

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUOS DE PÓ DE GRANITO

Felipe Antônio Viana de Araújo

Bacharelado do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (felipevaraujo@gmail.com)

Victor Cesar Crisosto Moises

Bacharelado do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (victorcesar3625@gmail.com)

William Barros Dias

Bacharelado do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (williambarros13@gmail.com)

David Ferreira Barbosa

Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA (davidferreira_barbosa@outlook.com)

Ana Lúcia Carrijo Adorno

Professora Doutora do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (ana.carrijo@unievangelica.edu.br)

RESUMO

Atualmente, há uma grande quantidade de resíduos sólidos sendo descartados no meio ambiente. Um desses resíduos é a lama resultante do processo de beneficiamento de rochas de mármore e granito, que é amplamente utilizado na indústria da construção civil. O descarte inadequado desse resíduo tem impactos negativos no meio ambiente, seja pela geração de resíduos não biodegradáveis ou pelo acúmulo de materiais não degradáveis. Com o objetivo de buscar uma destinação adequada para esse resíduo, este estudo concentra-se no seu reaproveitamento na produção de concreto. Para isso, foi avaliada a incorporação de pó de granito na fabricação desses compósitos, substituindo parcialmente o agregado miúdo natural em proporções de 10%, 15% e 20%, de acordo com as referências citadas no decorrer do artigo. Foram realizados testes para caracterizar os agregados, bem como avaliar a resistência à compressão axial dos corpos de prova. Os resultados indicaram que as misturas contendo 10% de agregado reciclado apresentaram uma resistência à compressão de 29,7 MPa, o que representa um aumento de 5% em relação às misturas de referência, sem a substituição da areia pelo pó de granito. Isso demonstra que os resultados são satisfatórios e evidencia a viabilidade do uso de agregados reciclados em peças de concreto.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos sólidos; pó de granito; propriedades do concreto; resistência à compressão.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é amplamente utilizado na indústria da construção civil como o principal material de construção. É composto principalmente por cimento, água, pedra e areia, além de outros aditivos opcionais. Quando o cimento é hidratado pela água, forma uma pasta que adere aos agregados, resultando em uma mistura resistente e facilmente moldável. Fatores como estes estimulam o interesse na descoberta de novas tecnologias e de novos compostos como propostas para a melhoria de algumas propriedades (MECHTCHERINE et al., 2020; NGUYEN, CASTEL, 2020).

Inicialmente, a produção de concreto envolvia a mistura de apenas três materiais: cimento, agregados e água, sendo que o cimento utilizado geralmente era o cimento Portland. Com o objetivo de aprimorar algumas propriedades do concreto, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido, pequenas quantidades de produtos químicos foram gradualmente adicionadas às misturas ao longo do tempo (BELINE, MAFFEIANGELOTTI, COELHO, & SANTOS, 2015).

De acordo com Azevedo et al. (2020), a indústria da construção civil, apesar de desempenhar um papel significativo na economia, é o setor que mais consome matérias-primas naturais em todo o mundo. Estima-se que esse setor seja responsável por 40% a 75% do consumo total de matéria-prima no planeta. Oliveira et al. (2020) ressaltam que o impacto ambiental da indústria abrange desde a exploração das matérias-primas até a utilização, resultando na geração de resíduos sólidos.

Para mitigar o impacto negativo no meio ambiente, causado pela disposição inadequada e pelo uso excessivo de matérias-primas naturais na fabricação de compósitos cimentícios, o pó de brita granítica e de mármore têm sido considerados como materiais com grande potencial para serem reintegrados como agregados no ciclo de produção da indústria da construção civil.

O setor da construção civil representa uma oportunidade significativa para o consumo de materiais reciclados, visto que as atividades de construção ocorrem em diversas regiões e com a expansão contínua do ambiente construído. Isso possibilita a redução dos custos de transporte desses materiais. Além disso, muitos dos componentes necessários para a construção de edificações podem ser produzidos sem a necessidade de tecnologias complexas (JOHN, 1996).

Levando em consideração a grande quantidade de resíduos gerados pela produção de peças ornamentais, como mármore e granito, e tentando contribuir para o desenvolvimento sustentável, alguns pesquisadores vêm estudando o aproveitamento dos resíduos de corte de granito para aplicações em argamassas, concretos e peças cerâmicas.

Apesar de pesquisas demonstrarem a viabilidade do uso desses resíduos, alcançando resultados bastante significativos para as propriedades físicas e mecânicas, as normas nacionais permitem o uso dos agregados reciclados apenas em compósitos de baixa resistência, ou seja, em materiais à base de cimento não estruturais (MOHAJERANI et al., 2020).

O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência à compressão e a viabilidade do uso de concreto com substituições de 10%, 15% e 20% do agregado miúdo por pó de granito proveniente das marmorarias.

2 RESÍDUOS DE GRANITO E MÁRMORE

O processo de extração e tratamento ou beneficiamento das rochas ornamentais causam impactos ambientais e geram resíduos nas quatro etapas do processo, são elas: lavra, que é retirada dos blocos de rochas naturais; desdobramento dos blocos, etapa em

que é feito o corte dos blocos, subdividindo-os em chapas/placas brutas; apiloamento ou polimento das chapas, para transformá-las em chapas ornamentais; e beneficiamento da chapa, processo de serragem e polimento das chapas de mármore e granito (LOPES, 2007; SANTOS; DESTEFANI; HOLANDA, 2013).

De acordo com Lopes et. al. (2006), aproximadamente 20% a 30% das rochas são desperdiçadas na forma de lama, devido ao processo produtivo utilizado na indústria de beneficiamento de rochas ornamentais.

