

UNIEVANGÉLICA – CAMPUS CERES

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**PAULA SILVA DELORENCE
RAFAEL STRAIOTO ROCHA**

**AVALIAÇÃO DA INSERÇÃO DE RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO EM
MISTURAS CIMENTÍCIAS**

PUBLICAÇÃO N°:

CERES / GO

2020

**PAULA SILVA DELORENCE
RAFAEL STRAIOTO ROCHA**

**AVALIAÇÃO DA INSERÇÃO DE RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO EM
MISTURAS CIMENTÍCIAS**

PUBLICAÇÃO Nº:

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA.**

ORIENTADOR: JANAÍNE MÔNICA DE OLIVEIRA SOUSA

CO-ORIENTADOR: JÉSSICA NAYARA DIAS

CERES / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

DELORENCE, PAULA SILVA; ROCHA, RAFAEL STRAIOTO.

Avaliação da inserção de resíduos de corte de granito em misturas cimentícias. xi, 32P, 297 mm (UniEVANGÉLICA, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).
TCC - Unievangélica
Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1. Mistura Cimentícias | 2. Resíduo de Corte de Granito (RCG) |
| 3. Resistência a Compressão | 4. Sustentabilidade |
| I. ENC/UNI | II. Título (Série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DELORENCE, Paula. Silva; ROCHA, Rafael Straioto. Avaliação da Inserção de Resíduos de Corte de Granito em Misturas Cimentícias. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Ceres, GO, 32p. 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Paula Silva Delorence, Rafael Straioto Rocha

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
Avaliação da Inserção de Resíduos de Corte de Granito em Misturas Cimentícias.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2020

É concedida à Unievangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Paula Silva Delorence
76300-000 - Ceres/GO - Brasil

Rafael Straioto Rocha
76360-000 – São Luiz do Norte/GO - Brasil

**PAULA SILVA DELORENCE
RAFAEL STRAIOTO ROCHA**

**AVALIAÇÃO DA INSERÇÃO DE RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO EM
MISTURAS CIMENTÍCIAS.**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

APROVADO POR:

**JANAÍNE MÔNICA DE OLIVEIRA SOUSA, MESTRE (UniEVANGÉLICA)
(ORIENTADOR)**

**LUIZ TOMAZ DE AQUINO NETO, ESPECIALISTA (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**RODRIGO PORTILHO DE FARIA, MESTRE (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: CERES/GO, 07 de DEZEMBRO de 2020.

AVALIAÇÃO DA INSERÇÃO DE RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO EM MISTURAS CIMENTÍCIAS.

Paula Silva Delorence¹
Rafael Straioto Rocha²
Janaíne Mônica de Oliveira Sousa³
Jéssica Nayara Dias⁴

RESUMO

A extração de rochas ornamentais em especial o granito tem sido um dos grandes geradores da economia brasileira devido as suas características físico-químicas, coloração e estética, buscados para compor ambientes e também tornando-se muito utilizados como objetos de decoração, sendo de suma importância que seja feita a extração destas rochas sempre pensando no desenvolvimento sustentável deste setor, evitando o acúmulo de resíduo de corte de granito (RCG) tanto na sua forma de pó quanto na sua forma de grânulo nas pedreiras. É fundamental a realização da caracterização do RCG através de ensaios como o de granulometria, massa específica real e aparente, teor de umidade e finura do agregado para os dois tipos de resíduo (pó e grânulo). Logo, fazendo uso deste tipo de resíduo da pedreira localizada na cidade de Montividiu do Norte - Goiás, deseja-se verificar se a sua adição em misturas cimentícias geram um aumento na resistência a compressão dos corpos de prova em comparação com um traço padrão (sem adição de resíduo) para traços que possuem o RCG na proporção de 10% e 20%, além de realizar comparações com literaturas que já analisaram esse material explorando assim a hipótese de possível aplicação no mercado da construção civil sendo a resistência a compressão o fator determinante para a inserção do RCG nas construções.

Palavras-chave: Rocha ornamental, resíduo de corte de granito, mistura cimentícia, resistência a compressão.

¹ Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: Paula_delorence@hotmail.com

² Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: straiotorafael07@gmail.com

³ Mestre, docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: monica.janaine@gmail.com

⁴ Doutora, docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: jessicadias.engenharia@gmail.com

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	7
	2.1 Produção de Rochas Ornamentais no Brasil	7
	2.2 Granito, beneficiamento de rochas e suas características	7
	2.3 Caracterização da pedreira	9
	2.4 Processo de beneficiamento do granito	10
	2.5 Engenharia Civil e Sustentabilidade	12
	2.5.1 <i>Sustentabilidade</i>	12
	2.5.2 <i>Sustentabilidade e a Engenharia Civil</i>	13
	2.5.2.1 <i>Benefícios Ambientais</i>	14
	2.5.2.2 <i>Benefícios Econômicos</i>	14
	2.5.2.3 <i>Benefícios Sociais</i>	14
	2.5.3 <i>Extração De Rochas Ornamentais E Sustentabilidade</i>	14
3	MATERIAL E MÉTODOS	15
	3.1 Aglomerante	15
	3.2 Água	15
	3.3 Aditivo	15
	3.4 Agregado miúdo.....	15
	3.5 Resíduo de corte de granito (RCG).....	16
	3.6 Dosagem do concreto.....	17
	3.7 Moldagem dos corpos de prova.....	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
	4.1 Caracterização dos Materiais.	19
	4.1.1 <i>Agregado Miúdo</i>	19
	4.1.2 <i>Pó de RCG</i>	20
	4.1.3 <i>Grânulo de RCG</i>	21
	4.2 Resistência a Compressão.	23
	4.3 Comparação com outras literaturas	25
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
	REFERÊNCIAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

A construção civil no Brasil é responsável pelo emprego de diversos recursos naturais se tornando assim uma grande geradora de resíduos. Com isso, a utilização de rochas neste setor ocorre na sua forma bruta. Com a chegada de novas tecnologias, a exploração e aplicação de rochas ornamentais cresceram de forma exponencial. Empregadas em diversas vezes como forma de substituição de madeira em sistemas construtivos da edificação (acabamentos, pisos e revestimentos internos e externos), a rocha vem sendo aproveitada de maneira exótica em artigos de decoração. Com o aumento do seu aproveitamento, o custo significativo de importação intimidava a balança comercial brasileira. No entanto, o Brasil conseguiu se beneficiar em virtude da grande produtividade de rochas no mercado interno (COLNAGO, et al. 2018. pg. 97).

Segundo Guerra (2005) o Brasil detém no ano de 2005 uma reserva com cerca de 8,57 bilhões de metros cúbicos de rochas ornamentais para mais de 500 variedades. FILHO (2020, pg.1) nos revela que no ano primeiro trimestre do ano de 2020 a exportação de rochas ornamentais foi de 426,1 mil toneladas, tendo uma variação negativa de 5,6% quando se comparado o mesmo período no ano de 2019, tendo também recuo no seu preço médio de 4,9%, dados constituídos pelos problemas econômicos provocados pela pandemia do Covid-19 e pela alta valorização do U\$ do dólar. O mesmo autor mostra que a maior produção do país é liderada pelo Estado de Espírito Santo, acompanhado por Minas Gerais, Ceará, Bahia, Rio Grande do Norte, Paraíba e Rio de Janeiro. (FILHO, 2020. pg. 3).

O reaproveitamento de resíduos é uma opção econômica e ecologicamente acessível, proporcionando um destino duradouro para os resíduos provenientes não só da construção civil, como também de indústrias de mineração, como por exemplo, a remoção de mármore e granito. Com o beneficiamento das rochas naturais, de 25% a 30% delas são convertidas em pó, do qual no Brasil, estima-se que sejam produzidas 240.000 toneladas/ano de resíduos destas rochas. Sem um encaminhamento correto, este pó é depositado em locais inapropriados, causando impactos ambientais gravíssimos. (FORMIGONI, 2008).

Quando esses resíduos de corte não possuem um descarte correto permanecendo estocados no pátio das pedreiras, formam-se grandes pilhas que altera a paisagem e os impactos ambientais que podem ser acarretados são a geração de poeira poluindo o ar, obstrução de canais de drenagem e quando carregados pela chuva, podem causar assoreamento dos rios e poluição da água. (MENOSSI, et al. 2010. pg.211).

Desta forma, as aplicações com as utilizações desses resíduos para produzir concretos, seja como adição e/ou substituição, colaboram com a sustentabilidade, visto que parte dos resíduos poderiam ser dispostos em locais não favoráveis. Todavia, é imprescindível que esses materiais se tornem uma nova matéria-prima, sustentável e tecnicamente aceitável, sendo necessária uma análise de desempenho rigoroso, duradouro e contínuo, de modo a delinear os fins desses materiais e que não manifeste repostas indesejadas ao longo de sua utilização. (PETRY, et al. 2017. pg. 73).

Nesta conjuntura, em consequência do grande volume de resíduos de corte de granito (RCG) gerado, com o intuito de melhorar este cenário, com pedreiras responsáveis pela exploração de granito próxima de Ceres-Goiás, este estudo tem por objetivo analisar e apontar a viabilidade técnica da sua utilização como adição em misturas cimentícias, através de estudos e ensaios, constatando a possibilidade na elaboração destas misturas, verificando se a resistência à compressão aos 28 dias são superiores ao um corpo de prova padrão que não possui nenhuma adição de RCG.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Produção de Rochas Ornamentais no Brasil

No ano de ano 2019 o Brasil exportou rochas ornamentais para 119 países, tendo os Estados Unidos com 62% no faturamento de exportação liderando a lista, seguido de China (12,1%), Itália (6,3%), México (3%), Reino Unido (1,7%), Canadá (1,5%) e Espanha (1%). Os países restantes contribuíram com 12,4% nas exportações. As saídas de rochas ornamentais para Estados Unidos, Canadá e México foram de basicamente chapas, enquanto que para China foram vendidos blocos, Itália e Espanha adquiriram chapas, blocos, e produtos de ardósia, ao mesmo tempo em que o Reino Unido comprou basicamente telhas de ardósia (CHIODI FILHO, 2019, pg.1).

