estudos primários, que são os materiais já publicados até então sobre o tema (CORDEIRO *et al.*, 2007).

De acordo com Sampaio & Mancini (2007) existem passos que devem ser seguidos para considerar uma metodologia de revisão como sistemática, que são apresentados na Figura 20.

Figura 20: Etapas de uma Revisão Sistemática



Fonte: Adaptado de Sampaio & Mancini (2007)

Dentro da revisão sistemática existe uma metodologia chamada de revisão integrativa. O termo “integrativa” tem origem na integração de opiniões, conceitos ou ideias provenientes das pesquisas utilizadas (BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011). A diferença entre os modelos metodológicos é que a revisão sistemática é direcionada a um assunto mais específico, enquanto que a integrativa pode ser mais aberta ao tema, desde que siga os passos necessários à coleta das evidências. Pela pesquisa se enquadrar em um viés de análise de alternativas possíveis para um tema de interesse, esse estudo foi melhor descrito na forma de revisão integrativa. Portanto, os tópicos seguintes concretizam os passos adotados para a realização dessa metodologia.

5.2 Parâmetros da Revisão

5.2.1 Definição da Pergunta de Estudo

Assim como parte a busca por qualquer informação, o primeiro passo está relacionado com o que queremos questionar, definição de um problema e a formulação de uma pergunta de pesquisa. Partindo da conscientização ambiental e sabendo que a indústria de rochas ornamentais gera uma grande quantidade de resíduo, combinado com o potencial do concreto em absorver de forma positiva os mais variados tipos de resíduos, partiu-se para a elaboração da pergunta de estudo.

De acordo com a temática do trabalho e as dúvidas sobre esse tema, buscou-se analisar o desempenho técnico do uso de resíduo de mármore e granito na produção de concretos. Portanto, o primeiro parâmetro de questionamento foi dado na forma de pergunta, sendo: *A utilização de resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais é uma alternativa viável para a produção de concretos?*

5.2.2 Seleção dos Artigos

5.2.2.1 Definição das Palavras-Chave e Combinações

A escolha correta dos artigos está pautado na busca pelas evidências, onde os autores devem se certificar que todos os materiais importantes ou que possam ter algum impactos, sejam incluídos (SAMPAIO; MANCINI, 2007). Dessa forma devem ser elencados termos ou palavras-chave que mais se aproximem da proposta de pesquisa.

Foram determinadas primeiramente um conjunto de 2 combinações principais de acordo com as 4 palavras-chave que mais sintetizam o trabalho. Após essa etapa foram consideradas outras combinações chamadas de complementares, onde novas palavras ligadas ao tema eram inseridas para identificar a influência destas nas buscas efetuadas. O Quadro 1 apresenta as palavras-chave relativas a cada combinação.

Quadro 1: Combinações e Palavras-chave

Combinação	Palavras-chave
Principal 1	Granite, Wastes, Concrete
Principal 2	Marble, Wastes, Concrete
Complementar 1	Granite, Marble, Recycled, Concrete
Complementar 2	Granite, Marble, Sustainable, Concrete
Complementar 3	Granite, Marble, Incorporating, Concrete
Complementar 4	Marble, Reusing, Concrete
Complementar 5	Marble, Aggregate, Concrete
Complementar 6	Marble, Cement, Concrete
Complementar 7	Granite, Marble, Powder, filler, Concrete

Fonte: autor (2020)

5.2.2.2 Base de Dados e Procedimento de Buscas

De acordo com Botelho, Cunha e Macedo (2011), a técnica de busca é uma etapa importante na seleção do material, ela é a ponte entre a pergunta formulada e a informação armazenada em uma base de dados. Para facilitar o processo de busca é necessário relacionar de melhor forma as palavras-chave com o tema, para isso são usados os conectivos.

A base de dados bibliográfica escolhida para a fase das buscas foi a SCOPUS, pois é uma ferramenta completa de produção científica nas mais diversas áreas, como ciência, tecnologia, medicina, entre outras. Essa base utiliza os operadores booleanos AND, OR e NOT para relacionar e restringir os termos a serem pesquisados. O Quadro 2 abaixo mostra a relação adotada entre os operadores e as combinações de palavras-chave.

Quadro 2: Aplicação dos Operadores Booleanos

Combinação	Palavras-chave
Principal 1	Granite AND Wastes AND Concrete
Principal 2	Marble AND Wastes AND Concrete
Complementar 1	Granite OR Marble AND Recycled AND Concrete
Complementar 2	Granite OR Marble AND Sustainable AND Concrete
Complementar 3	Granite OR Marble AND Incorporating AND Concrete
Complementar 4	Granite OR Marble AND Reusing AND Concrete
Complementar 5	Granite OR Marble AND Aggregate AND Concrete
Complementar 6	Granite OR Marble AND Cement AND Concrete
Complementar 7	Granite OR Marble AND Powder OR filler AND Concrete

Fonte: autor (2020)

5.2.2.3 Estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão

Os critérios de inclusão e exclusão são comumente adotados para filtrar a pesquisa de modo a diminuir a generalidade das buscas. Abaixo são listados os motivos e critérios de exclusão adotados dessa que antecede a etapa de busca.

- *Temporal*: foram classificados na busca todos os materiais de um período de 21 anos, correspondendo ao intervalo de 2000 a 2020.

- *Língua*: os materiais científicos em línguas inglesa e portuguesa foram escolhidos por representar maior significância entre os principais periódicos.