Segundo a FluxGeo [s.d.], atualmente no Brasil existem mais de 780 empresas, dos mais variados portes, beneficiando mais de 2 milhões de toneladas/ano de granitos e mármore. O volume de resíduo gerado pelo beneficiamento de rochas ornamentais (incluindo mármore e granitos) é bastante significativo. Porém, existe uma oscilação nestes valores, porque dependem muito da demanda do mercado consumidor. Como o processo de serragem é o mesmo, este mercado é o fator principal para a produção de placas de granito e/ou mármore e, conseqüentemente, do resíduo gerado. Então, existem os resíduos de mármore, resíduos de granitos e um terceiro, que é a mistura do resíduo de mármore com resíduos de granito.

O volume total do pó gerado no processo de serragem é bastante significativo, gerando problemas de transporte, estocagem, econômicos, de manutenção dos depósitos, ambientais e problemas para a população e operários, possibilitando o surgimento de doença.

O resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais é classificado como sendo de Classe III – Inerte. Portanto, a sua utilização na construção civil não causa risco ambiental e nem à saúde humana. Porém, a lama dos resíduos do beneficiamento do mármore e do granito (RBMG), quando descartada de forma incorreta, pode causar graves problemas ambientais, como o assoreamento de rios, poluição dos mananciais e pode causar doenças à população (LOPES et. al., 2006).

Segundo Singh et al. (2017), no processo de beneficiamento das rochas ornamentais, mármore e granitos, em torno de 30% das rochas torna-se resíduo, o qual muitas vezes é descartado de maneira incorreta no meio ambiente. Desta maneira, várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas no intuito de aproveitar o resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG), dando uma destinação correta a este material, muitas vezes trazendo tanto benefícios ambientais quanto econômicos (BARROS, 2008; GONÇALVES, 2002; KUMAYAMA et al., 2015; LISBÔA, 2004; LOPES, 2007; OLIVEIRA, 2015; RODRIGUES; FILHO; SANTOS, 2015; SINGH et al., 2017).

Muitas pesquisas atuais visam avaliar a utilização de pós do resíduo de corte do granito como material alternativo, que visa a diminuição dos impactos ambientais. Em termos de desempenho mecânico dos compósitos cimentícios modificados com pó de mármore, Arshad et al. (2014) concluíram que a substituição de 15% de agregado miúdo por resíduos de pó de granito na presença de aditivos plastificantes, evidenciou uma resistência máxima à compressão axial similar à mistura de referência, após 28 dias de cura.

Shukla, Gupta e Gupta (2020) ao produzirem compósitos cimentícios contendo pó de mármore na proporção de 100%, observou-se valores de resistência à compressão axial média, aos 28 dias, de aproximadamente 40 MPa, sendo este 6,5% maior quando comparado com as misturas de referência. Da mesma forma, Barros e Fucale (2016) verificaram a possibilidade do uso da substituição total do agregado natural pelo reciclado e concluíram que o concreto foi capaz de suportar esforços de compressão 22% superiores, quando comparados à mistura de referência.

Estudos realizados por Aliabdo et al. (2014) evidenciaram que a utilização da relação água/cimento (a/c) de 0,40 possibilitou um aumento significativo na resistência à compressão axial dos compósitos cimentícios contendo resíduos industriais em sua matriz.

Além disso, observaram que a compactação mecânica do concreto incide no preenchimento dos vazios.

Ali e Hashmi (2014) avaliaram o comportamento mecânico dos compósitos cimentícios utilizando diferentes percentuais de pó de mármore e pó de pedra individualmente. Os autores perceberam que a utilização de 20% de pó de pedra (mármore ou granito) melhora as propriedades mecânicas dos materiais à base de cimento em, aproximadamente, 17%, durante 7 dias e 16%, aos 28 dias de análise.

Estudos realizados por Hebhouh et al. (2011) relataram um aumento na resistência à compressão axial utilizando 75% de agregados reciclados. Além disso, os autores realizaram uma análise comparativa comportamental, onde perceberam que a utilização de 100% de agregados reciclados incide na perda de resistência à compressão axial, determinado pelo preenchimento dos microporos na matriz cimentícia, melhorando as propriedades na zona de transição.

Rodrigues, Brito e Sardinha (2015) avaliaram o comportamento dos compósitos cimentícios contendo materiais sólidos industriais, onde perceberam que a utilização de plastificantes melhoram a resistência à compressão axial e a trabalhabilidade. Além disso, faz-se necessário a utilização adequada dos resíduos industriais, pois os mesmos quando utilizados de forma incorreta, podem acarretar a decomposição do silicato dicálcico (C2S) e silicato tricálcico (C3S), constituintes responsáveis pelo aumento da resistência à compressão dos compósitos à base de cimento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo deste estudo é explorar a viabilidade de utilizar o pó de granito em concreto estrutural, analisando diferentes proporções em que o pó de granito substitui uma porcentagem do volume do agregado miúdo, utilizado na fabricação do concreto.

A composição granulométrica da areia e do pó de granito foi determinada de acordo com a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Após a caracterização dos materiais foi possível obter os traços necessários, seguindo as normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Essa caracterização permitiu definir as especificações de cada material, de acordo com as normas vigentes. Por meio desse processo, foi possível calcular a quantidade de cada material a ser utilizado nos traços, além de adquirir conhecimento sobre as características e qualidades dos insumos empregados.

Por fim, foi possível avaliar e apresentar as resistências obtidas por meio de ensaios de compressão axial, conforme estabelecido pela norma NBR 5739 (ABNT, 2018), em corpos de prova de concreto com traços específicos. Utilizou-se um traço de referência sem resíduos de granito, bem como outros três traços com substituição do volume do agregado miúdo em 10%, 15% e 20% por resíduos de granito.