No ano 2019 o estado do Espírito Santo continuou liderando o mercado de exportação de rochas ornamentais, possuindo um faturamento no valor de US\$ 827,7 milhões e com um volume físico de 1,66 milhões de tonelada, o que corresponde a 82% da receita e 77% do volume físico das exportações do Brasil no setor. Logo em seguida também vem o estado de Minas Gerais com US\$ 114 milhões e com um volume físico de 348,2 mil toneladas, correspondendo respectivamente a 11,3% e 16,2% das exportações. Os outros estados participantes deste setor atenderam a um valor de 6,7% de faturamento e 6,8% do volume físico de exportações. (CHIODI FILHO, 2019, pg.2).

Na tabela 1 apresenta-se o tipo de rochas ornamentais produzidos no Brasil em 2019 com valor de manufaturação e sua respectiva participação.

Tabela 1 – Perfil da produção brasileira por tipo de rocha -2019

Tipo de Rocha	Produção (Mt)	Participação (%)
Granito e similares	4,2	45,7
Mármore e Travertino	2,3	25,0
Ardósia	0,4	4,3
Quartzito Foliado	0,2	2,2
Quartzito Maciço	1,5	16,3
Pedra Miracema	0,2	2,2
Outros (Basalto, Pedra Cariri, Pedra-Sabão, Pedra Morisca, etc.)	0,4	4,3
Total estimado	9,2	100

Fonte: (CHIODI FILHO, 2019, pg.5).

Conforme mostrado na tabela nota-se que a maior participação no mercado de rochas ocorre pela exploração de granito e similares, acompanhada de mármore e travertino, mostrando que muito desta extração acontece devido a sua utilização em composição de ambientes sofisticados, coloração e estética além de ser usado como um objeto de decoração.

2.2 Granito, beneficiamento de rochas e suas características

O granito é uma rocha ígnea ou magmática, sendo resultado da solidificação de materiais rochosos sendo de parcial a totalmente fundido pelo magma, originando-se no interior da crosta terrestre, podendo ser de dois tipos, sendo do tipo plutônicas ou intrusivas em que as rochas são formadas na profundidade e são resultantes de lentos processos de resfriamento e de solidificação do magma terrestre, gerando um material cristalino e geralmente de granulação grossa (FRASCÁ, 2014, pg.60). A figura 1 retrata a lavra de granito ornamental na região de Capão Bonito, situada no estado de São Paulo.

Figura 1 – Lavra de granito ornamental em Capão Bonito (SP).



Fonte: FRASCÁ (2014, pg.60).

As rochas ígneas os denominados granitos *sensu stricto* são os mais apreciados para utilização como rocha ornamental e para revestimento devido a sua aparência, abundância, por apresentar boas características mecânicas e físicas, grande variedade de cores sendo definidos pelo tipo de feldspato e impurezas presente na rocha, favorecendo assim emprego em obras civis. (FRASCÁ, 2014, pg.61).

As normativas brasileira (ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas) e a americana (ASTM - American Society for Testing and Materials) apresentam uma abordagem semelhante quanto a determinação de valores típicos para propriedades mecânicas e físicas de um alto grupo de rochas para revestimento, tendo a intenção de orientar a avaliação técnico e científico desses materiais, com base na comparação de rochas semelhantes. Desta forma, em ocasiões em que as características encontradas sejam muito discrepantes em relação ao esperado, é aconselhável realizar investigações complementares ou até mesmo alterações no projeto que se deseja utilizar tal tipo de rocha. (FRASCÁ, 2014, pg.83).

A tabela 2 apresenta especificações das propriedades do granito, segundo as normativas.

Tabela 2 – Especificações para granitos – ABNT e ASTM.

Propriedade	Norma	
	ABNT NBR 15844	ASTM C 615
Densidade aparente (kg/m ³)	>2.550	≥2.560
Porosidade Aparente (%)	1,0	n.e.
Absorção d'água (%)	<0,4	≤0,4
Compressão uniaxial (Mpa)	>100	131
Módulo de Ruptura (carregamento em três pontos) (Mpa)	>10,0	10,34
Flexão (carregamento em quatro pontos) (Mpa)	>8,0	8,27
Coefficiente de dilatação térmica linear [10 ⁻³ mm/(m x °C)]	<8,0	n.e.
Impacto de corpo duro (m)	>0,3	n.e.
Desgaste Amsler (mm/1000m)	< 1,0	n.e.

Nota: n.e. = não especificado

Fonte: FRASCÁ (2014, pg.84).

Desta forma a tabela 2 demonstra que rochas ígneas como o granito apresentam porosidade relativamente mais baixa e a resistência mecânica relativamente mais alta quando comparada a outros tipos de rochas ornamentais, devido a sua compactação e coesão e o seu sistema poroso ser configurado pelas relações entre microfissuras, alterações em minerais (como por exemplo, núcleos modificados por feldspatos) e não por espaços entre grãos (poros) (FRASCÁ, 2014, pg.83).

Segundo a cartilha Rochas Ornamentais do SETEC (Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica) do Ministério da Educação, o granito deve apresentar condições para desdobramento, seguida de beneficiamento (polimento, apicoamento ou flameamento) (SETEC, 2007, pg.15).

A mesma cartilha define beneficiamento de rochas ornamentais referindo-se ao desdobramento de materiais considerados brutos extraído nas pedreiras em formas de blocos. Tais blocos devem possuir dimensões entre 5m³ a 10m³, sendo beneficiados através da serragem (processo de corte) em chapas, teares e talha-blocos para que aconteça o acabamento da dimensão final posteriormente. (SETEC, 2007, pg.12).

Desta forma o beneficiamento de rochas ornamentais procura basicamente transformar os blocos que já foram extraídos na fase de lavra, em produtos finais ou semiacabados. Assim, é possível separar as fases de beneficiamento em primário ou desdobramento, e secundário. O primeiro é a preparação e a serragem dos blocos em chapas que possuem a espessura variável sendo mais comum com dois ou três centímetros de espessura. Já o segundo processo, as chapas passam pelo acabamento superficial podendo ter ou não resinagem, que pode ser um simples desbaste, polimento, escovado, flameado ou até mesmo a produção de ladrilhos e outras peças. As características intrínsecas da rocha, as formas de teares (multilâmina e multifio), serras diamantadas, talha blocos e politrizes (automáticas e semiautomáticas), os tipos e formas de abrasivos são alguns dos vários fatores que pode influenciar no produto final e que são colocados, em sua grande parte, em segundo plano (SILVEIRA et al., 2014, pg.329). Na figura 2 apresenta-se o resíduo de corte de granito (RCG) na forma de pó e de grânulo.

Figura 2: Resíduos de corte de granito (RCG) em pó e grânulo respectivamente.



Fonte: Elaborada pelos autores.

2.3 Caracterização da pedreira

Os resíduos de corte de granito foram cedidos por uma pedreira que se encontra localizada ao norte do estado de Goiás, na zona rural do município de Montividiu do Norte com endereço na rodovia GO 142, Fazenda Chaparral (com Latitude: 13°02'53.2"S; Longitude 48°40'04.1"W), a uma distância de aproximadamente 22 quilômetros do município,

cerca de 471 quilômetros de Goiânia, capital do estado e em torno de 15 quilômetros da divisa do estado de Goiás com o estado do Tocantins. A figura 3 expõe o espaço da pedreira na região de extração através de uma imagem de satélite.

Figura 3 :Localização da pedreira através de imagem de satélite.



Fonte: (GOOGLE, 2020).

2.4 Processo de beneficiamento do granito

O processo de extração da rocha é iniciado com uma análise do solo, feita por geólogos e engenheiros de minas, com intuito de coletar dados característicos referentes ao potencial e qualidade do material. Essa etapa é de fundamental importância para os outros processos subsequentes, já que com ela se obtém resultados de viabilidade, melhor forma de extração, estimativas de reservas e entre outras características. A partir de então começa o processo de extração da capa desgastada da rocha, por intempéries e causas naturais, que ocorre por meio de detonações com explosivos, em que tais são devidamente estocados e administrados por um profissional habilitado pelo Exército Brasileiro. Essa técnica de extração consiste em demolições das rochas, gerando grande número de material fragmentado que é encaminhado para o descarte.

Caranassios e Ciccu (1992), relatam que após todo o procedimento citado deve-se inicializar a medição da rocha ornamental, onde se atinge um certo grau de conhecimento sobre o perímetro, reserva, qualidade geológica, petrolífera, volume disponível e principalmente sobre a metodologia adequada para real extração do material comercial e condições ambientais.

A metodologia trabalhada na pedreira em questão é uma mescla de lavra de matacão e lavra por bancadas. Lavra de matacão ocorre por meio de várias aberturas de frentes na rocha, próximas ou não de si, por questões estratégicas e econômicas. O englobamento estratégico caracteriza-se particularmente na empresa por questões de qualidade de materiais, isto ocorre por que o granito pode apresentar fraturas interpéricas onde aparecem defeitos e trincas que comprometem a beleza, qualidade e resistência da rocha. Por consequência, o englobamento econômico entra logo em seguida que uma frente possa apresentar falhas, como trincas e ferrugens, sendo que os profissionais optam por abrir outra frente com intuito de continuar a atender a demanda solicitada, e futuramente começar uma nova pesquisa de volume e qualidade naquela área em que se obtiveram trincas de material inutilizável. Essa nova pesquisa de volume e qualidade gera um descarte extremamente alto de produto, onde são

designados á aterros improvisados dentro do perímetro da pedreira. A figura 4 mostra uma lavra de matacão da pedreira da Fazenda Chaparral.

Figura 4: Lavra de matacão de Granito na Fazenda Chaparral.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Como a pedreira já está em um processo acelerado de produção, hoje se utiliza também o método por bancadas, onde a altura pode variar de baixa à alta. A denominação baixa refere-se à altura equivalente do bloco de comercialização e a nomenclatura alta refere-se a um valor específico multiplicado pela altura de uma das dimensões do bloco. A partir do momento em que se realiza a abertura de uma frente, ocorre uma limpeza de área próxima que é denominada praça, ela deve ter dimensões onde há uma alta trabalhabilidade de pessoas com segurança e circulação de equipamentos adequados com tamanhos específicos e fora dos padrões convencionais, conhecidos como máquinas fora-estrada, com a movimentação de blocos comerciais que foram extraídos e são levados até o depósito de estocagem. A figura 5 apresenta o método por bancadas da pedreira.