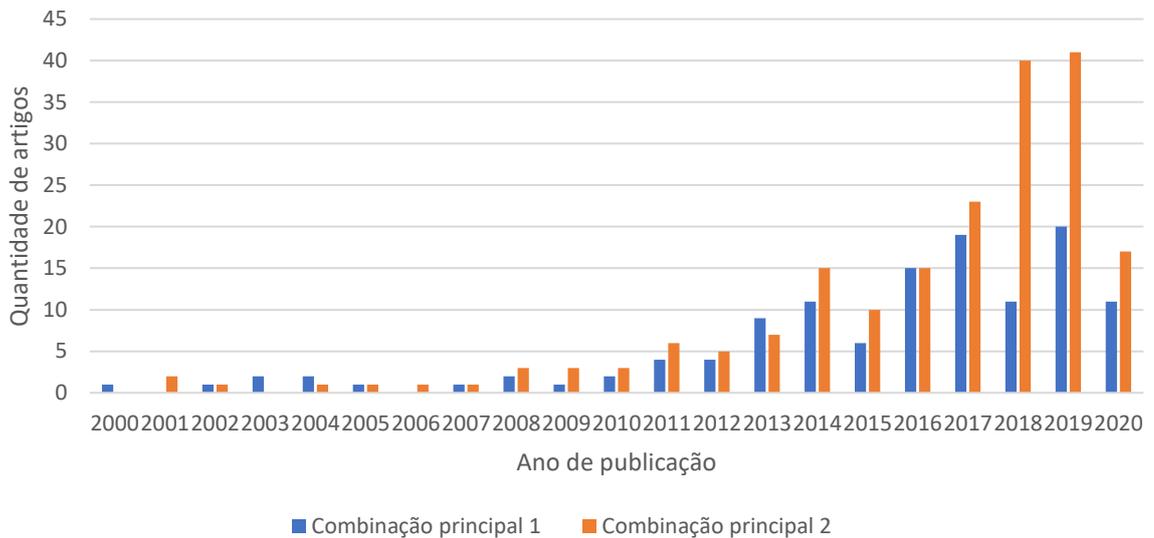
- *Área de estudo*: somente estudos de “engenharia” foram estabelecidos como critério de inclusão com o objetivo de nos direcionar melhor com a proposta da pesquisa.

- *Tipo de Material*: foram selecionados segundo esse critério apenas os materiais científicos do tipo “artigo”, por se tratar de um texto técnico científico de alto grau de relevância.

A Figura 21 mostra um gráfico onde pode ser observada a quantidade total de artigos encontrados após a aplicação dos critérios. Foi observado nos primeiros 10 anos uma quantidade pequena de artigos publicados sobre o tema, em comparação com a segunda década.

Essa diferença mostra que a produção científica que se iniciou no começo desse século foi responsável pela continuidade e o aumento nas pesquisas pelos potenciais resultados obtidos sobre o tema.

Figura 21: Relação dos artigos por ano de publicação



Fonte: autor (2020)

Portanto, o critério temporal foi modificado para o intervalo de 2010 até 2020. Após o reajuste o resultado final foi de 112 e 182 artigos, apresentando uma perda de 9,82% e 7,14 %, para as combinações principais 1 e 2 respectivamente. Pela consideração de mais combinações, as complementares, foi observado uma grande quantidade de artigos duplicados, sendo as hipóteses destas listadas abaixo.

- I. As combinações complementares possuem o conectivo “OR” para as palavras mármore e granito, conduzindo ao levantamento de artigos com um dos dois materiais;
- II. As palavras adotadas acabam se relacionando entre as combinações, pois no levantamento elas podem aparecer no título, resumo ou palavras-chave.

A quantidade total de 1233 artigos, referente à soma das combinações, foi reduzida a 519 artigos, havendo uma perda de aproximadamente 58% relativo aos artigos duplicados. O Quadro 3 resume a quantidade de artigos encontrados nas combinações complementares.

Quadro 3: Quantidade de artigos gerada nas combinações complementares

Combinação	Quantidade de artigos
Complementar 1	52
Complementar 2	78
Complementar 3	35
Complementar 4	7
Complementar 5	330
Complementar 6	265
Complementar 7	172

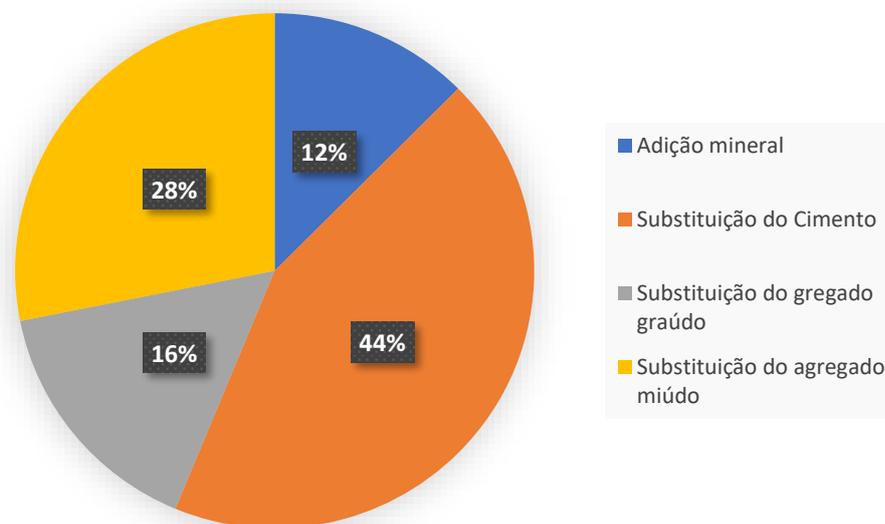
Fonte: autor (2020)

Seguindo o processo de levantamento dos artigos elegíveis para pesquisa, o próximo passo foi estabelecer um critério de relevância da pesquisa, onde foram organizados entre as combinações os artigos que apresentaram maior quantidade de citações. Após a elaboração ranking dos artigos mais citados, seguiu-se a leitura dos títulos e resumos de forma a verificar a elegibilidade do artigo, sendo adotado como critério de exclusão para essa etapa a fuga do tema. Dessa forma, foram elegidos 30 artigos como quantidade de amostra da pesquisa.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da análise dos artigos foram levantadas quatro possibilidades para o uso do resíduo de mármore e granito na produção de concreto, apresentado na Figura 21.