Todos os ensaios foram realizados no Centro Tecnológico da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, campus Anápolis. O pó de granito foi coletado em uma empresa (Marmoraria Arco Verde) e os demais agregados foram disponibilizados pela Universidade Evangélica de Goiás.

3.1 PÓ DE GRANITO

O pó de granito, conforme apresentado na Figura 1, é um resíduo miúdo gerado pelo corte e polimento das pedras de granito, no processo de lapidação. O material foi coletado de uma marmoraria local e encaminhado ao laboratório, onde foi seco na estufa Med Clave Modelo 5, a uma temperatura de 130 °C, por um período de 24 horas.

Figura 1 – Pó de granito seco



Fonte: AUTORES, 2023.

3.2 AREIA

A areia (Figura 2) utilizada na produção dos concretos foi areia natural lavada. Para determinação da composição granulométrica e obter o módulo de finura, foram seguidas as diretrizes estabelecidas pela NBR NM 248 (ABNT, 2003). O material foi fornecido pela UniEVANGÉLICA, devidamente armazenado e seco.

A massa específica e a massa unitária da areia foram fornecidas pelo técnico de laboratório da universidade, com os seguintes valores:

- Massa Específica = 2,483 g/cm³
- Massa Unitária = 2,496 g/cm³

Figura 2 – Areia Seca



Fonte: AUTORES, 2023.

3.3 BRITA

O agregado graúdo, brita (Figura 3), utilizado na produção dos concretos, foi fornecido pela UniEVANGÉLICA, devidamente lavado e seco. A massa específica e a massa unitária foram fornecidas pelo técnico de laboratório da universidade, com os seguintes valores:

- Massa Específica = 2,834 g/cm³
- Massa Unitária = 2,392 g/cm³

O tipo de agregado utilizado foi classificado como cascalho 1.

Figura 3 – Brita



Fonte: AUTORES, 2023.

3.4 CIMENTO

O cimento utilizado foi o tipo CP-II-F-32, cuja massa específica foi igual a 3,11 kg/m³, obtida segundo a NBR 16605 (ABNT, 2017).

3.5 ENSAIO DE GRANULOMETRIA

O ensaio de granulometria é um procedimento utilizado para determinar a distribuição granulométrica de um agregado fino ou grosso, fornecendo informações sobre o tamanho e a proporção das partículas presentes em uma amostra, o que é essencial para o projeto de misturas de concreto.

Para a realização desse ensaio, os agregados foram colocados em uma série de peneiras, que inicia na #4,76mm e finaliza na #0,075mm e acopladas ao peneirador Conteco I-1016-A, conforme indicado na Figura 4.

As amostras de areia e pó de granito foram peneiradas por 10 minutos a uma frequência de vibrações de 80 Hz.

Figura 4 – Ensaio de Granulometria



Fonte: AUTORES, 2023.

3.6 TRAÇOS

Por meio do método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), foi determinada uma relação de materiais de 1:1,42:1,93:0,45, representando 1 kg de cimento, 1,42 kg de areia, 1,93 kg de brita e 0,45 kg de água, correspondente ao traço de referência.

O traço de referência foi calculado visando alcançar uma resistência à compressão simples de 25 MPa, aos vinte e oito dias.

A pesquisa consistiu na substituição de 10%, 15% e 20% do volume do agregado miúdo pelo pó de granito. A Tabela 1 apresenta a relação da quantidade de cada material, em quilogramas, por metro cúbico, utilizada em cada traço estudado.

Tabela 1 – Quantidade de material do traço

| Traço | Cimento (kg) | Areia (kg) | Brita (kg) | Água (kg) | Pó de granito (kg) |
|------------|--------------|------------|------------|-----------|--------------------|
| Referência | 8 | 11,36 | 15,04 | 3,6 | 0 |
| 10% | 8 | 10,22 | 15,04 | 3,6 | 1,15 |
| 15% | 8 | 9,66 | 15,04 | 3,6 | 1,71 |
| 20% | 8 | 9,08 | 15,04 | 3,6 | 2,28 |

Fonte: AUTORES, 2023.

3.7 SLUMP TEST

O ensaio slump test (Figura 5) foi realizado conforme NBR NM 67 (ABNT, 1998), que tem como finalidade avaliar a trabalhabilidade do concreto, no que diz respeito à mobilidade do aglomerante frente a coesão dos materiais que constituem a sua matriz.

Para a realização do ensaio foi necessário a seguinte aparelhagem (ABNT, 1998):

- uma placa de base, que deve ser quadrada ou retangular, com dimensões laterais não inferiores a 50 mm x 50 mm e espessura igual ou superior a 3 mm;
- uma haste de compactação, de seção circular, reta, feita de aço com um comprimento de 600 mm e com diâmetro de 16 mm;
- molde para o corpo de prova, feito de metal que não é facilmente atacável pelo cimento, com espessura igual ou superior a 1,5 mm. O molde deverá ter a forma de um tronco de cone oco, com diâmetro inferior igual a 200 mm, diâmetro superior igual a 100 mm e altura de 300 mm.

Primeiramente foi necessário umedecer a placa base do molde e colocá-la em uma superfície plana e sem vibrações. Após isso, foi coletada uma amostra do concreto a ser analisado e preenchido o molde em 3 camadas, com altura equivalente a um terço da altura do molde. Cada camada foi compactada com uma haste, exercendo 25 golpes, de maneira uniforme sobre seção de cada camada.