Figura 5: Lavra por bancadas em encosta da pedreira em Montividiu.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Para a extração desses blocos, o processo ocorre por meio de corte e perfuração de uma bancada denominada prancha, logo após ocorre à derrapagem da prancha para o sentido

horizontal e daí parte-se para medição, cortes, furos, detonações e deslocamentos dos blocos. O tempo médio para todo esse processo acabar e recomeçar é de no máximo uma semana.

Os blocos extraídos são identificados pela numeração de extração, nome da empresa, suas respectivas dimensões em milímetros (comprimento x altura x largura), como mostra a figura 6.

Figura 6: Bloco extraído com identificação.



Fonte: Elaborada pelos autores.

2.5 Engenharia Civil e Sustentabilidade

Devido à alta taxa de descarte de rochas de granito e de mármore, tanto na sua forma bruta, quanto na sua forma de pó e grânulo, torna-se necessário estudar uma maneira de reaproveitamento destas matérias-primas evitando que elas cheguem à natureza em uma condição inapropriada afetando assim o meio ambiente em que ela está presente.

2.5.1 Sustentabilidade

O termo sustentabilidade retrata uma maneira de solucionar a escassez dos recursos naturais desde o passado. Uma boa forma de reflexão sobre sustentabilidade seria a ideia um movimento ambiental moderno, mas com um novo conceito de pensar, viabilizar e agir consolidando nas culturas das novas sociedades. (GROBER, 2007).

Sabe-se que os problemas ambientais só vêm crescendo cada dia mais, em uma multiplicação infinita de exploração de todos os lados do planeta. Uma vez que a sociedade pensa apenas em si, o foco continua sendo o desenvolvimento econômico capitalista e industrialista, onde a gestão de bens comuns e a exploração da raça humana é muito individualista, e, não como um todo para recuperação e preservação dos recursos naturais que a natureza fornece aos seres humanos. (CAVALCANTI, 1997).

A sustentabilidade expõe de forma direta apreensão com a qualidade do sistema de integração ambiental e humano e analisa as características e propriedades sociais, econômicas e ambientais. Pode-se dizer que só é possível possuir um sistema sustentável por meio da evolução intelectual e espiritual do ser humano, contando também a atribuição e evolução da

educação ambiental para que de uma a uma, todas as sociedades se tornem sustentáveis e que preservem ao contrário de explorar a natureza. (PLETSCH; PLETSCH, 2017, pg. 187).

Logo sustentabilidade surge com a globalização, uma vez que a sustentabilidade ambiental é a habilidade da natureza manter seu estado contínuo no tempo atingindo integração da complexa relação natureza *versus* homem. Essa globalização envolve a atingir a sociedade inteira, sem exceções de elemento espiritual, mental ou físico. O objetivo principal é um processo de transformação individual, pois assim todos saem lucrando, isto é, através da sustentabilidade se obterá desenvolvimento empresarial, da preservação e da produção, uma vez que ao unir todos os constituintes de uma sociedade a fim de fazer acontecer o desenvolvimento sustentável automaticamente iniciará um ciclo de progresso em relação as atividades humanas e ambientais onde terá fornecimento de recursos essenciais para a existência humana na terra. (ROOS; BECKER, 2012).

Consequentemente, necessita-se de uma educação ambiental com intuito de passar uma mensagem clara e direta sobre a sustentabilidade e de como essa transformação precisa ocorrer de forma rápida nos seres humanos, visto que os recursos então se esgotando cada dia mais e as limitações aumentando. Desta forma, entende-se que, de um século atrás até os dias atuais, pensar em sustentabilidade automaticamente faz-se pensar em recursos, desenvolvimento, fontes e práticas renováveis, com objetivo principal de possuir novamente uma capacidade de auto recuperação onde o planeta conseguirá servir sozinho o processo de recursos viabilizando a característica principal e fundamental que todas as empresas almejam: rendimentos econômicos crescentes e duráveis.

Através desse pensamento pode-se observar que uma sociedade possui sim a capacidade de chegar a um desenvolvimento, visto que cada um tem seus próprios meios e ideias de tornar-se uma potência sustentável, e que há inúmeras formas de desenvolvimento, incluindo desenvolvimento sustentável. Uma regra simples, reciclar, renovar e cuidar para economizar.

2.5.2 Sustentabilidade e a Engenharia Civil

A sustentabilidade possui inúmeras implicações, e a mesma deve ser explorada em todos os meios existentes e não seria diferente dentro da engenharia civil, uma vez que se sabe que é o maior meio poluente do mundo nos dias atuais. Unir fontes renovais com o maior agente poluidor parece ser uma ideia benéficamente rentável tanto para o meio ambiente quanto para o meio econômico dos seres humanos.

Os escombros da construção civil, uma enxurrada diária de sedimentos formados por areia, cerâmica, madeira, argamassa, concreto, papéis, plásticos, metais, pedras, tinta, tijolos e outros, tornou-se um problema grave nas grandes cidades do Brasil. Desde de julho de 2004, seguindo a resolução 307 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), as prefeituras estarão vetadas de receber os resíduos de construção e demolição em aterro sanitário. Desta forma, cada município deve ter um plano integrado de gerenciamento dos resíduos da construção civil. (CORRÊA, 2009, p.36).

Para conseguir sustentabilidade na construção civil, o primeiro passo é o comprometimento das empresas em criar base de desenvolvimento de projetos sustentáveis baseado em qualidade, formalidade e inovação.

Tudo que se obtém através de recursos renováveis precisa ser analisado, testado e adequado para o uso em qualquer área e mais precisamente na engenharia, uma vez que esses recursos são buscados com o intuito de gerar alguma resistência, trabalhabilidade, redução de custos, enfim, uma característica positiva e econômica no concreto.

A qualidade garante que os níveis de sublimidade se tornem atingível, mantível e seja propagado pelas empresas. Atualmente, vive-se pela constante busca de melhoria de qualidade do concreto, pois tal, como relatado anteriormente, é de grande importância no quesito de crescimento mundial, uma vez que o planeta se encontra em crescimento contínuo.

A gestão da qualidade, em especial a busca pela melhoria contínua, é um dos pré-requisitos para a sustentabilidade, pois, haverá estímulo para a melhoria constante dos processos empresariais, que estão ligados ao consumo dos recursos naturais, produtividade, desperdício, durabilidade entre outros fatores. (CORRÊA, 2009, p.29).

Uma vez que se obtém fornecedores de materiais, serviços e mão-de-obra ilícitos, está diretamente contribuindo para práticas informais, baixa profissionalização e incentivando a escassez de profissionais habilitados para tais serviços. Necessita-se de garantia de legalidade de toda empresa e seus processos afim de manter e melhorar a qualidade dos avanços tecnológicos através de práticas renováveis na construção civil, visto que essa qualidade tende sempre a evoluir e nunca se manter em um padrão fixo já que as fontes de recursos renovais encontram-se também em constante crescimento, entendendo que os dois devem sempre estar equivalentes para controle constante de recuperação ambiental.

O avanço tecnológico no mundo está cada vez maior, e utilizar dessas tecnologias é de grande importância. As empresas que são responsáveis por desenvolvimento sustentável dentro da construção civil devem possuir relações diretas com as empresas promotoras de inovação na cadeia produtiva mantendo-se atualizada de tecnologias desde a cadeia produtiva até na oferta de novos recursos sustentáveis, materiais, equipamentos e mão-de-obra qualificada.

Entende-se por sustentabilidade e a construção civil que a base é alinhar vantagens ambientais e sociais com econômicas, por isso se torna indispensável a relevância de inovação tecnológica. (CORRÊA, 2009).

Praticamente todas as atividades de engenharia civil promovem a geração de entulhos, tanto na construção, onde ocorre grande índice de perdas, quanto na reforma, onde não se tem o hábito dos 3Rs (reduzir, reciclar e reutilizar) nas demolições.

O reaproveitamento gera resultados ambientais, econômicos e sociais.

2.5.2.1 Benefícios Ambientais

Os benefícios são obtidos através da diminuição de deposição em locais inapropriados, minimização da extração de matéria-prima, conseqüentemente, redução da necessidade de destinação de áreas públicas para o descarte dos resíduos.

2.5.2.2 Benefícios Econômicos

Reutilizar entulhos em forma de agregados pode acarretar economias de até 80% em relação aos valores de agregados convencionais e a fabricação dos resíduos como uma nova fonte de matéria-prima gera uma economia de até 70% em relação a similares com matéria-prima de origem primária.

2.5.2.3 Benefícios Sociais

Utilizar materiais reciclados em programas sociais, como por exemplo habitação popular gera bons resultados, visto que uma obra mais barata pode trazer a produção de um número maior de habitação, assim atendendo e beneficiando um maior número de população.

2.5.3 Extração De Rochas Ornamentais E Sustentabilidade

No quesito extração mineral, as rochas ornamentais retiradas em pedreiras são de longe o método com menor índice poluente do meio ambiente. Embora ocorra poluição sonora, poluição visual, mudança da biodiversidade local, e mesmo assim seu índice continua menor que outros meios de poluição ambiental. (PEITER; MOFATI; VILLAS-BÔAS, 2014, pg. 531).

No Brasil, a extração de rochas ornamentais é uma fonte de renda muito grande, uma vez que sua extração ocorre em larga escala e é uma fonte de empregos para a sociedade. Toda via, o descarte da mesma é relativamente exorbitante perante sua extração. Dentro das pedreiras, normalmente, o descarte é feito de maneira incorreta em locais incorretos, onde acabam prejudicando a biodiversidade local. Geralmente existem métodos distintos de lavras, onde cada método gera um tipo de resíduo e classes diferentes de rochas onde algumas são utilizadas e outras descartadas.