Figura 22: Tipo de utilização dos resíduos



Fonte: autor (2020)

Pode ser observado para essa amostra que os estudos sobre utilização do resíduo como adição mineral obteve a menor taxa de participação, isso pode ser devido ao fato das adições minerais já se apresentarem como alternativas viáveis de uso em concretos. A maior quantidade de estudos apresentou tendência de pesquisa na substituição do cimento, podendo estar relacionado ao fato, já comentado anteriormente, do maior custo desse insumo frente aos agregados. A Figura 23 mostra a relação dos periódicos.

Figura 23: Distribuição dos artigos segundo o periódico

Periódico	N	%
Construction and Building Materials	19	63,33 %
Cement and Concrete Research	1	3,33 %
Journal of Cleaner Production	9	30 %
Journal of Materials Processing Technology	1	3,33 %
Total	30	100%

Fonte: autor (2020)

Portanto, esse capítulo é dedicado a discussão dessas alternativas sobre a perspectiva das propriedades do concreto. Foram elaborados tópicos de acordo com as principais características do concreto no estado fresco e endurecido de modo a discutir um pouco os resultados obtidos, sintetizar as informações e argumentar se há viabilidade na utilização desses materiais alternativos.

6.1 Trabalhabilidade

Dentre as alternativas estudadas foi percebido um melhor aproveitamento na substituição dos agregados graúdos nas características de trabalhabilidade e consistência do concreto, como mostram os estudos de André *et al* (2014), Binici *et al* (2008) e Martins *et al* (2014). Para esses estudos a substituição do agregado graúdo apresentou a característica de estabilidade da mistura, não variando a trabalhabilidade acima do esperado.

André *et al* (2014) e Martins *et al* (2014) constataram que o material substituído apresenta certa influência na mistura; apresentando o concreto com 100% de granito uma trabalhabilidade mais baixa se comparado com um concreto com 100% de mármore, mas todos dentro de um limite estipulado na pesquisa, com slump de 115 ± 10 mm. Resultados próximos alcançou Binici *et al* (2008), onde foi percebido que o concreto com mármore apresenta uma ligeira melhora na trabalhabilidade se comparado ao concreto com granito, e que a substituição da areia pela escória de alto forno nos dois tipos de concreto ocasiona uma ganho de consistência. Os autores enfatizam que o parâmetro crítico é a absorção de água e a textura superficial dos agregados.

Características parecidas foram encontradas nos estudo da substituição do cimento por resíduos finos de mármore e granito, como nas pesquisas de Uysal & Yilmaz (2011), Bacarji *et al* (2013), Gesoğlu *et al* (2012), Belaidi *et al* (2012) e Rodrigues, Brito e Sardinha (2015), Vardhan *et al* (2015).

Os resultados de Bacarji *et al* (2013) e Gesoğlu *et al* (2012) mostraram que as substituições do cimento por resíduos de mármore e granito, ocasionaram poucas mudanças na trabalhabilidade, podendo ser consideradas insignificantes. Nos dois casos, níveis de substituição de até 20% variaram dentro do limite estabelecido. Esses estudos mostraram que a utilização do granito, bem como a da cinza volante, tende melhorar a consistência, podendo estar relacionado aos seus minerais constituintes, pois possuem uma quantidade de sílica acima de 50%.

Foi observado, nos estudos de Uysal & Yilmaz (2011) e Belaidi *et al* (2012), que os parâmetros de consistência começam a diminuir ao se utilizar materiais com alto teor de óxido de cálcio (CaO), como no caso do mármore. Nos seus estudos foram feitos concretos com basalto e pozolana natural, que possuem uma taxa de sílica de 54% e 46%, respectivamente. Na comparação percebeu-se que praticamente não havia perda de trabalhabilidade até a substituição de 30% de basalto e 20% de pozolana, em contrapartida, qualquer substituição do mármore acarreta a perda de trabalhabilidade. Isso pode ser explicado pelo fato do cimento ser o principal ligante da mistura e ao reduzir sua participação, os materiais começam a perder a coesão dentro da massa, ocasionando perda de consistência e aumento na trabalhabilidade e devido a maior área superficial do material pozolanico, necessitando de mais água (BELAIDI *et al.*, 2012).

A mistura tende a perder trabalhabilidade quando o método de utilização do resíduo é a substituição do agregado miúdo, como mostraram Hebhouh *et al* (2011), Vijayalakshmi, Sekar e Ganesh Prabhu (2013), Jain, Gupta e Chaudhary (2019), Singh *et al* (2016a), Singh *et al* (2016b) e Singh, Nagar e Agrawal (2016), para todas as porcentagens de substituição. As variações ocorreram tanto para o granito quanto para o mármore, nas taxas de substituição que variaram de 10% a 100%, valores de relação a/c de 0.30 à 0.45 e para todos os casos é observado um ganho de consistência e conseqüentemente perda de trabalhabilidade.

Segundo Vijayalakshmi, Sekar e Ganesh Prabhu (2013), comparado com a areia natural, o pó de granito possui uma geometria muito rugosa e angular e a maior parte de suas partículas são menores que 50 μm , trazendo como resultado o aumento do atrito entre o agregado grosso e a pasta e uma maior absorção de água por apresentar uma maior área superficial; como a quantidade de cimento é constante e mais água está sendo absorvida, a trabalhabilidade do concreto diminui (SINGH *et al.*, 2016b).

6.2 Resistência do concreto

Segundo André *et al* (2014) a resistência a compressão do concreto pode não estar diretamente relacionado com seus parâmetros de durabilidade, mas mesmo assim é um bom indicador. Seus resultados mostraram que a utilização da rocha granítica apresentou melhores resultados se comparados com o mármore, mas a variação sendo quase insignificante para esse parâmetro de resistência, na ordem de -10%. Martins *et al* (2014) comenta que a resistência do concreto é muito influenciada pela resistência dos agregados, pela sua rugosidade e forma da superfície, ao ponto de não ser possível controlar suas variáveis.