No final do procedimento, nivelou-se a superfície do corpo de prova com uma desempenadeira e feita a limpeza da base. Após isso, foi retirado o molde, levantando-o, de forma cuidadosa, na direção vertical, em um tempo de 5 a 10 segundos, como informa a norma, com um movimento constante para cima, sem provocar movimentos de torção lateral. O último passo do experimento foi realizar a medição do abatimento do material, determinada pela diferença entre altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova, que corresponde a altura média do corpo de prova desmoldado, aproximando dos 5 mm mais próximos.

Figura 5 – Ensaio Slump Test



Fonte: AUTORES, 2023.

Para cada traço, realizou-se o ensaio de consistência, caracterizado como abatimento de tronco de cone, de acordo com os procedimentos estabelecidos pela ABNT.

3.8 CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova, com formato cilíndrico, nas dimensões de 100 x 200 mm², foram confeccionados seguindo as diretrizes da NBR 5738 (ABNT, 2015) e mantidos em

ambiente úmido (Figura 6), conforme estabelecido pela NBR 9479 (ABNT, 2006), até as datas programadas para realização dos ensaios de resistência à compressão axial: 7, 14, 21 e 28 dias, conforme determinado pela NBR 5739 (ABNT, 2007).

No total foram confeccionados 48 corpos-de-prova, com três amostras de cada traço, para ensaio em cada idade de teste de ruptura à compressão axial, por meio de uma prensa hidráulica modelo máquina universal 100 tf, da marca Contenco (Figura 7). O equipamento utilizado fornece os resultados da tensão de ruptura das amostras em Mega Pascal (MPa), a carga de ruptura, em quilograma força (kgf) e suas respectivas curvas de ruptura.

Figura 6 – Câmara úmida para armazenamento dos CP's



Fonte: AUTORES, 2023.

Figura 7 – Prensa Hidráulica Contenco



Fonte: AUTORES, 2023.

4 RESULTADOS

4.1 ENSAIO DE GRANULOMETRIA

No que diz respeito ao pó de granito, a Tabela 2 apresenta o quantitativo de partículas retidas em cada peneira, para uma quantidade total ensaiada de 500 g.

Tendo como base os resultados obtidos na Tabela 2 e Figura 8, o agregado reciclado, pó de granito, apresentou módulo de finura (massa retida na peneira #0,075mm dividido pela massa total ensaiada) de 8,7 e diâmetro máximo de 2 mm, podendo ser classificado como material de granulometria fina.

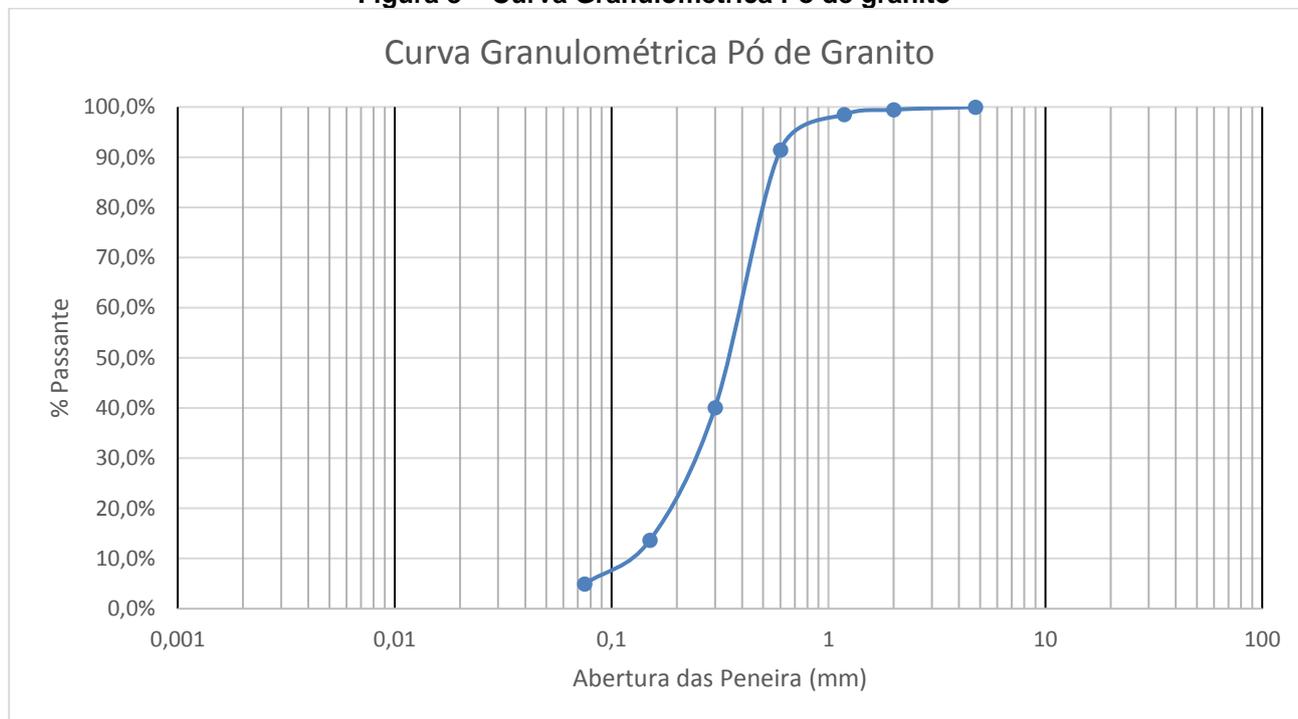
Seguindo o mesmo conceito para a areia, cada peneira utilizada apresentou uma fração retida de agregados, demonstrados na Tabela 3, para uma quantidade total ensaiada de 500g.