A quantidade de material que é descartada é extremamente grande, visto que na maioria das vezes ao fazer o procedimento de lavra, as rochas, ao sofrerem impactos, acabam rompendo-se em partes de milhares de toneladas, em que se não obtiverem dimensões suficientes para um cubo consideravelmente aproveitável são descartas e então designadas para uma área da pedreira específica para aquele fim. A grande questão é que: pelo menos 30% das bancadas são descartadas, e por se tratarem de rochas e de larga dimensão, o impacto na biodiversidade e o visual é muito grande, mesmo ela não gerando uma poluição que prejudique diretamente o meio ambiente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a inserção de materiais que não são comuns no dia-a-dia da construção civil, é necessário traçar as características que estes irão apresentar perante as solicitações que serão submetidos. Inicialmente foram realizados ensaios nos resíduos de corte de granito e também no agregado miúdo, para sua caracterização. Posteriormente foi analisada a resistência das misturas cimentícias com a presença e ausência do RCG.

3.1 Aglomerante

Foi empregado o cimento Portland CII F 32 – sendo um cimento composto adaptado, que apresenta em sua composição a adição de fíler. O seu uso é recomendado para argamassa em chapisco, assentamento de blocos, revestimentos, pisos e contrapisos e também em estruturas de concreto armado, concreto protendido, pré-moldado, pavimento de concreto e artefato de concreto. Rubens Curti (2015) relata que a massa específica média deste tipo de cimento é $3,08 \text{ g/cm}^3$ e o módulo de finura na peneira de $75\mu\text{m}$ é de 2,5.

3.2 Água

A água utilizada em temperatura ambiente para a reação de hidratação da mistura cimentícia e da cura dos corpos de prova, é proveniente da rede de abastecimento local da Companhia Saneamento de Goiás (Saneago) de Ceres.

3.3 Aditivo

A utilização de aditivo, serve para quando se necessitar obter uma ótima trabalhabilidade em argamassas e rebocos, agregando uma série de vantagens como: maior coesão, aderência, menor exsudação e um mínimo de fissuras. Foi utilizado nas misturas cimentícias o aditivo Vedacit VEDALIT de 1L.

3.4 Agregado miúdo

O agregado utilizado foi a areia grossa dragada em rio. A caracterização da areia seguiu a NBR NM 248/2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica, em que a norma instrui o procedimento para determinar qual a composição granulométrica, módulo de finura e também a dimensão máxima característica do agregado.

O agregado miúdo foi seco em estufa durante 24hrs a 110°C para a realização do ensaio. Após secagem foi pesado em balança a quantidade de material seco e posto no conjunto de peneiras de série normal, agitando o conjunto por 120s, sendo disposto em uma bandeja separada para conferência em balança da quantidade de material que ficou retido na peneira em específico. Esse procedimento foi realizado para todas as peneiras de serie normal.

Com esse ensaio foi possível definir a tabela de composição granulométrica (massa, % retida, % passante e % retida acumulada), a dimensão máxima característica do agregado e módulo de finura do agregado utilizado, sendo que a distribuição granulométrica irá influenciar de forma direta na trabalhabilidade tanto do concreto quanto da argamassa em seu estado fresco, uma vez que elevada quantidade de material fino se torna necessário incremento de água e de forma consequente a mistura cimentícia se torna mais onerosa (DUARTE, 2013, pg.22).

3.5 Resíduo de corte de granito (RCG)

A pedreira disponibiliza de dois tipos de RCG, sendo um pó e um outro material além de ser pó possuía grânulos na sua composição. Para cada resíduo foram realizados os mesmos ensaios de caracterização.

Para o ensaio de teor de umidade utilizou-se 501,7g de pó de granito úmido e 504,5g de grânulo também úmido, no qual ambos foram colocados em estufa por 110° C durante 24hrs e depois desse período ambos foram pesados novamente para encontrar o valor do peso seco do pó de granito e do grânulo, tendo como resultado de 487,5g e 504,2g respectivamente de massa seca. O teor de umidade irá interferir na coesão das partículas durante a confecção, moldagem e cura das misturas cimentícias. (JUNIOR. 2011. pg.22). O teor de umidade é de suma importância, pois, junto do cimento ele irá exercer grande influência na resistência a compressão e da absorção de água. (GRANDE, 2003, pg.90).

Enquanto que o ensaio de composição granulométrica foi seguido o mesmo procedimento utilizado para o de agregado miúdo, obtendo os resultados necessários para a caracterização dos resíduos.

Já para a determinação da finura do agregado foi utilizado a NBR NM 46/2003 - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem, em que a norma indica o método para que seja determinado por lavagem, nos agregados, na quantidade de material mais fino que a abertura da peneira de 75µm, uma vez que, partículas de materiais indesejados durante ensaio são dispersados por lavagem, bem como materiais que são solúveis são também removidos. (ABNT, 2003). Assim foi utilizado 500g do pó e grânulo, peneirado usando a peneira de 75µm durante 120 segundos após ter sido seco em estufa durante 24horas á 110°C. Por fim obteve-se a quantidade passante na peneira de 75µm para pó e grânulo, o resultado de 358,9g e 451,6g respectivamente.

Para a determinação da massa específica aparente e massa específica real seria aplicado a NBR 9776/1987 - Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman, porém não foi possível utilizá-la, pois, o pó possui uma densidade elevada e modulo de finura baixo, impossibilitando tal ensaio, como pode ser observado na figura 7.

Figura 7: Ensaio de massa específica por meio do frasco Chapman.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Deste modo para a massa específica real com proveta graduada do pó de granito, manuseou como recipiente uma proveta de 500ml/cm³, adicionando 300ml de água no reservatório e logo após a quantidade de 100g. Verificou-se um deslocamento de 40ml/cm³.

Já para o ensaio de massa específica real do grânulo foi empregado a NBR 9776/1987 - Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman, no qual é definida a massa específica como a vinculação da massa do agregado que foi seco na estufa e o volume igual do sólido, no qual inclui os poros impermeáveis. (ABNT, 1987). Desta maneira o material foi colhido de acordo com a NBR NM 26 – Amostragem, utilizando uma quantidade de material de 500g, seco em estufa durante 24hrs a 110°C, tendo um valor final de leitura de 438ml, como pode ser observado na figura 8.

Figura 8: Ensaio de massa específica por meio do frasco Chapman.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Já para a massa específica aparente do pó de granito foi realizado um ensaio preliminar que utilizou um frasco com volume conhecido de 100 ml e depois aos poucos foi adicionado 93,7g de agregado até chegar na graduação correta (100ml). Porém como a área superficial é grande e a massa específica aparente deste agregado é pequena, tornou-se necessário realizar o ensaio de massa específica compactada para que possa melhorar a análise. Tal ensaio utiliza o mesmo volume conhecido no frasco (100ml), porém vai adicionando aos poucos o agregado e durante isso vai ocorrendo a compactação do material, até que o mesmo chegue no valor determinado. Foram necessários 118,5g de pó para alcançar essa marca.

Para a determinar a massa específica aparente do grânulo realizou o ensaio do volume do frasco conhecido, seguindo os mesmos procedimentos do pó de granito. Desta vez foi necessário adicionar 141,9 gramas de agregado no frasco para atingir a marca de 100ml.

A massa específica do agregado influenciará no momento em que se realizarem os cálculos de quantidades que serão consumidos para a confecção do concreto, e não como indicativo de qualidade. (NEVILLE. 2015. pg.132) Carrijo (2005. pg.73) também afirma que conhecendo a massa específica dos materiais que irá constituir o concreto é possível realizar o estudo de dosagem.

3.6 Dosagem do concreto

A dosagem dos corpos de provas (CP's) seguiu a NBR 7215/2019 - Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos, no qual definiu o

traço de 1:3:0,48 se tornando padrão diferenciando-se somente na proporção de resíduo a ser utilizado com pó e grânulo (10% e 20%), sendo 1kg de cimento para 3kg de areia para 0,48 para a relação água/cimento, utilizando também 2ml/kg de cimento o aditivo para aumentar a trabalhabilidade da argamassa. Com isso também foi definido a quantidade de corpo de prova que seria feito para o ensaio de resistência a compressão, sendo 9 CP's padrões (sem adição de RCG), 9 CP's com a proporção de 20% (tanto pó quanto grânulo), e 3 CP's com a proporção de 10% (tanto pó quanto grânulo).

3.7 Moldagem dos corpos de prova

Seguindo a NBR 7215/2019 - Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos, para a moldagem dos CP's foi usado o misturador mecânico na qual foi adicionado inicialmente água e depois cimento agitados na velocidade baixa durante 30s, após isso sem paralisar foi acrescentado o agregado miúdo e o RCG de forma lenta por mais 30s, depois da adição dos agregados mudou a velocidade do misturador para alta, juntando essa mistura por mais 30s. Depois desligou o misturador retirou toda a argamassa que ficou aderida nas paredes da cuba, processo que durou 90s. Por fim essa argamassa foi misturada por mais 90s e adicionada em um molde com diâmetro de 100mm e comprimento de 200mm, tamanho indicado por norma que possuía desmoldante em seu interior de origem vegetal (olé de soja). Após 24hrs de moldados os CP's foram desmoldados e submersos em água para que ocorresse a cura, como é possível constatar na figura 9 (a) e (b). A ruptura dos CP's ocorreu nas idades de 3, 7 e 28 dias seguindo a tolerância de tempo a ruptura, valores definidos por norma.

Figura 9: Corpos de prova no molde (a) e submerso em água para cura (b).



Fonte: Elaborada pelos autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação dos resultados foi dividida em três partes, sendo a primeira a parte de caracterização dos materiais que foram utilizados obtidos através dos ensaios de distribuição granulométrica do agregado miúdo e do resíduo de corte e também o teor de umidade, módulo de finura e massa específica real e aparente a segunda parte ficou por conta da resistência a

compressão obtida pelos corpos de prova moldados e a terceira parte ficou com as comparações dos resultados obtidos com outras literaturas que também utilizaram o RCG.