De acordo com Singh *et al* (2016), a substituição da areia pode gerar resultados positivos de acordo com a taxa de incremento. Em seu estudo, a substituição da areia pelo resíduo de granito apresentou estabilidade na resistência até uma taxa de 40%, após isso a resistência do concreto começa a reduzir. Observa-se que existe uma taxa ótima de substituição e ao ultrapassar essa faixa as propriedades não conseguem mais ser controladas. Nesse caso, a substituição de até 40% foi capaz de preencher os poros do concreto, tornando a matriz mais densa, acima disso em vez de preencher os vazios, o que houve foi um aumento da área superficial, exigindo uma quantidade maior de cimento para as reações de hidratação.

Essa “taxa ótima de substituição” pôde ser constatada por Hebhoub *et al* (2011) que, para o caso da substituição da areia pelo agregado de mármore, conseguiu uma melhoria nas propriedades substituindo de 25% a 75%. O autor ainda conseguiu constatar que é mais indicado, maiores proporções de substituição da areia e menores proporções em substituição do agregado graúdo. Isso pode ser explicado pelo fato da incorporação do material de resíduo como agregado miúdo traz consigo uma certa adição de material fino, que é capaz de melhor se acomodar nos poros. O uso do granito também tem efeitos positivos nas substituições, como mostrou Singh *et al* (2016a) em suas análises, pois a sílica reage com a maior parte do hidróxido de cálcio, influenciando nas reações de hidratação. Além do mais, a presença de partículas finas de SiO_2 ajuda a melhorar a estrutura porosa do concreto. O pesquisador ainda faz comentários sobre as taxas de incrementos desses resíduos, no caso da sílica, uma adição acima do ideal diminui a distância entre as partículas de SiO_2 , não deixando que os cristais se formem normalmente, prejudicando a produção do silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e deixando a estrutura mais porosa e frágil.

Para Binici *et al* (2008), com um determinado nível de substituição com aditivos minerais (mármore, granito, escória de alto forno) a durabilidade do concreto é influenciada pela reatividade das adições minerais. Os estudos, como os de Bacarji *et al* (2013) e Ergun (2011), mostram que a alternativa que apresenta menos eficiência é a substituição do cimento pelo resíduo, pelas reduzidas taxas de substituição, sendo indicado a utilização desse material como filler na mistura do concreto.

Como apontam Ergün (2011), Bacarji *et al* (2013) e ABD Elmoaty (2013), uma porcentagem considerada eficiente gira em torno de 5% a 10% de substituição do cimento, apresentando resultados pouco significativos, fazendo a resistência variar um pouco para mais ou para menos em relação as amostras de controle. A utilização de materiais não pozolânicos, como os resíduos de mármore e granito, comenta Bacarji *et al* (2013), afetará o desenvolvimento da microestrutura em termos de empacotamento, absorção de água e resistência interna, atuando principalmente na razão volumétrica de pasta e agregados. Esses resíduos, mesmo sendo não pozolânicos, não são considerados totalmente inertes, pois podem reagir com os compostos cimentícios dependendo da quantidade, como o aluminato tricálcico e o carbonato de cálcio (UYSAL; YILMAZ, 2011)

As adições como filler conseguem maior eficiência na mistura, podendo chegar a 15%, esse melhoramento na resistência acontece pelo fato delas possuírem a propriedade preenchimento da matriz cimentícia sem a diminuição do ligante, não afetando, mas sim contribuindo ainda mais, as reações de hidratação. Como mostra ABD Elmoaty (2013), que conseguiu taxas ideais de 5% de substituição do cimento por pó de granito e 15% de utilização do pó do granito como adição mineral. Para a substituição da areia, estudos como o de Hebhoub *et al* (2011) apresentaram resultados positivos para o uso do mármore, obtendo resistências superiores às de referência para uma taxa de até 50% de substituição. Já no caso dos agregados graúdos os resultados foram mais positivos, chegando a 75% de substituição

6.3 Permeabilidade e Porosidade

Resultados significativos para pequenos teores de substituição do cimento são observados por Bacarji *et al.* (2013), Gesoglu *et al.* (2012), ABD Elmoaty (2013) e Rana, Kalla e Csetenyi (2015). Nesses estudos, a utilização do mármore gerou resposta positiva para substituições de até 20% e o granito permaneceu na faixa de até 15%.

ABD Elmoaty (2013) estudou a porosidade do concreto comparando adição e substituição da quantidade de cimento pelo pó de granito. Foi observado nesse estudo que porcentagens baixas tanto de substituição quanto de adição tem efeito quase que insignificante. Ele chegou a resultados de teores máximos de 7,5% em ambos os casos. Os estudos feitos por Rana, Kalla e Csetenyi (2015) sobre o mesmo tipo de substituição apresentaram resultados parecidos, utilizando agora o mármore, as porcentagem de substituição de 5% a 15% apresentaram melhor resistência à penetração da água, dessa mesma forma foi diminuída a porosidade do concreto, apresentando teores ótimos, 5% a 12,5%, mostrando que uma redução na porosidade acaba diminuindo a permeabilidade.

Os estudos de Jain, Gupta e Chaudhary (2019) e Singh *et al* (2016a) mostraram viabilidade no uso no resíduo de granito na substituição da areia. As suas taxas de substituição variaram de 10% até 100%. Ambos os testes de absorção de água apresentaram uma taxa ideal de substituição de aproximadamente 40% e pelos ensaios de permeabilidade podemos observar valores ótimos entre 40% e 55%. Os autores comentam que a absorção de água é um dos principais parâmetros que define a durabilidade do concreto e explicam que a substituição além

da quantidade ideal ocasiona a escassez da pasta de cimento, que pode levar a uma microestrutura e vazios deficientes na matriz do concreto, resultado em uma maior absorção de água. Para menores valores de substituição os resultados são mais positivos, mas taxas maiores apresentam uma variação pequena nas perdas da propriedade de permeabilidade, como também foi constatado por André *et al* (2014) nos seus estudos de substituição do agregado graúdo, onde todas as substituições apresentaram valores semelhantes, variando de -5,4% e 5,8%, e foi explicado similaridade da microestrutura dos concretos.