Tabela 2 – Massa retida e porcentagem passante para o Pó de Granito

| Peneiras (mm) | Massa Retida (g) | Massa Retida Acumulada (g) | % Passante |
|---------------|------------------|----------------------------|------------|
| 4,76 | 0 | 0 | 100% |
| 2 | 2,7 | 2,7 | 99,5% |
| 1,18 | 4,9 | 7,6 | 98,5% |
| 0,6 | 35,3 | 42,9 | 91,4% |
| 0,3 | 256,7 | 299,6 | 40,1% |
| 0,15 | 132,3 | 431,9 | 13,6% |
| 0,075 | 43,5 | 475,4 | 4,9% |
| Fundo | 24,6 | 500 | 0 |

Fonte: AUTORES, 2023.

Figura 8 – Curva Granulométrica Pó de granito



Fonte: AUTORES, 2023.

Tabela 3 – Massa retida e porcentagem passante para Areia

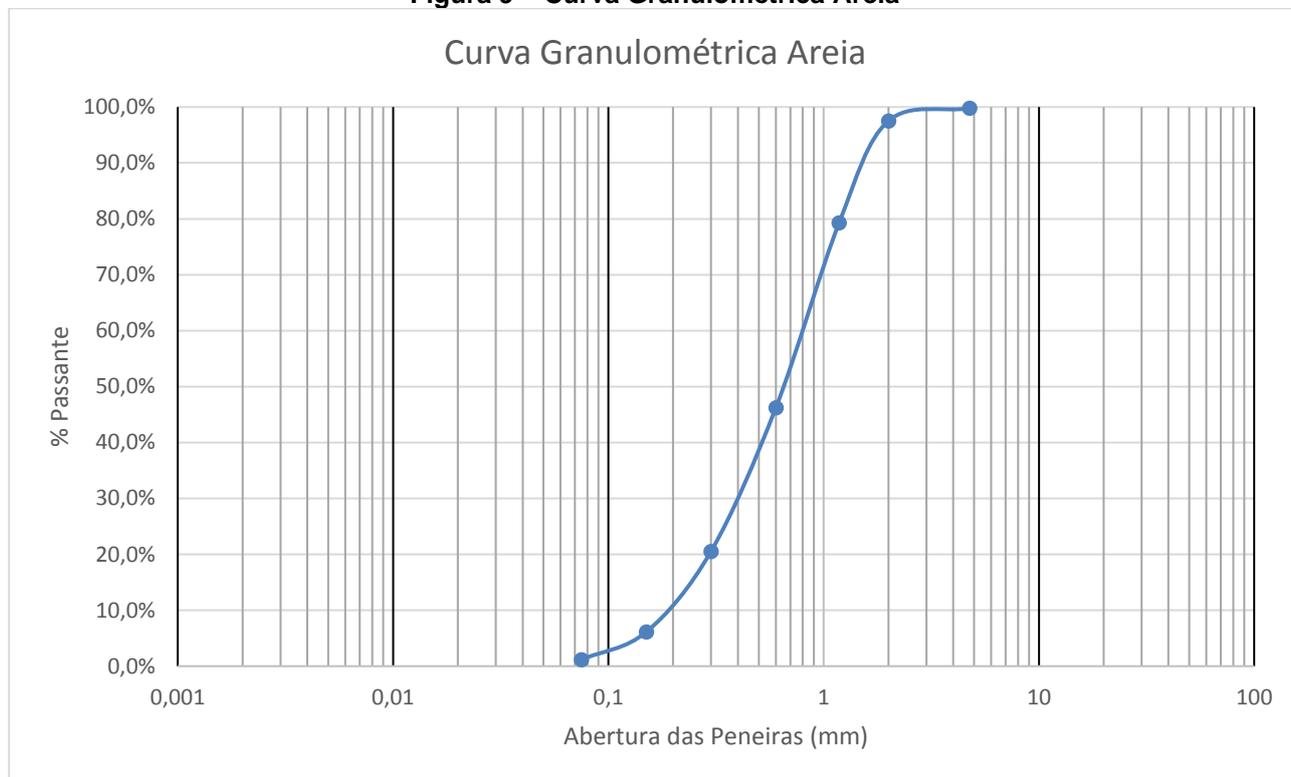
| Peneiras (mm) | Massa Retida (g) | Massa Retida Acumulada (g) | % Passante |
|---------------|------------------|----------------------------|------------|
| 4,76 | 1,1 | 1,1 | 99,8% |
| 2 | 11,4 | 12,5 | 97,5% |
| 1,18 | 91,1 | 103,6 | 79,3% |
| 0,6 | 165,3 | 268,9 | 46,2% |
| 0,3 | 128,4 | 397,3 | 20,5% |

| | | | |
|-------|------|-------|------|
| 0,15 | 72,1 | 469,4 | 6,1% |
| 0,075 | 24,7 | 494,1 | 1,2% |
| Fundo | 5,9 | 500 | 0 |

Fonte: AUTORES, 2023.

A Figura 9 apresenta a curva granulométrica do agregado miúdo, areia.

Figura 9 – Curva Granulométrica Areia



Fonte: AUTORES, 2023.

Para a areia, os resultados obtidos foram os seguintes: módulo de finura igual a 4,9 e diâmetro máximo de 4,76 mm.

Quando comparados os dois agregados, pode-se analisar que o pó de granito apresenta um módulo de finura maior do que a areia.

4.2 SLUMP TEST

Quanto a trabalhabilidade, todas as misturas foram ponderadas conforme as suas propriedades físicas. A Tabela 4 apresenta os resultados do abatimento do “tronco de cone”.

Tabela 4 – Resultado do Slump Test

| Traço | Slump Test (cm) |
|-------|-----------------|
| 0% | 12 |
| 10% | 9 |
| 15% | 8,5 |
| 20% | 8 |

Fonte: AUTORES, 2023.