4.1 Caracterização dos Materiais.

4.1.1 Agregado Miúdo

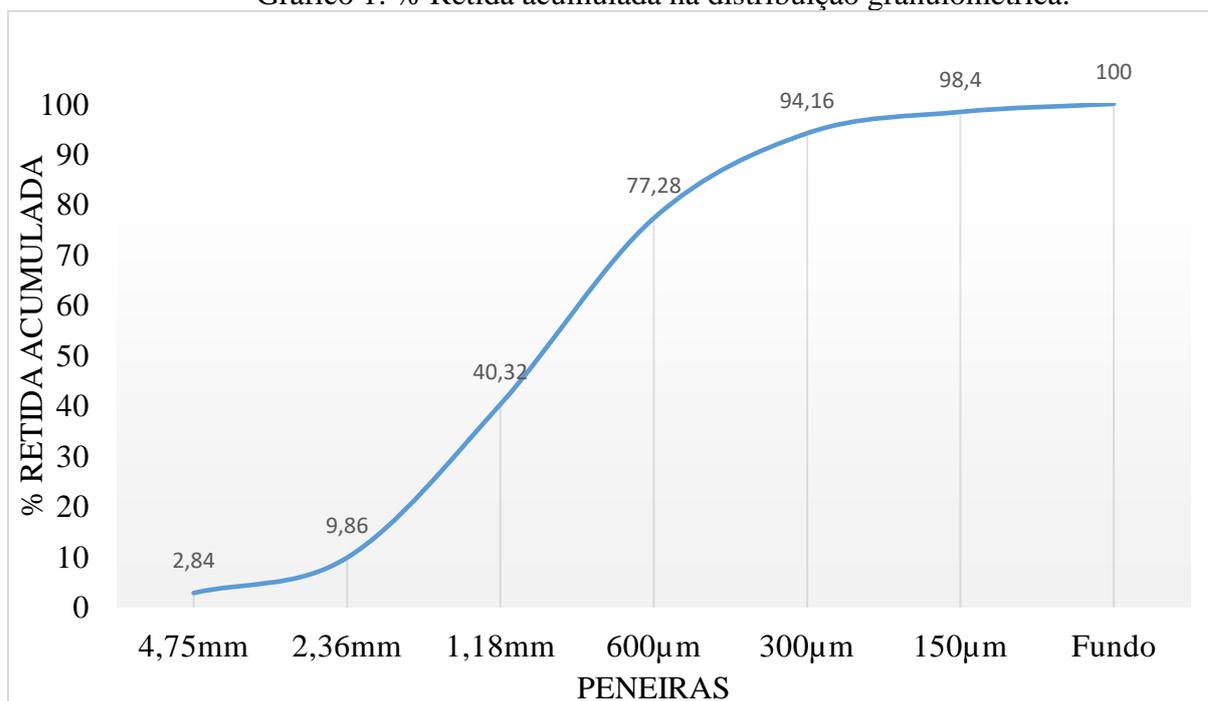
Na tabela 3 e no gráfico 1 observa-se o resultado da distribuição granulométrica do agregado miúdo da areia utilizada na confecção dos corpos-de-prova.

Tabela 3 – Distribuição granulométrica da areia.

PENEIRA	MASSA(g)	% RETIDA	% PASSANTE	% RETIDA ACUMULADA
4,75mm	14,2	2,84	97,16	2,84
2,36mm	35,1	7,02	92,98	9,86
1,18mm	152,3	30,46	69,54	40,32
600µm	184,8	36,96	63,04	77,28
300µm	84,4	16,88	83,12	94,16
150µm	21,2	4,24	95,76	98,4
Fundo	8	1,6	98,4	100
TOTAL	500	100	0	100

Fonte: Elaborada pelos autores.

Gráfico 1: % Retida acumulada na distribuição granulométrica.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A dimensão máxima característica segundo a NBR 248/2003 é correspondente a abertura da malha da peneira de série normal ou intermediária no qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada inferior a 5% em massa e módulo de finura é soma das porcentagens retidas acumuladas em massa dividido por 100 (ABNT, 2003). Logo a dimensão máxima característica da areia grossa utilizada foi de 4,75mm e o módulo de finura um valor equivalente a 4,23.

4.1.2 Pó de RCG

Através da equação (1) é possível encontrar a % do teor de umidade do pó de granito.

$$h = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100; \quad (1)$$

Em que:

h = teor de umidade em porcentagem;

M_h = massa úmida do agregado em grama;

M_s = massa seca do agregado em grama;

Substituindo valores temos que o teor de umidade do pó é:

$$h = \frac{501,7 - 487,5}{487,5} \times 100 = 2,91\%; \quad (1)$$

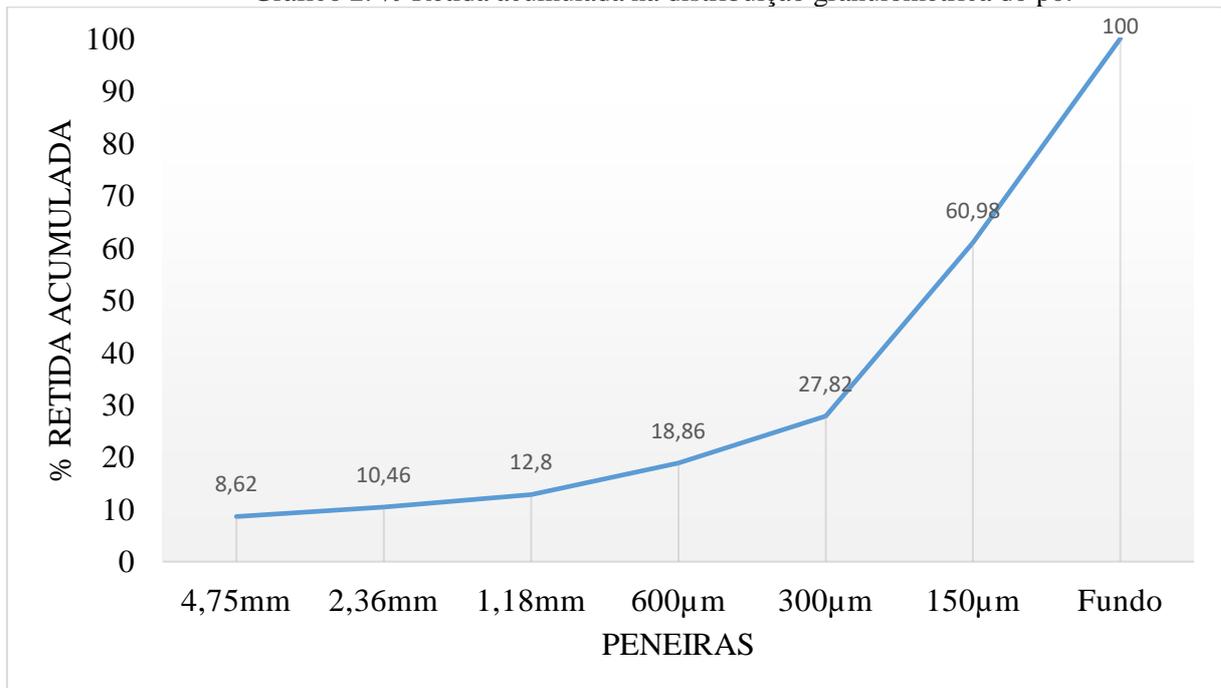
A tabela 4 irá apresentar a distribuição granulométrica do pó do resíduo de corte de granito e o gráfico 2 apresenta porcentagem retida acumulada em função das peneiras, resultado obtido na composição granulométrica.

Tabela 4 – Distribuição granulométrica do pó de RCG.

PENEIRA	MASSA(g)	% RETIDA	% PASSANTE	% RETIDA ACUMULADA
4,75mm	43,1	8,62	91,38	8,62
2,36mm	9,2	1,84	98,16	10,46
1,18mm	11,7	2,34	97,66	12,8
600 μ m	30,3	6,06	93,94	18,86
300 μ m	44,8	8,96	91,04	27,82
150 μ m	165,8	33,16	66,84	60,98
Fundo	195,1	39,02	60,98	100
TOTAL	500	100	0	100

Fonte: Elaborada pelos autores.

Gráfico 2: % Retida acumulada na distribuição granulométrica do pó.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Desta forma, a NBR 248/2003 indica que a dimensão máxima característica é obtida através da % retida acumulada inferior a 5%, o que o pó de RCG não apresentou devido a sua finura, porém, os autores adotaram a dimensão máxima característica como 4,75mm devido seu resultado estar próximo de 5%, e apresentando assim um módulo de finura no valor de 2,40. Tanto no gráfico quanto na tabela observa-se que os valores de porcentagem retida acumulada deram um salto gigantesco quando o agregado do pó chegou na última peneira (150 μ m) devido a abertura da malha ser muito pequena.

Através da equação 2 é possível obter o valor do módulo de finura do pó de granito que passa pela peneira de 75 μ m por lavagem.

$$m = \frac{M_i - M_f}{M_f} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

m = porcentagem de material mais fino que passa a peneira de 75 μ m por lavagem;

M_i = massa original do agregado seco em grama;

M_f = massa do agregado seco após lavagem em grama;

Substituindo valores, teremos que a porcentagem de material fino que passa na peneira de 75 μ m é de:

$$m = \frac{500 - 358,9}{500} \times 100 = 28,22\% \quad (2)$$

Para encontrar o valor da massa específica real do pó de granito pode utilizar a equação 3 que:

$$\gamma = \frac{M}{V_{deslocado}} \quad (3)$$

No qual:

γ = massa específica real em g/cm³;

M = massa adicionada na proveta em gramas;

V_{deslocado} = volume deslocado na proveta após adição de agregado em ml/cm³;

Com a substituição de dados temos que a massa específica real do pó é:

$$\gamma = \frac{100}{40} = 2,5 \text{g/cm} \quad (3)$$

Através da equação 4 é possível encontrar valor de massa específica do ensaio preliminar que era utilizado um frasco com volume conhecido:

$$\gamma = \frac{M}{V} \quad (4)$$

No qual:

γ = massa específica aparente em g/cm³;

M = massa adicionada em gramas;

V = volume conhecido do frasco em ml/cm³;

Com isso substituindo os dados teremos que:

$$\gamma = \frac{93,7}{100} = 0,937 \text{g/cm}^3 \quad (4)$$

Já para a o ensaio de massa específica compactada e utilizando a mesma equação 4 podemos encontrar o valor da massa específica aparente, em que substituindo os valores teremos:

$$\gamma = \frac{118,5}{100} = 1,185 \text{g/cm}^3 \quad (4)$$

Pelo fato de o resultado ter sido acima de 1g/cm³, o resultado é válido e aceito por norma.