Resultados constatados por Aliabdo, Abd Elmoatye Auda (2014), Singh *et al* (2016a) e Bacarji *et al*. (2013) mostram que a relação a/c utilizada interfere nos parâmetros de porosidade do concreto. Tanto para adições minerais, quanto para substituição de agregado e cimento, pode ser observado que o aumento da relação a/c acaba até diminuindo o efeito benéfico do uso do resíduo resultando em um concreto mais poroso e conseqüentemente menos resistente.

6.4 Resistência à Carbonatação e Penetração de Cloretos

Conhecer e controlar a porosidade e a permeabilidade acaba gerando implicações em outras propriedades do concreto, como a profundidade de carbonatação e penetração cloretos, como mostram alguns estudos, como os de Rana, Kalla e Csetenyi (2015), Singh *et al* (2016), André *et al* (2014).

Como já foi discutido no tópico 6.3, de acordo com a quantidade de substituição, tipo de substituição e quantidade de água na mistura, ocorrem variações significativas em relação à entrada de água no concreto. Como foi constatado por Rana, Kalla e Csetenyi (2015), na substituição do cimento em porcentagens pequenas as propriedades de permeabilidade e porosidade são melhoradas, refletindo nas propriedades de carbonatação, corrosão e migração de íons cloretos. Quantidades acima de 10% de substituição do cimento apresentam redução nessas propriedades, que pode ser explicado pela menor quantidade de cimento disponível para as reações de hidratação, ocasionando o aumento da permeabilidade e migração dos íons cloretos.

No caso da substituição do agregado graúdo pelo resíduo, como está sendo discutido, a partir de certos teores as propriedades do concreto conseguem ser potencializadas. A resistência a carbonatação por exemplo está relacionada a uma estrutura mais densa e menos permeável. Portanto, ao ser melhorada essa propriedade, há uma dificuldade na intrusão do CO₂ através dos poros. Ao estudar essa propriedade, Singh *et al* (2016) mostra que uma boa relação entre dosagem e substituição é essencial para o sucesso da mistura. Na sua pesquisa, altas quantidades de incorporação de resíduo de granito em substituição da areia em mais de 40%, por exemplo, apresenta efeito adverso, sendo mais significativo a substituição de 25%. A utilização do granito também pode apresentar vantagens, seu alto teor de alumina favorece a formação de aluminato tricálcico (C₃A), que fixa os íons cloretos. Já o mármore, pelo seu baixo teor de alumina, tende a aumentar a porcentagem de cloreto livre na matriz do concreto, promovendo sua migração e consequentemente diminuindo seu desempenho. Fato confirmado por Ramos *et al* (2013), onde ao incorporar de 5% a 10% de pó de granito ao cimento, apresentou o concreto uma melhora de quase 70% na resistência aos cloretos. Os estudos revelaram a presença de cloro-aluminatos, sugerindo que a alumina presente no resíduo reage com os cloretos, retardando a penetração.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desse estudo foram levantadas as principais utilizações dos resíduos de rochas ornamentais na produção do concreto, assim como foram avaliados alguns dos seus benefícios. A utilização desses resíduos se mostra importante na disseminação da conscientização ambiental, onde deve ficar claro que a reinserção de um produto no ciclo produtivo é a maneira mais eficaz de tratamento desses resíduos, visto que estes não apresentam potencial redutor das características requeridas pelo concreto a depender da quantidade utilizada.

Pela quantidade de estudos que existem a respeito desses materiais, pode-se chegar à conclusão que seus benefícios são maiores quando utilizados em menor escala. Mesmo essa taxa de utilização sendo mais baixa, proporciona um enorme ganho ambiental, pois como já foi discutido a indústria da construção civil é consumidora de grandes quantidades de insumos minerais, portanto, mesmo pequenas taxas de utilização serão capazes de resgatar milhões de toneladas de resíduos que seriam descartados de forma inadequada.

Os quatro casos estudados para a incorporação como materiais componentes do concreto são tecnicamente viáveis. O uso mais seguro desse tipo de resíduo está na forma de adição mineral, que pela própria proposta, é uma quantidade menor se comparada aos outros componentes, e também foi constatada ser tecnicamente mais viável que a substituição do cimento. A utilização como agregados, mais precisamente os grãos apresentaram resultados positivos para maiores porcentagens, mostrando a proximidade que esses resíduos tem com os materiais convencionais utilizados no concreto. O levantamento também aponta a grande quantidade de estudos focados na substituição do cimento, não obtendo resultados tão significativos quanto as outras formas de uso

Como sugestão para trabalhos futuros, uma quantidade maior de amostras pode ser coletada e podem ser incluídos critérios mais específicos na revisão, bem como pode ser estudado a viabilidade do uso de resíduos de mármore e granito frente a outros materiais, como cinzas volantes, escórias de alto forno. Comparações entre a microestrutura interna e os minerais constituintes dos resíduos pode ser o gargalo que responda as dúvidas do porquê esses materiais apresentam características tão diferentes dos materiais convencionais mesmo com propriedades quimicamente parecidas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD ELMOATY, Abd Elmoaty Mohamed. **Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Concrete Modified With Granite Dust**. *Construction and Building Materials*, v. 47, p. 743–752. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.054>. Acesso em: 14 jul. 2020

ABRÃO, Pedro Cesar Rodrigues Alves. **O Uso de Pozolanas como Materiais Cimentícios Suplementares: Disponibilidade, Reatividade, Demanda de Água e Indicadores Ambientais**. Dissertação (Mestrado em Ciências)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-26032019-084557/publico/PedroCesarRodriguesAlvesAbraoCorr19.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2020