Pode-se observar, pelos resultados apresentados na Tabela 4, que as misturas contendo resíduos de pó de granito, tiveram comportamento com pouca variação entre si, mas com valores menores, comparados ao de referência, o que adverte que o pó de granito possui uma superfície específica maior, absorvendo uma maior quantidade de água. O pó de granito exibiu características desfavoráveis ao ser misturado com a água, onde seus grãos foram depositados, formando um material pulverulento. Além disso, o material possuía característica viscosa, quando saturado, o que influenciou negativamente na trabalhabilidade da mistura do concreto.

4.3 ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL

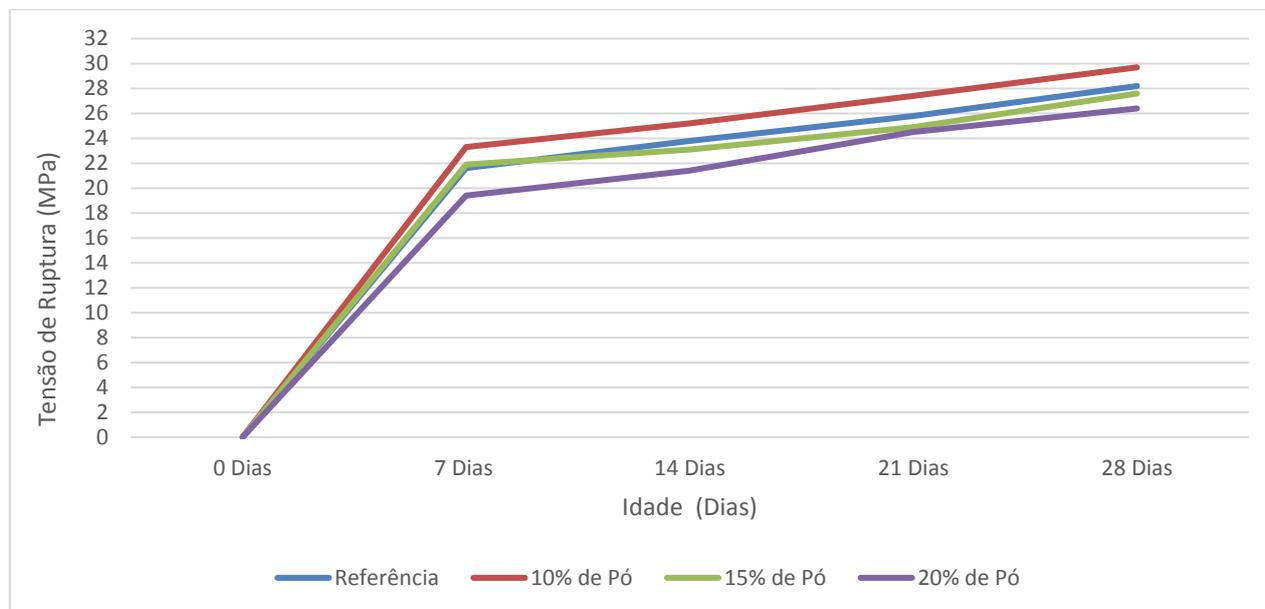
A utilização do pó de granito na composição do concreto afere um comportamento físico-mecânico melhor, pois preenche os vazios, devido ao módulo de finura ser maior que do agregado miúdo natural, conforme o resultado obtido no ensaio de granulometria.

Tabela 5 – Resultado dos ensaios à compressão axial (MPa)

| Idade (dias) | Traço 1 | Traço 2 | Traço 3 | Traço 4 |
|--------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | Concreto com substituição de 0% | Concreto com substituição de 10% | Concreto com substituição de 15% | Concreto com substituição de 20% |
| 7 | 21,6 | 23,3 | 21,9 | 19,4 |
| 14 | 23,8 | 25,2 | 23,1 | 21,4 |
| 21 | 25,8 | 27,4 | 24,9 | 24,5 |
| 28 | 28,2 | 29,7 | 27,6 | 26,4 |

Fonte: AUTORES, 2023.