4.1.3 Grânulo de RCG

Para encontrar o valor do teor de umidade do grânulo do resíduo de corte de granito, é possível utilizar novamente a equação 1:

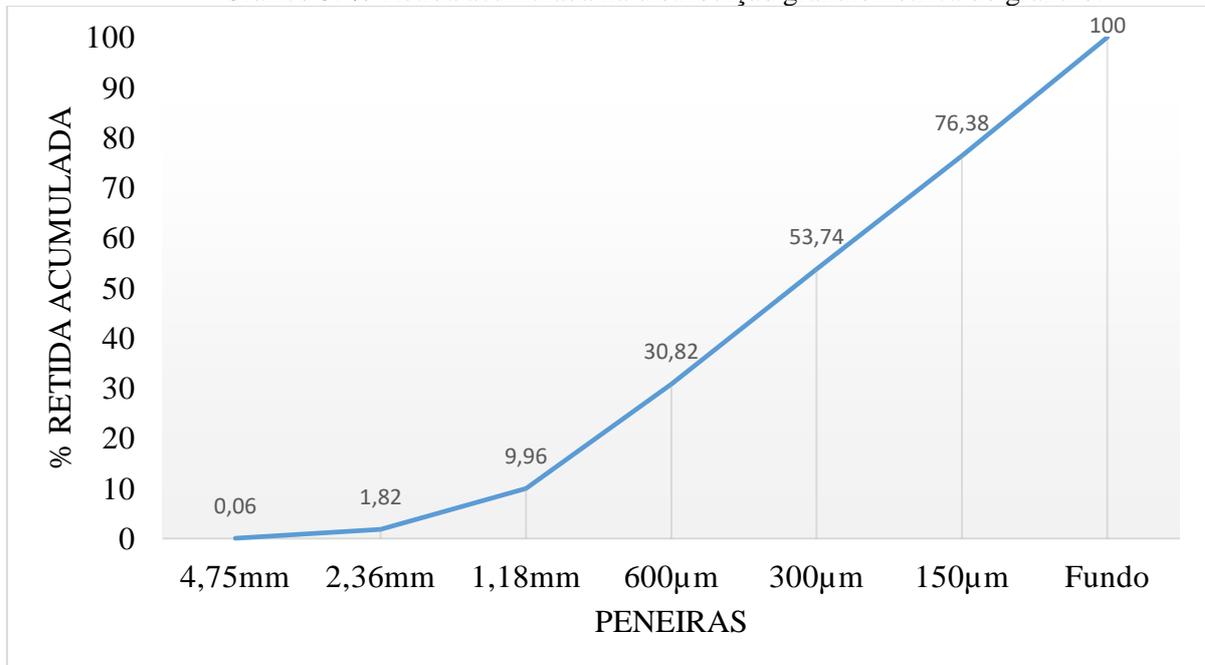
$$h = \frac{504,5 - 504,2}{504,2} \times 100 = 0,059\% \quad (1)$$

A tabela 5 e gráfico 3 apresentaram os resultados obtidos para o grânulo do RCG.

Tabela 5 – Distribuição granulométrica do grânulo de RCG.

PENEIRA	MASSA(g)	% RETIDA	% PASSANTE	% RETIDA ACUMULADA
4,75mm	0,3	0,06	99,94	0,06
2,36mm	8,8	1,76	98,24	1,82
1,18mm	40,7	8,14	91,86	9,96
600µm	104,3	20,86	79,14	30,82
300µm	114,6	22,92	77,08	53,74
150µm	113,2	22,64	77,36	76,38
Fundo	118,1	23,62	76,38	100
TOTAL	500	100	0	100

Fonte: Elaborada pelos autores.

Gráfico 3: % Retida acumulada na distribuição granulométrica do grânulo.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Seguindo os critérios adotados anteriormente para este ensaio, o módulo de finura do grânulo de resíduo de corte é de 2,73 e a dimensão máxima característica que o agregado apresentar é de 2,36mm.

Levando em conta a equação 2, quando substituirmos os valores, teremos que a porcentagem de material fino do grânulo que passa na peneira de 75 µm é de:

$$m = \frac{500 - 451,6}{500} \times 100 = 9,68\% \quad (2)$$

Com isto, usando a equação 4, podemos encontrar o valor da massa específica aparente do grânulo de resíduo de corte de granito, sendo ele no valor de:

$$\gamma = \frac{141,9}{100} = 1,419 \text{g/cm}^3 \quad (2)$$

Já a equação 5 irá determinar a massa específica real do grânulo de RCG:

$$\gamma = \frac{500}{L - 200} \quad (5)$$

Em que:

γ = massa específica real em g/cm³;

L = leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo);

200 = quantidade de água adicionado no frasco em ml;

Assim, substituindo os valores encontrados na equação teremos que:

$$\gamma = \frac{500}{438-200} = 2,10 \text{ g/cm}^3 \quad (5)$$

4.2 Resistência a Compressão.

Após a realização dos ensaios, desmolde dos corpos de prova e a imersão de ambos em água para cura e aumento de resistência, os CP's foram rompidos seguindo a NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Seguindo a norma é possível obter resultado da resistência, através da equação 6:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (6)$$

Em que:

σ = resistência a compressão do corpo de prova em MPa (mega pascal);

F = carga da ruptura expressa em KPa (quilo pascal);

A = área da seção transversal do corpo de prova em metros.

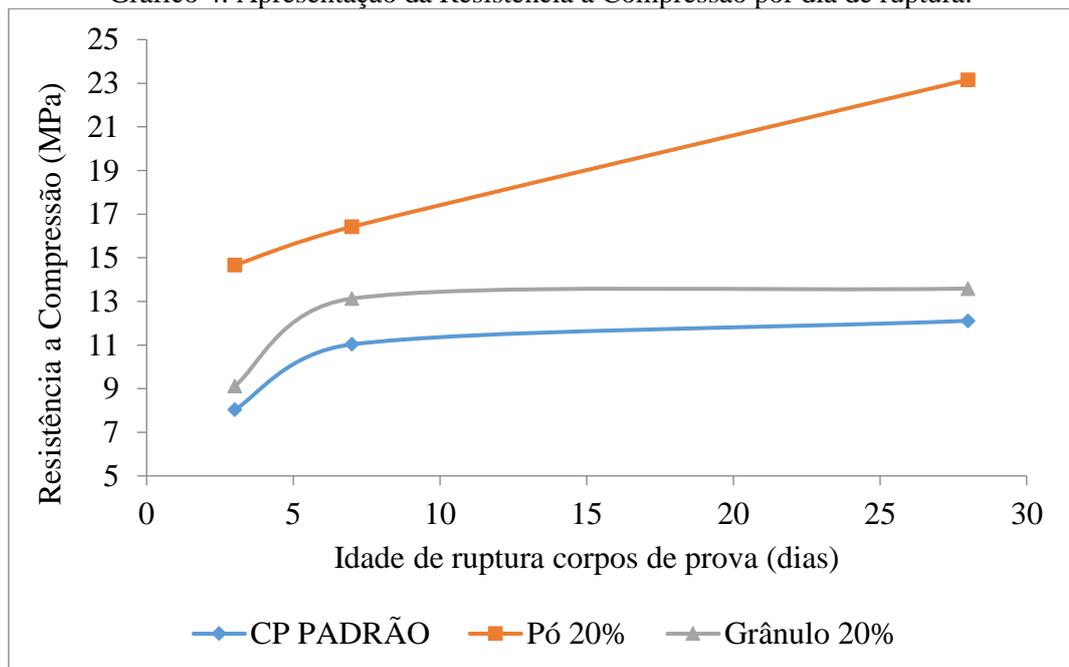
Assim pode-se observar na tabela 6 a resistência média a compressão que cada corpo de prova obteve com 3, 7 e 28 dias de idade.

Tabela 6– Resultados da resistência média dos corpos de prova.

	3 DIAS (MPa)	7 DIAS (MPa)	28 DIAS (MPa)
CP PADRÃO	8,03	11,03	12,11
PÓ 10%	----	----	12,65
PÓ 20%	14,66	16,42	23,16
GRÂNULO 10%	----	----	10,54
GRÂNULO 20%	9,12	13,13	13,59

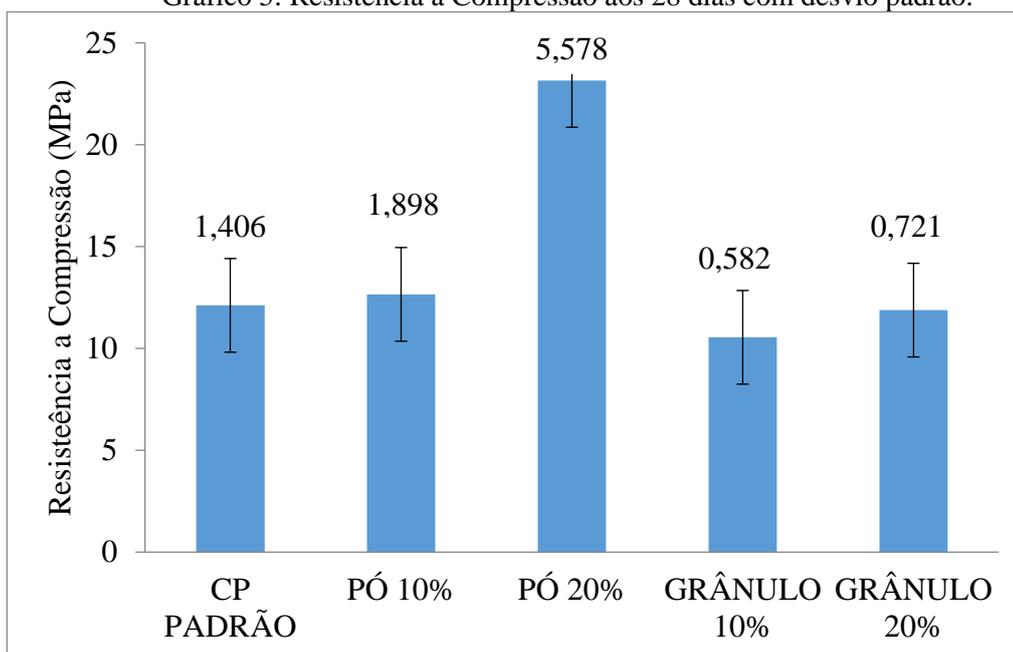
Fonte: Elaborada pelos autores.