Associação Brasileira de Empresas Públicas de Resíduos Especiais-ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. São paulo. 2019. p. 68. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>. Acesso em: 09 jun. 2020

ABREU, Ana Cristina Fernandes . **Análise Comparativa dos Agregados Graúdos, Britas Calcária e Granítica, e dos Agregados Miúdos, Resíduos de Borracha de Pneu e Areia, para Utilização em Concreto**. Monografia (Baixarelado em Engenharia Civil)-Universidade Federal Rural do Semi-arido. Mossoró. 2014. Disponível em: <http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/270/TFG%20-%20Eng%20Civil/TCC.%20AnaCristina.EngCivil-FINAL-REVISADO.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2020

ABUKERSH, S. A.; FAIRFIELD, C. A. **Recycled aggregate concrete produced with red granite dust as a partial cement replacement**. *Construction and Building Materials*, v. 25, n. 10, p. 4088–4094, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.047>. Acesso em: 05 jun. 2020

ALIABDO, A. A.; ABD ELMOATY, A. E. M.; AUDA, E. M. **Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete**. *Construction and Building Materials*, v. 50, p. 28–41, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.005>. Acesso em: 05 jun. 2020

ANDRÉ, Antônio et al. **Durability performance of concrete incorporating coarse aggregates from marble industry waste**. *Journal of Cleaner Production*, v. 65, p. 389–396, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.037>. Acesso em: 05 jun. 2020

AZEVEDO, Juliana laboissière de. **A Economia Circular Aplicada No Brasil: uma Análise a Partir dos Instrumentos Legais Existentes Para a Logística Reversa**. XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, p. 16, 2015. Disponível em: http://www.inovarse.org/sites/default/files/T_15_036M.pdf. Acesso em: 09 jun. 2020

BARBOZA, Douglas Vieira et al. **Aplicação da Economia Circular na Construção Civil**. Journal of Chemical Information and Modeling, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2019. ISSN 2525-3409. Acesso em: 09 jun. 2020

BARROS, Pedro Gustavo dos Santos. **Avaliação das Propriedades de Durabilidade do Concreto Auto-Adensável obtido com Resíduo de Corte de Mármore e Granito**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2008. Disponível em: https://ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgec/dissertacoes_arquivos/Dissertacoes/Pedro%20Gustavo%20dos%20Santos%20Barros.pdf. Acesso em: 05 jun. 2020

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5 ed. Rio de Janeiro. 2000.

BACARJI, E. et al. **Sustainability Perspective of Marble and Granite residues as concrete fillers**. Construction and Building Materials, v. 45, p. 1–10, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.032>. Acesso em: 05 jun. 2020

BELAIDI, A. S. E. et al. **Effect Of Natural Pozzolana and Marble Powder on the Properties of Self-Compacting Concrete**. Construction and Building Materials, v. 31, p. 251–257, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.109>. Acesso em: 05 jun. 2020

BEZERRA, Francidco Diniz. **Rochas Ornamentais**. Fortaleza. 2018. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/documents/80223/2809571/21_rochas_12-2017%28V4%29.pdf/c33b4967-7c88-d155-0b44-6052618f1301. Acesso em: 16 jun 2020

BINICI, H. et al. **Durability of concrete made with granite and marble as recycle aggregates**. Journal of Materials Processing Technology, v. 208, n. 1–3, p. 299–308, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.12.120>. Acesso em: 15 jul. 2020

BOTELHO, Louise Lira Roedel.; CUNHA, Cristiano Castro de Almeida.; MACEDO, Marcelo. **O Método Da Revisão Integrativa Nos Estudos Organizacionais**. Gestão e Sociedade, v. 5, n. 11, p.121-136. <https://doi.org/10.21171/ges.v5i11.1220>. Acesso em: 17 jul. 2020

BRAGA, Benedito et al. **Introdução á Engenharia Ambiental - O desafio do Desenvolvimento Sustentável**. 2 ed. São Paulo. 2005. 332 p.

CHIODI F., Cid. **O Setor Brasileiro De Rochas Ornamentais**. Brasília, 2018. 34 p. https://www.abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/abinoticias/Setor_de_Rochas_Ornamentais.pdf. Acesso em: 19 jun. 2020

CHIODI F., C; RODRIGUES, E.D.P. **Guia de Aplicação de Rochas em Revestimentos**. São Paulo, 2009. 97 p. Disponível em: <http://www.sigmadobrasil.com.br/content/pdf/abirochas-Guia-de-Aplicacao-de-Rochas-em-Revestimentos.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2020

CONTO, V.; OLIVEIRA, M. L. DE; RUPPENTHAL, J. E. **Certificações Ambientais: Contribuição à Sustentabilidade na Construção Civil no Brasil**. Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas, 12(4), 100–127, 2017. Disponível em: <https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/1749>. Acesso em: 07 jun. 2020

CORDEIRO, Alexander Magno et al. **Revisão sistemática: Uma revisão narrativa**. Revista do Colegio Brasileiro de Cirurgiões, v. 34, n. 6, p. 428–431, 2007. <https://doi.org/10.1590/s0100-69912007000600012>. Acesso em: 14 mai. 2020

CORRÊA, Lásaro Roberto. **SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Monografia (Baixarelado em Especialização em Construção Civil)-Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2009. Disponível em: <https://docplayer.com.br/5142141-Monografia-sustentabilidade-na-construcao-civil-autor-lasaro-roberto-correa-orientador-prof-jose-claudio-nogueira-vieira.html>. Acesso em: 07 jun. 2020

CUNHA, Guilherme Farias et al. Princípio da precaução no Brasil após a Rio-92: impacto ambiental e saúde humana. **Ambient. soc.**, São Paulo, 16(3), 65-82, 2013 <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2013000300005>. Acesso em: 12 jul. 2020