Figura 10 - Resistência à compressão x Idade dos traços estudados

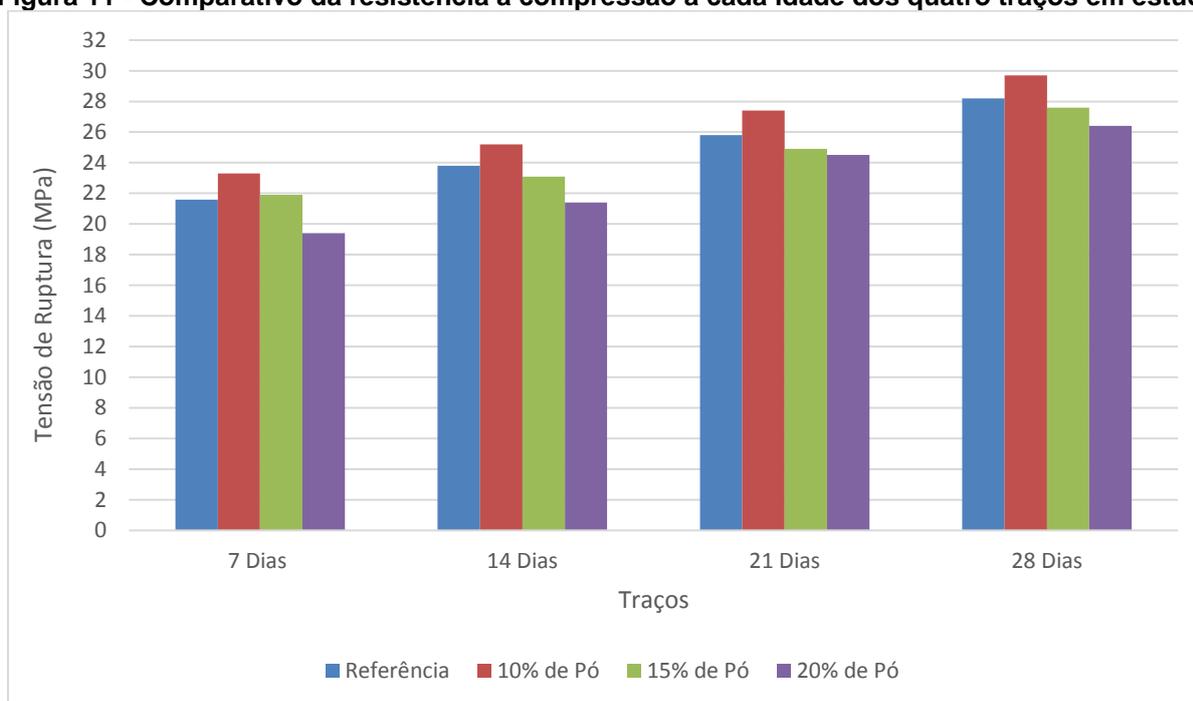


Fonte: AUTORES, 2023.

As misturas contendo 10% de resíduo em sua composição acomodaram ao material uma melhor eficiência mecânica quando comparado ao CP referência, dos quais, chegaram aos 23,3 MPa e 21,6 MPa, aos 7 dias, respectivamente. Entretanto, o resultado

da mistura de referência com 15% e 20% de agregado reciclado atribuiu uma queda na eficiência mecânica aos 28 dias de análise, onde os valores obtidos foram de 27,6 MPa e 26,4 MPa, respectivamente (Tabela 5).

Figura 11 - Comparativo da resistência à compressão a cada idade dos quatro traços em estudo



Fonte: AUTORES, 2023.

Considerando os resultados da Tabela 5 e Figuras 10 e 11, notou-se que as misturas contendo 10% de resíduos combinaram num aumento na resistência à compressão aos 28 dias de 29,7 MPa, aproximadamente 5% maior quando comparado à mistura de referência. Sendo este um valor apropriado diante da apresentação das características físicas dos materiais em estudo. Entretanto, as misturas contendo 15% e 20% de resíduo, observou-se que aos 28 dias de análise, obteve-se resultados 2% e 6% inferiores comparados à resistência da mistura de referência.

Esses comportamentos deram-se devido ao grande percentual de materiais finos presente no material reciclado e à relação água/cimento (a/c), que devido ao maior teor de materiais pulverulentos, apresentou maior absorção de água, dificultando a trabalhabilidade, provocando deficiência de uma coesão melhor e, sobretudo, na concepção de vazios no interior dos corpos de prova, alterando as propriedades mecânicas.

Durante a realização do ensaio de compressão axial dos corpos de prova, foram evidenciados que, a ruptura dos exemplares com presença de pó de granito aconteceu principalmente pela sua base, conforme indicado na figura 12. Sendo assim, a utilização dessa mistura, acaba não sendo indicado para elementos estruturais.

Figura 12 – Ruptura do corpo de prova com adição de pó de granito



Fonte: AUTORES, 2023.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi analisado o comportamento do concreto quanto à utilização de agregados compostos por pó de granito em substituição parcial ao agregado miúdo natural, como alternativa para minimizar os impactos ambientais.

Os corpos de prova contendo 10% de resíduos resultou em uma tensão de ruptura de 29,7 MPa, ou seja, 5% maior quando comparados às misturas de referência. Já os resultados das misturas com 15% e 20% de agregado reciclado possuem resistências inferiores ao de referência, quando analisados aos 28 dias, onde os valores obtidos foram de 27,6 MPa e 26,4 MPa, ou seja, 2% e 6% menores quando comparados as misturas de referência, respectivamente.

Em relação ao ensaio de slump test, as misturas contendo 10%, 15% e 20% de agregados tiveram um abatimento de tronco de cone menor, devido a uma maior absorção de água. A utilização de componentes com maiores teores de materiais pulverulentos pode afetar a trabalhabilidade, devido à elevada superfície específica, mas com uma utilização adequada dos percentuais pode promover os preenchimentos dos vazios no interior da matriz cimentícia, bem como contribuir com o processo de coesão e melhoria das propriedades mecânicas dos materiais à base de cimento.

Apesar de todos os benefícios e melhorias apresentados nesse trabalho, acaba-se sendo inviável a utilização do pó de granito na composição de concreto em larga escala, pois é um material de difícil acesso na nossa região.

O resíduo de granito coletado e estudado foi gerado através do corte. Para realização desse corte é necessário a presença de água. Sendo assim, o pó recolhido contém uma alta concentração de água e devendo ser seco posteriormente. Em larga escala, é inviável recolher todo o material e realizar o processo de secagem, pois necessita de uma estrutura adequada para a realização desse procedimento.

O pó de granito devido ser um material muito pulverulento, deve ser estocado em local totalmente fechado e isolado de agentes externos, como ventos e umidade, para evitar

o desperdício do material. E por fim, a ruptura do concreto com a adição do pó acontece pela sua base, não sendo indicado para elementos estruturais.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1998). **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003), **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – (2015), NBR 5738: **Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015

ABNT – (2018), NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT – (2006), NBR 9479: **Argamassas e concreto – Câmaras Úmidas e Tanques para Cura de Corpos de Prova**. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2017), NBR 16605: **Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica**, Rio de Janeiro, 2017.