Gráfico 4: Apresentação da Resistência a Compressão por dia de ruptura.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Gráfico 5: Resistência a Compressão aos 28 dias com desvio padrão.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Após análise dos resultados das resistências médias apresentada na tabela 6 e nos gráficos 4 e 5, se tornou viável constatar características que fizeram que os CP's com traço padrão e o corpo de prova com traço de grânulo com 20% apresentarem quase a mesma tendência de crescimento da resistência a compressão, enquanto que os CP's que possuíam a presença de pó com 20% em sua composição exibiu um comportamento diferente para a resistência a compressão, sendo que dos 3 até os 7 dias de idade ele teve pouco acréscimo de resistência o que de 7 até 28 dias ele teve uma aceleração de resistência, tendo como hipóteses para esse ganho de resistência coesão entre as partículas e boa compactação gerando a aderência necessária que impediu que os CP's sofressem a ruptura logo no início do ensaio, resistindo então maiores indícios de tenacidade. Conforme explica Gonçalves as possíveis justificativas para esse elevado ganho de resistência podem ser (2000, pg.62):

a) Como o resíduo de corte de granito não tem atividade pozolânica em seu efeito físico, sua alta finura, promoveu no seu interior uma refinação nas estruturas dos poros, sendo que esse feito contribuiu para que houvesse uma maior densificação da zona de transição e da matriz cimentícia gerando assim por consequência um elevado ganho na resistência a compressão;

b) Devido a distribuição das pequenas partículas de RCG em toda a mistura cimentícia, associado ao adensamento da interface matriz/agregado, fazendo com que ocorresse o preenchimento dos poros existentes, diminuindo assim os espaços disponíveis para que seja ocupado por água. Assim, o aumento do contato entre os produtos hidratados e não hidratados da matriz, gera o chamado *effect packing*, em outras palavras um alto empacotamento da matriz, sendo que esse maior contato representou uma totalidade de pequenas forças resistentes que também contribuíram para o aumento da resistência a compressão.

Enquanto que os corpos de prova com adição de 10% (pó e grânulo) não apresentaram valores satisfatórios quando comparado ao corpo de prova padrão, tendo como hipóteses para esse resultado, é que os CP's não portaram de boa coesão entre as partículas e boa compactação, também é possível falar que o teor de umidade foi não agregou da mesma forma que os CP's do grânulo de 20%, podendo destacar que o preenchimento dos poros não foi o suficientemente correto, o que afetou diretamente já que quando submersos em água para cura a absorção de água foi elevada, o que contribuiu para o rompimento com certa rapidez do que os demais.

Na figura 10 (a) e (b) é possível ver o corpo de prova antes e depois do ensaio de resistência a compressão.

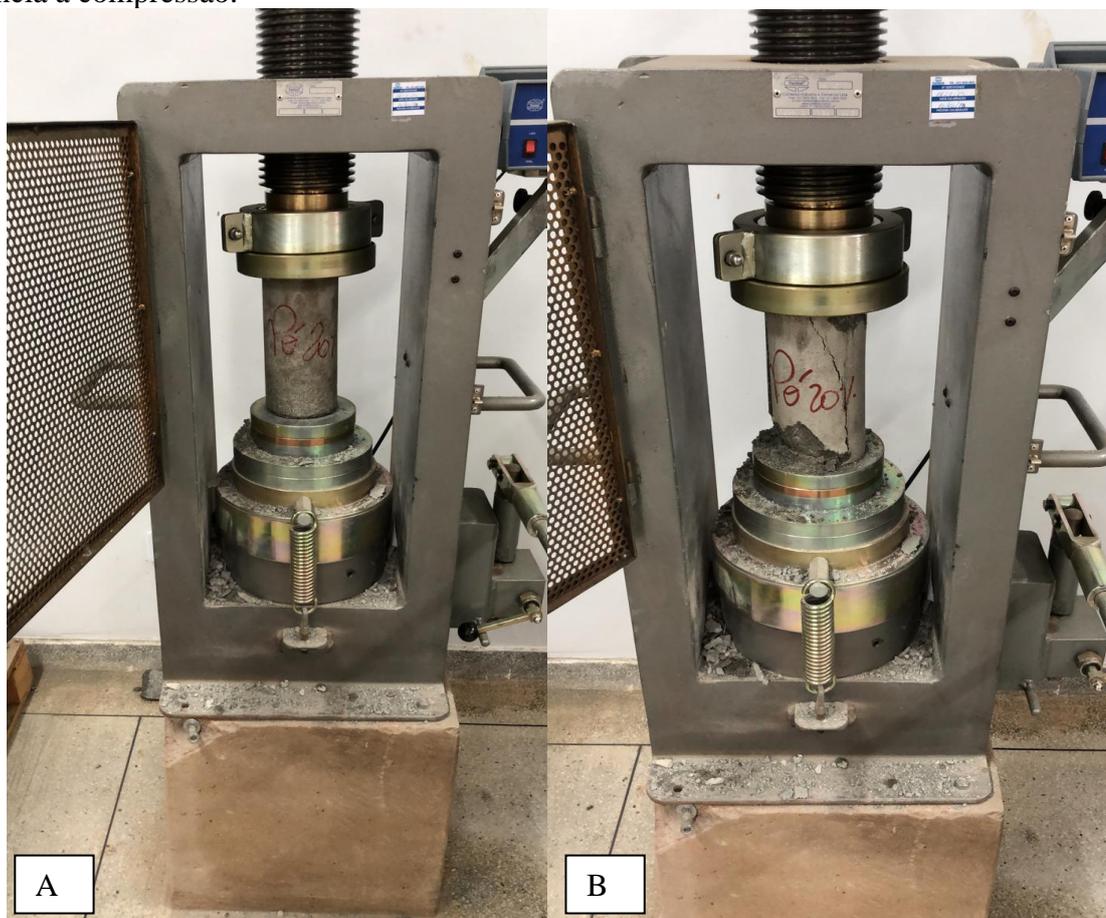


Figura 10: Corpos de prova antes do ensaio (a) e corpo de prova pós ensaio (b).

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.3 Comparação com outras literaturas

Segundo os estudos realizados por Pereira (2016, pgs. 51-53), para os ensaios de resistência a compressão seguindo a NBR 5733/1991 – Cimento Portland de alta resistência inicial, aos 7 dias de idade o concreto deveria ter atingido uma resistência à compressão de pelo menos 34 MPa, entretanto para está 1^o idade os CP's não atingiram tal resistência, devido a relação água/cimento utilizada para a confecção dos concretos. Logo verificou-se que em relação ao concreto com 0% de adição, um corpo de prova que possui 5% de adição obteve um ganho de 14,75% e com 10% de adição um valor de 26,72% em relação ao concreto referência, apresentando um desempenho superior tanto com 7 dias quanto aos 28 dias de idade.

De acordo com Gonçalves (2000, pg.110) foi realizada a apuração para resistência a compressão segundo a NBR 5739/2007 Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, como referência tendo três tipos de mistura (0% de RCG, 10% de RCG e 20% de RCG), com três tipos de relação água/cimento (0,40; 0,55 e 0,70), para 7, 28 e 63 dias. Para todos os 3 tipos de mistura com RCG notou-se que com a adição o concreto conseguiu possuir um melhor desempenho em relação ao concreto referência levando em comparação a água/cimento em todos os teores. Os concretos que possuem 10% de adição alcançaram 8% de ganho médio, ao mesmo tempo em que os concretos de 20% conseguiram um ganho de 19,6% em relação ao concreto que serviu de referência.

Conforme Valentina (et. al, 2009) a resistência a compressão para concreto, segundo a ACI 363R-92, CAR (concreto de alta resistência) é definido como sendo concreto com

resistência à compressão maior que 41 MPA. Logo utilizou-se adição com teor de 5%, 10% e 15% de RMG (resíduo de mármore e granito) utilizando também dosagens diferentes de superplastificante nas proporções de 1,5%; 1,8% e 2%, tendo um tempo de cura para 7 e 28 dias. Com isso os resultados obtidos foram que na idade de 7 dias todas as misturas apresentaram um melhor desempenho do que o concreto usado como referência, sendo que nas adições de 10% e 15% com 1,5% de superplastificante obteve valores de resistência maior que 50MPa. Para ao de 28 dias de idade observa-se que os concretos com RMG apresentam valores mais significativos do que os de referência, apesar dos mesmos atingirem resistência acima de 50 MPa.

Assim, quanto a resistência a compressão observa-se que os resultados obtidos seguem a mesma tendência que o das bibliografias consultadas, que nos dias iniciais os corpos de prova com traço padrão, pó e grânulo com 10% de adição de grânulo de 20% de adição tiveram o mesmo esquema de aumento de resistência enquanto que somente o traço com adição de 20% no pó de RCG proporcionou ganhos de resistência mais relevantes em relação aos outros traços.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor de rochas ornamentais produz uma quantidade grande de resíduo nas fases de extração e beneficiamento. Não fugindo desta realidade, se torna perceptível que os organismos envolvidos neste processo, apesar de dispor de propensões diferentes, demonstra que tem buscado soluções em conjunto quando a questão em pauta é o meio ambiente. Por consequência a viabilidade de sua utilização é acentuada principalmente pelos benefícios trazidos ao meio ambiente, posto que, este tipo de resíduo não seria disposto nas pedreiras, evitando qualquer tipo de contaminação do solo, das nascentes próximas e outros.

As misturas cimentícias que possuem a incorporação do subproduto de resíduo de corte de granito apresentaram no seu estado fresco uma maior coesão e consistência devido ao aumento da quantidade de finos, o que foi visto nos corpos de provas de RCG com pó em especial o de 20% devido quantidade de material fino do resíduo ter uma proporção maior do que o dos outros, apresentando valores de resistência a compressão maior.

Desta forma o uso do pó resíduos de corte de granito na proporção de 20% em misturas cimentícias pode ser empregue na área da construção civil, pois, este trabalho demonstrou que a resistência a compressão é superior quando se possui este tipo de material, demonstrando que sua possível aplicação em obras é viável, expondo peculiaridades importantes, que o engenheiro civil necessita prezar, sendo as possibilidades técnicas, econômicas, qualidade e conforto, levando em conta a facilidade de se obter o RCG em território nacional, além disso contribuindo para a preservação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro: Abnt, 1987. 3 p. Disponível em: <www.abnt.org.br> Acesso em: 02 nov. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: Abnt, 2003. 6 p. Disponível em: <www.abnt.org.br>. Acesso em: 02 nov. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem**. Rio de Janeiro: Abnt, 2003. 6 p. Disponível em:<www.abnt.org.br> Acesso em: 02 nov. 2020.