DANTAS, Barbara de. Oliveira Lajes. **Reutilização De Resíduos Sólidos Da Construção Civil E De Pneus Inservíveis Na Pavimentação**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil)-Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/13677/1/BOLD06092018.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2020

ERGÜN, Ali. **Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete**. Construction and Building Materials, v. 25, n. 2, p. 806–812, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.002>. Acesso em: 15 jul. 2020

FONSECA, Gustavo Celso da. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil)- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2010. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ISMS-8ALHAQ/1/disserta__o_mestrado_gustavo.pdf. Acesso em: 02 jul. 2020

FOSTER, A.; ROBERTO, S. S.; IGARI, A. T. **Economia Circular E Resíduos Sólidos: Uma Revisão Sistemática Sobre a Eficiência Ambiental E Econômica**. ENGEMA - Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, p. 17, 2016. Disponível em: <http://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/115.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2020

GESOĞLU, Mehmet. et al. **Fresh and Hardened Characteristics of Self Compacting Concretes Made with Combined use of Marble Powder, Limestone Filler, and Fly Ash**. Construction and Building Materials, v. 37, p. 160–170, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.092>. Acesso em: 15 jul. 2020

GOMES, Kíria Nery Alves do Espírito Santo. **Influência da utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG), como fíler, nas propriedades do concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mieral)-Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2016. Disponível em: http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=136351. Acesso em: 05 jun. 2020

GONÇALVES, Jardel Pereira. **Utilização do Resíduo de Corte de Granito (RCG) como Adição para Produção de Concretos**. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2000. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1676/000305830.pdf?sequence=1?>. Acesso em: 05 jun. 2020

HEBHOU, H. et al. **Use of waste marble aggregates in concrete**. *Construction and Building Materials*, v. 25, n. 3, 167–1171, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.09.037>. Acesso em: 05 jun. 20

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Capítulo 29: Concreto de Cimento Portland**. In: ISAIA, G.C. *Materiais de Construção Civil e Princípio de ciências e Engenharia de Materiais*. 2010. 905-944. Disponível em: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc48.pdf>. Acesso em: 23 jun. 20

Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON). **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. *Revista Concreto & Construções*, v. 37, n. 53, p. 77, 2009. Disponível em: http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf. Acesso em: 23 jun. 2020

JAIN, Abhishek.; GUPTA, Rajesh.; CHAUDHARY, Sandeep. **Performance of Self-Compacting Concrete Comprising Granite Cutting Waste as Fine Aggregate**. *Construction and Building Materials*, v. 221, p. 539–552, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.104>. Acesso em: 14 jul. 2020

JOHN, V. M. et al. **Durabilidade e Sustentabilidade: Desafios para a Construção Civil Brasileira. Rede Brasileira de Estações de Envelhecimento Natural**, n. 1, p. 10, 2002. Disponível em: https://www.academia.edu/17286164/Durabilidade_e_sustentabilidade_desafios_para_a_construcao_civil_brasileira. Acesso em: 7 jun. 2020

LARA, Luiz Alcides Mesquita. **Materiais de Construção**. IFPB-MG, 2013. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/68180383/materiais-de-construcao-apostila-do-ifmg>. Acesso em: 23 jun. 2020

LEITÃO, Alexandra. **Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI**. *Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting*, v. 1, n. 2, p. 23, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ucp.pt/bitstream/10400.14/21110/1/Economia%20circular-Uma%20nova%20filosofia%20de%20gest%C3%A3o%20para%20o%20s%C3%A9c.%20XXI.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2020

LINHARES, S. P.; FERREIRA, J. A.; RITTER, E. **Avaliação da implantação da Resolução n. 307/ 2002 do CONAMA sobre gerenciamento dos resíduos de construção civil**. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, v. 3, n. 3, p. 176–194, 2007. Disponível em: http://revistas.unisinos.br/index.php/estudos_tecnologicos/article/view/5801. Acesso em: 18 jun. 2020

LOPES, Livia de Farias. **Materiais de Construção Civil I**. Londrina, Editora e Distribuidora Educacional S.S, 2017. 192 p. ISBN 978-85-522-0191-5

LUCHEZZI, C.; TERENCE, M. C. **Logística Reversa Aplicada na Construção Civil**. Revista Luz, A.B.D; Almeida, S.L.M.D. **Manual de Agregados para Construção Civil**. Rio de Janeiro. 2012. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2043>. Acesso em: 16 jun. 2020

Mackenzie de Engenharia e Computação, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 144–160, 2013. Disponível em: <http://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmec/article/view/6458>. Acesso em: 10 jun. 2020

MAURY, M. B.; Blumenschein, R. N. **Produção de Cimento: Impactos à Saúde e ao Meio Ambiente**. Sustentabilidade em Debate, Brasília, v. 3, n. 1, p. 75–95, 2012. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/12110/1/ARTIGO_ProducaoCimentoImpacto.pdf. Acesso em: 11 jun. 2020

MARTINS, Pedro. et al. **Mechanical performance of concrete with incorporation of coarse waste from the marble industry**. Materials Research, v. 17, n. 5, p. 1093–1101, 2014. <https://doi.org/10.1590/1516-1439.210413>. Acesso em: 14 jul. 2020

MEDEIROS, Guilherme Emanuel Bezerra de Aquino. **Resíduos da Construção e Demolição: Caso da Cidade de João Pessoa**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil)-Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/13642/1/GEBAM14062018.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2020

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

NUNES, E.; JUNIOR, O. B. DA N. **Minerais e Rochas**. 2009. Disponível em: http://www.ead.uepb.edu.br/ava/arquivos/cursos/geografia/geografia_fisica_I/Geo_Fis_A04_RF_MZ_SF_SI_SE_040309_Mac.pdf. Acesso em: 17 jun. 2020

MONTANI, Carlo. **Dossiê Brasil 2019**. Brasília, 2019. 46 p. Disponível em: https://www.abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/dossie/Dossier_Brazil_2019%20mailing.pdf. Acesso em: 19 jun. 2020