ALIABDO, A. A. et al. (2014), Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete. *Construction and Building Materials*. 50(1):28-41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.005>

ALI, M. M., HASHMI, S. M. (2014), An Experimental investigation on strengths characteristics of concretewith the partial replacement of Cement by Marble Powder dust and Sandby Stone duste. *IJSRD – International Journal for Scientific Research & Development*. 2(7):360-368

ARSHAD, A. et al. (2014), The Wastes Utility in Concrete. *International Journal of Environmental Research*. 8(4):1-20. <http://dx.doi.org/10.22059/ijer.2014.825>

AZEVEDO, A. R. G., VIEIRA, C. M. F., FERREIRA, W. M., FARIA, K. C. P., PEDROTI, L. G., MENDES, B. C. (2020), Potential use of ceramic waste as precursor in the geopolymerization reaction for the production of ceramic roof tiles. *Journal of Building Engineering*, 29(1). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101156>

BELINE, E. L., MAFFEI ANGELOTTI, A., COELHO, T. M., & SANTOS, B. D. (2015) *Fundamentos do concreto armado*. Notas de aula, p. 92. Concreto e suas inovações.

BARROS, E., FUCALE, S. (2016), O uso de resíduos da construção civil como agregados na produção de concreto. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*. 2(1). <http://dx.doi.org/10.25286/rep.v2i1.343>

BARROS, P. G. DOS S. Avaliação das propriedades de durabilidade do concreto autoadensável obtido com resíduo De corte de mármore e granito. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2008.

FluxGeo- Revista especializada em rochas ornamentais, equipamentos, etc.
www.fluxgeo.com.br.

GONÇALVES, J. P. Utilização do Resíduo de Corte de Granito (RCG) como Adição para Produção de Concretos. Porto Alegre: Escola de Engenharia de Rio Grande do Sul, 2002.

HEBHOUB, H., AOUN, H., BELACHIA, M., HOUARI, H., GHORBEL, E. (2011), Use of waste marble aggregates in concrete. *Construction and Building Materials*. 25(3):1167-1171. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.09.037>

JOHN, V. M., Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. In: Workshop sobre Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de construção, 1996, São Paulo: PCC-USP, Departamento de Engenharia Civil, p. 21 –30.

KUMAYAMA, R.; ALCÂNTARA, M. A. M.; CRUZ, W. S.; SEGANTINI, A. A. S.. Estudo da viabilidade do emprego de pó de mármore para produção de concreto autoadensável e substituição parcial dos agregados por pérolas de poliestireno expandido (EPS). REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 10, n. 2, p. 56–71, 2015.

LISBÔA, E. M. Obtenção de concreto auto-adensável utilizando resíduo de beneficiamento do mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2004.

LOPES, J. L. M. P.; BACARJI, E.; PAZINI FIGUEIREDO, E. J.; RÊGO, J. H. S.; PEREIRA, A. C. Estudo do potencial de utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG), como fíler, na produção de concretos. III Seminário de Pós-Graduação da UFG, p. 5, 2006.

LOPES, J. L. M. P. Influência da utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG), como fíler, nas propriedades do concreto. Goiânia: Universidade Federal de Goiás-GO, 2007.

MECHTCHERINE, V., MICHEL, A., LIEBSCHER, M., SCHNEIDER, K., GROßMANN, C. (2020), Mineralimpregnated carbon fiber composites as novel reinforcement for concrete construction: material and automation perspectives. *Automation in Construction*. 110(1):1-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103002>

MOHAJERANI, A. et al. (2020), Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: a review. *Resources, Conservation and Recycling*. 155(1). <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104679>

NGUYEN, Q. D., CASTEL, A. (2020), Reinforcement corrosion in limestone flash calcined clay cementbased concrete. *Cement And Concrete Research*. 132(1):1-15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106051>

OLIVEIRA, L. S. DE. Reaproveitamento de resíduos de marmoraria em compósitos cimentícios. São João Del-Rei: Universidade Federla de São João Del-Rei-UFSJ, 2015.

OLIVEIRA, P. S., ANTUNES, M. L. P., CRUZ, N. C., RANGEL, E.C., AZEVEDO, A. R. G., DURRANT, S. F. (2020), Use of waste collected from wind turbine blade production as an eco-friendly ingredient in mortars for civil construction. *Journal of Cleaner Production*. 274(1). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122948>

RODRIGUES, R., BRITO, J., SARDINHA, M. (2015), Mechanical properties of structural concrete containing very fine aggregates from marble cutting sludge. *Construction and Building Materials*. 77(1):349-356. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.104>

RODRIGUES, M. A.; FILHO, J. DE A. M.; SANTOS, W. F. DOS. Utilização dos resíduos de cortes de placas de mármore e granitos como adição na fabricação de concreto autoadensável. *Engenharia, Estudo e Pesquisa*, v. 15, p. 24–41, 2015.

SANTOS, M. M. A.; DESTEFANI, A. Z.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduos de rochas ornamentais provenientes de diferentes processos de corte e beneficiamento. *Revista Materia*, v. 18, n. 4, p. 1442–1450, 2013.

SINGH, M.; CHOUDHARY, K; SRIVASTAVA, A.; SINGH SANGWAN, K.; BHUNIA, D. A study on environmental and economic impacts of using waste marble powder in concrete. *Journal of Building Engineering*, v. 13, n. February, p. 87–95, 2017.

SILVA, C. L. 2008. *Desenvolvimento sustentável – Um modelo analítico, integrado e adaptativo* (2ª ed.). Petrópolis: Vozes.

SHUKLA, A., GUPTA, N., GUPTA, A. (2020), Development of green concrete using waste marble dust. *Materials Today: Proceedings*. 26(1):2590-2594. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.548>