BRASILIA. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Ministério da Educação. **Rochas Ornamentais**. Brasília, 2007. 29 p. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000009569.pdf>>. Acesso em: 27/09/2020.

CARAN ASSIOS, A., CICCUCI, R. **Tecnologia de extração e valorização das rochas ornamentais**. Rochas de Qualidade, São Paulo, n.109, abr. – jun. 1992. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1960>>. Acesso em: 29/09/2020.

CARRIJO, Priscila Meireles. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em:<<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-11052006-143829/pt-br.php>>. Acesso em: 20 maio 2020.

CAVALCANTI, Clóvis (org.). **Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas**. Pág. 384 – 390. Editora: Cortez. 2ª Edição. São Paulo. 2002.

CHIODI FILHO, C. **Balço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais em 2019**. São Paulo: ABIROCHAS, 2020a. 19p. (Informe n. 01/2019), 2020. Disponível em: <https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Informe_01_2020_Balanco_2019.pdf>. Acesso em: 29/09/2020.

COLNAGO, A. T. DOS S.; OLIVEIRA, E. F.; MERLO, K. B. **PRODUÇÃO DE PISOS INTERTRAVADOS TIPO PAVIESS COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE MÁRMORE E GRANITO [Production of paviess interval floors with the use of marble and granite residue]**. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 14, n. 2, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.5216/reec.v14i2.49505>>. Acesso em: 28/09/2020.

CORRÊA, Lásaro Roberto. **SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2009. pgs70. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em:<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/52168602/TCC_Sustentabilidade_na_Construcao_Civil_L.pdf?1489608938=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMONOGRAFIA_SUSTENTABILIDADE_NA_CONS>

TRUCA.pdf&Expires=1606069419&Signature=ZHbaNykdWaaEtrhaKwnPpjMw7ZFvUyDePk3p~1uqGTUxokxa63M39EPZr5byA9keCY~9FyJC7divT4IZ3svLV9hoYkPxvE2nMHEiXk~qo30hMqHdR2L1bIDmF92XgvWE6jXOwbO8kIpAszgRcoXgjmLGlpMDTtGafJJA0E54HI6tKgD3iYbQQ8no9QxHokCye0GehSEqZD4vid2mAbG71EF0PtUqzR7TMAvUFuGdQU7yuMhhez4Q7o62RizrGKyaKq26q9f55LuRW3bRe5N11EdyBeIoR1RE9TxG2QBNjTgPIDIYVmFrUD-nR7ItBL5aptsOcyalbw1YIBSzru2g__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA.> Acesso em: 20 nov. 2020.

DUARTE, João Batista. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por pó de pedra em concreto de cimento portland.** 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/12819/1/EstudoSubstituicaoAgregados_Duarte_2013.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2020.

FILHO, Cid Chiodi. Associação Brasileira da Industria de Rochas Ornamentais - Abirochas. **Síntese das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais no 1º Trimestre de 2020.** Brasília, Distrito Federal: 0, 2020. 10 p. Disponível em: https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2020/03/Informe_02_2020_Primeiro_Trimestre_2020_v2.pdf. Acesso em: 28 nov. 2020.

FORMIGONI, GE BLEGGI. MAE; SILVA, LF; EGERT, P.; SILVA, HRT. **Aproveitamento de resíduos: reciclagem de rochas naturais.** Unisul, v. 3, n. 03, 2008. Disponível em: <<http://junic.unisul.br/2007/JUNIC/pdf/0120.pdf>>. Acesso em: 28/09/2020.

FRASCÁ, Maria Heloísa Barros de Oliveira. **Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas.** In: VIDAL, Francisco Wilson Hollanda; CASTRO, Nuria Fernández; AZEVEDO, Hélio Carvalho Antunes de. **Tecnologia de rochas ornamentais Pesquisa, Lavra e Beneficiamento.** Rio de Janeiro: Cetem, 2014. Cap. 2. p. 43-98. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1960>>. Acesso em: 29/09/2020.

GONÇALVES, et al. Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 53-68, jan./mar. 2002. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/3411/1824>>. Acesso em: 29 novembro 2020.

GONÇALVES, J. P. **Utilização do resíduo de corte de granito como adição para produção de Concretos.** 2000. Tese de Doutorado. Dissertação de M. Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1676/000305830.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 29 novembro 2020.

GOOGLE (Brasil) (org.). **Google Earth.** 2020. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/@-13.04801854,-48.66781022,390.1688859a,471.41790816d,35y,149.10172548h,59.99568074t,360r>>. Acesso em: 30/09/2020.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa.** 2003. 165 f. Dissertação (Mestrado) -

Curso de Arquitetura, Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Cap. 8. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-07072003-160408/publico/Digital.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2020.

GROBER, Ulrich. **Deep roots – A conceptual history of ‘sustainable development’ (Nachhaltigkeit)**. Wissenschaftszentrum Berlin Für Sozialforschung (Wzb), Berlin. pgs. 30, fev. 2007. Disponível em: <<https://bibliothek.wzb.eu/pdf/2007/p07-002.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

GUERRA, E.A. **Apoio do MCT ao setor de rochas ornamentais e revestimentos**. V SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 2005. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2/browse?type=title&sort_by=2&order=ASC&rpp=20&etal=-1&year=-1&month=-1&null=&starts_with=R>. Acesso em: 29/09/2020.

JÚNIOR, Noelço Silva Dias. **Produção de blocos prensados e de encaixe com pó de pedra do beneficiamento de rochas calcárias**. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. <<http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2015/09/NOEL%C3%87O-SILVA-DIAS-J%C3%9ANIOR.pdf>>. Acesso em: 19 maio 2020.

MENOSSEI, Rômulo Tadeu et al. **Pó de Pedra: uma alternativa ou um complemento ao uso da areia na elaboração de misturas de concreto?**. HolosEnvironment, v. 10, n. 2, p. 209-222, 2010. Disponível em: <<https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/4727>>. Acesso em: 07/09/2020. doi:<http://dx.doi.org/10.14295/holos.v10i2.4727>.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto-5ª Edição**. Bookman Editora, 2015. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=dYOPCgAAQBAJ&pg=PA111&hl=pt-BR&source=gb_s_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 20 maio 2020.

PEITER, Carlos César; MOFATI, Luciana Marelli; VILLAS-BÔAS, Roberto Cerrini. **A busca da sustentabilidade na produção e uso das rochas ornamentais**. In: VIDAL, Francisco W. H.; AZEVEDO, Hélio C. A.; CASTRO, Nuria Fernández. **Tecnologia de rochas ornamentais Pesquisa, Lavra e Beneficiamento**. Rio de Janeiro: Cetem, 2014. Cap. 11. p. 531-565. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1740/1/CCL00080014_CAPITULO_11.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020.

PEREIRA, Larissa Santini. **Influência do uso dos resíduos de corte de granito como filler no desempenho do concreto**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7861/1/PB_COECI_2016_2_31.pdf>. Acesso em: 29 novembro 2020.

PETRY, Natália dos Santos et al. **Avaliação do uso de resíduos de marmoraria na produção de concretos**. Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, v. 6, n. 2, p. 71-92, dez. 2017. ISSN 2318-1109. Disponível em: <<https://seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/view/1946>>. Acesso em: 12/09/2020. doi:<https://doi.org/10.18256/2318-1109.2017.v6i2.1946>.

PLETSCH, Juliana Aquino; PLETSCH, Miguel. A relação do homem com a natureza e o impacto na conservação das espécies. In: OLIVEIRA, Marcia Maria Dosciatti de; MENDES, Michel; HANSEL, Claudia Maria; DAMIANI, Suzana. **Cidadania, meio ambiente e sustentabilidade**. Caxias do Sul: EducS – Editora da Universidade de Caxias do Sul, 2017. p. 1-540. Disponível em: https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/ebook-cidani-meioamb_3.pdf. Acesso em: 29 nov. 2020.

ROOS, Alana; BECKER, Elsbeth Leia Spode. **EDUCAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria, v. 5, n. 5, p. 857-866, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/4259/3035>. Acesso em: 20 nov. 2020.

RUBENS CURTI. Comunidade da Construção Civil (org.). **GESTÃO DE ESTRUTURAS RACIONALIZADAS DE CONCRETO**. 2015. Associação Brasileira de Cimento Portland. Disponível em: <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/74/anexo/1intro.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2020.

SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da et al. **Beneficiamento de rochas ornamentais**. In: VIDAL, Francisco Wilson Hollanda; CASTRO, Nuria Fernández; AZEVEDO, Helio Carvalho Antunes de. **Tecnologia de rochas ornamentais Pesquisa, Lavra e Beneficiamento**. Rio de Janeiro: Cetem, 2014. Cap. 7. p. 329-398. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1960>. Acesso em: 12/09/2020.

VALENTINA, Luiz Veriano Oliveira Dalla.; FAGANELLO, Luciana.; Semptikovski, Simone Claudiano. **RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETOS OBTIDOS COM INCORPORAÇÃO DO SUBPRODUTO DO CORTE E ACABAMENTO DE MÁRMORE E GRANITO**. III Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí. 2009. Disponível em: <https://ens2009.paginas.ufsc.br/files/2015/09/RESIST%C3%80NCIA-MEC%C3%82NICA-DE-CONCRETOS-UDESC.pdf>. Acesso em: 29 novembro. 2020.

VIDAL, Francisco Wilson Hollanda; PINHEIRO, José Roberto; CASTRO, Nuria Fernández; CARANASSIOS, Adriano. Lavra de rochas ornamentais. In: VIDAL, Francisco Wilson Hollanda; CASTRO, Nuria Fernández; AZEVEDO, Helio Carvalho Antunes de. **Tecnologia de rochas ornamentais Pesquisa, Lavra e Beneficiamento**. Rio de Janeiro: Cetem, 2014. Cap. 4. p. 153-257. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1960>. Acesso em: 29/09/2020.