PNUMA. **GUIA PCS Tendências e oportunidades para o setor de negócios**. São Paulo. 2015. Disponível em: https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/06/PNUMA_Guia-de-Produ%C3%A7%C3%A3o-e-Consumo-Sustent%C3%A1veis.pdf. Acesso em: 12 jun. 2020

RAMOS, Telma. et al. **Granitic quarry sludge waste in mortar: Effect on strength and durability**. Construction and Building Materials, v. 47, p. 1001–1009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.098>. Acesso em: 05 jun. 2020

RANA, Aditya.; KALLA, Pawan.; CSETENYI, Laszlo. J. **Sustainable use of Marble Slurry in Concrete**. *Journal of Cleaner Production*, v. 94, p. 304–311. 2015 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.053>. Acesso em: 15 jul. 2020

REIS, Christiane Maria Moura. **Fundamentos da Geologia**. João Pessoa. 2009. 155-218 p. Disponível em: http://portal.virtual.ufpb.br/biologia/novo_site/Biblioteca/Livro_1/3-Fundamentos_em_Geologia.pdf. Acesso em: 16 jun. 2020

REIS, Renato Capucho.; SOUSA, Wilson Trigueiro de. **Métodos de Lavra de Rochas Ornamentais**. *Rem: Revista Escola de Minas, Ouro Preto* v. 56, n. 3, p. 207–209, 2003. <https://doi.org/10.1590/s0370-44672003000300011>. Acesso em: 21 jun. 202

RODRIGUES, R.; DE BRITO, J.; SARDINHA, M. **Mechanical Properties of Structural Concrete Containing Very Fine Aggregates from Marble Cutting Sludge**. *Construction and Building Materials*, v. 77, p. 349–356, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.104>. Acesso em: 05 jun. 2020

SAMPAIO, R.; MANCINI, M. (2007). **ESTUDOS DE REVISÃO SISTEMÁTICA: UM GUIA PARA SÍNTESE CRITERIOSA DA EVIDÊNCIA CIENTÍFICA**. *Autism: A Social and Medical History*, 1–7. <https://doi.org/10.1057/9781137328533>

SANTOS, Jeferson dos. **Caracterização de Resíduos de Rochas Ornamentais: Aplicação de Concretos Mecanoquímicos**. Dissertação (Mestrado em Química)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2016. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/321843/1/Santos_Jefersondos_M.pdf. Acesso em: 11 jul. 2020

SILVA, Mickey Anderson Paixão. **Influência das Características Morfológicas de Britas Graníticas e Gnaíssicas na Resistência à Compressão Do Concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral)-Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2016. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/18425/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Mickey%20Paix%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2020

SINGH, Sarbjeet et al. **Performance of sustainable concrete containing granite cutting waste**. *Journal of Cleaner Production*, v. 119, p. 86–98. 2016a <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.008>. Acesso em 05 jun. 2020

SINGH, Sarbjeet. et al. **Sustainable utilization of granite cutting waste in high strength concrete**. *Journal of Cleaner Production*, v. 116, p. 223–235. 2016b. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.110>. Acesso em 05 jun. 2020

SINGH, Sarbjeet; NAGAR, ravindra; AGRAWAL, Vinay. **Performance of Granite Cutting Waste Concrete under Adverse Exposure Conditions**. *Journal of Cleaner Production*, v. 127, p. 172-182. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.034>. Acesso em: 14 jul. 2020

SZOMOROVSKY, M.; CAVALCANTI, A. L. M. DE S.; EVERLING, M. T. **Resíduos da construção civil em pequenas obras: uma análise sob a ótica do design**. 1º simpósio de pesquisa técnico-científica do Mestrado Profissional em Design da Univille: relatos. São Paulo: Blucher. p. 261–277, 2016. <https://doi.org/10.5151/9788580391855-13>

TORRES, V. F. N.; GAMA, C. D. DA. **ENGENHARIA AMBIENTAL SUBTERRANEA E APLICAÇÕES**. Rio de Janeiro. 2005. 549 p. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/677>. Acesso em: 07 jun. 2020

UYSAL, Mucteba.; YILMAZ, Kemalettin. **Effect of mineral admixtures on properties of self-compacting concrete**. Cement and Concrete Composites, v. 33, n. 7, p. 771–776, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.04.005>. Acesso em: 15 jul. 2020

VARDHAN, Kirti. et al. **Mechanical properties and microstructural analysis of cement mortar incorporating marble powder as partial replacement of cement**. Construction and Building Materials, v. 96, p. 615–621, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.071>. Acesso em: 25 jul. 2020

VIJAYALAKSHMI, M.; SEKAR, A. S. S.; GANESH PRABHU, G. **Strength and durability properties of concrete made with granite industry waste**. Construction and Building Materials, v. 46, p. 1–7, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.018>. Acesso em: 14 jul. 2020

WITZKE, Frank Bruno. **Propriedades de Concretos Estruturais Contendo Cinza Volante em Substituição Parcial ao Cimento Portland**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade do Estado de Santa Catarina., Joinville. 2018. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cct/id_cpmenu/706/Franky_Bruno_Witzke_1529330799657_706.pdf. Acesso em: 02 jul. 2020

XAVIER, Beatriz Correa. **Comparação do Concreto Autoadensável com Adição de Resíduo de Beneficiamento de Mármore e Granito com o Concreto Autoadensável Convencional**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Ciência dos Materiais)-Universidade Estadual de Campinas, Limeira. 2019. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/333957/1/Xavier_BeatrizCorrea_M.pdf. Acesso em: 05 jun. 2020

ZANGALLI JR, Paulo. Cesar. **Sustentabilidade urbana e as certificações ambientais na construção civil**. Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 291–302, 2013. <https://doi.org/10.1590/s1982-45132013000200007>. Acesso em: 07 jun. 2020