

## Estudo da Influência do Uso de Resíduos de Marmoraria no Desempenho de Concretos

### Study on Influence of Marble and Granite Waste Utilization on The Performance of Concrete

Joyce Alves Santana<sup>1\*</sup>

Lígia Silva do Nascimento<sup>1</sup>

Riterson Jacques Nunes<sup>2</sup>

**Resumo:** A construção civil é um dos setores que mais contribui para o desenvolvimento econômico e social do país, no entanto, é responsável por um grande impacto ambiental, em especial na geração de resíduos. Além dos resíduos gerados a partir da realização das atividades ligadas diretamente à construção civil, há os resíduos provenientes do beneficiamento de materiais empregados no setor, como por exemplo, as rochas ornamentais. Por este motivo, é indispensável buscar alternativas e novas tecnologias de reaproveitamento desses resíduos, a fim de minimizar o consumo de recursos naturais e a disposição incorreta desses materiais na natureza. O trabalho buscou incorporar os resíduos de marmoraria no concreto, material com grande demanda de uso, e realizar um comparativo entre as propriedades do concreto produzido sem a incorporação do resíduo e as dos concretos com adição e substituição, nos teores de 5%, 7,5% e 10% em relação ao cimento. Avaliando os resultados obtidos, considerando as propriedades físicas e mecânicas dos concretos com a incorporação, verificou-se um melhor desempenho nas amostras com teor de 5% de adição em relação à massa de cimento, uma vez que os valores de resistência à compressão aos 28 dias foram ligeiramente menores que os do concreto de referência e a porosidade apresentou resultados de absorção de água e índice de vazios menores que o do concreto de referência, o que pode propiciar maior durabilidade ao material. Dessa forma, o trabalho apresentou resultados interessantes que viabilizam a incorporação de resíduos de marmoraria na produção de concretos, bem como novos estudos sobre o tema.

**Palavras-Chave:** Rochas ornamentais. Marmoraria. Resíduos. Concreto. Reaproveitamento.

**Abstract:** *Civil construction is one of the sectors that most contributes to the economic and social development of the country, however, it is responsible for a*

---

<sup>1</sup>Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE – Faculdade de Engenharia de Presidente Prudente

<sup>2</sup>Companhia Urbanizadora e de Habitação de Belo Horizonte

\*autora correspondente: santana.joycealves@gmail.com

---

*great environmental impact, especially in the generation of waste. In addition to the waste generated from carrying out activities directly linked to civil construction, there is waste from the processing of materials used in the sector, such as ornamental stones. For this reason, it is essential to seek alternatives and new technologies for the reuse of these wastes, in order to minimize the consumption of natural resources and the incorrect disposal of these materials in nature. The work sought to incorporate the marble residues in the concrete, a material with great demand for use, and to make a comparison between the properties of the concrete produced without the incorporation of the residue and those of the concretes with addition and substitution, in the contents of 5%, 7,5%, 10% in relation to the cement. Evaluating the results obtained, considering the physical and mechanical properties of the concretes with the incorporation, a better performance was verified in the samples with 5% of addition in relation to the cement mass, since the values of compressive strength at 28 days were slightly smaller than those of the reference concrete and the porosity presented results of water absorption and void index lower than that of the reference concrete, which provides greater durability to the material. In this way, the work presented interesting results that enable the incorporation of marble residue in the production of concrete, as well as new studies on the subject.*

**Keywords:** *Ornamental rocks. Marble shop. Waste. Concrete. Reuse.*

## 1. Introdução

A indústria da construção civil é altamente reconhecida para o desenvolvimento econômico e social de uma civilização, pois trata-se do setor que mais influencia na economia de um país, de acordo com os dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2019). Todavia, esse setor é responsável por um grande impacto ambiental, pela alta demanda de matéria prima e por ser um grande gerador de resíduos.

Além dos resíduos gerados diretamente pela construção, outra problemática são os resíduos gerados na produção de materiais empregados no setor, como por exemplo, as rochas ornamentais. As rochas ornamentais possuem grande utilidade, sendo aplicadas em diversos segmentos da construção civil em elementos como bancadas, balcões, soleiras, pias, revestimentos, entre outros. Sendo assim, devido ao alto consumo desses materiais, são geradas grandes quantidades de resíduos durante o processo de beneficiamento para a obtenção desses produtos.

As rochas ornamentais englobam um setor representativo no cenário econômico brasileiro, com grande participação nos índices de exportação e importação do país. Porém, durante o processo de beneficiamento são geradas grandes quantidades de resíduos, que muitas vezes são descartados em locais inapropriados, não recebendo a destinação ambientalmente correta.

Considerando a quantidade de resíduos de rochas ornamentais produzidas no Brasil, e as suas propriedades físicas e químicas, é necessário buscar formas para reciclar ou reutilizar esses resíduos e impedir que sejam descartados de forma incorreta na natureza. A construção civil é um ramo que busca materiais alternativos para utilização, visando o menor custo, durabilidade e inovação. Nesse quesito, o concreto é um material que possibilita a aplicação dos conceitos de sustentabilidade, uma vez que permite a incorporação de resíduos. Sendo assim, uma solução encontrada é aplicar os resíduos de rochas ornamentais em materiais de grande demanda de uso como o concreto.

Neste contexto, o presente trabalho buscou avaliar a influência da incorporação de resíduos de marmoraria no desempenho de compósitos de concreto, em teores de 5%, 7,5% e

---

10% em relação à massa cimentícia, por meio de adições e substituições.

## 2. Referencial teórico

### 2.1 Resíduos de rochas ornamentais

De acordo com Oliveira (2009), a quantidade de resíduos gerados na marmoraria é em média 25% do volume consumido. Sendo assim, adotando esse percentual e considerando os dados fornecidos pelo ABIROCHAS (CHIODI FILHO, 2021), que apresenta uma produção de 6 milhões de toneladas de rochas ornamentais no ano de 2020, apenas para o consumo do mercado interno brasileiro, pode-se afirmar que foram gerados cerca de 1,5 milhão de tonelada de resíduos nesse mesmo ano.

As rochas ornamentais possuem fácil modelagem e apresentam boa aparência estética, fatores que possibilitam a produção de diversos produtos a partir do seu beneficiamento. Durante o processo de beneficiamento ocorrem diversas perdas, como filetes que sobram, placas que se quebram durante o corte ou o transporte, além de pedaços menores advindos do processo do corte que não são utilizados ou reaproveitados. Na maioria das vezes, esses resíduos são descartados em caçambas, próximos à serra cortadeira ou no pátio da empresa, até gerar um acúmulo, serem recolhidos e descartados em aterros sanitário, ou em muitos casos, em locais inapropriados (SANTOS, 2020).

As adições têm como objetivo somar ou substituir de forma parcial o cimento na produção do concreto. De acordo com a sua ação físico-química no concreto, as adições minerais são classificadas no grupo de materiais pozolânicos, materiais cimentantes e filer (MEHTA *et al.*, 1994).

Os resíduos de granito em especial, quando moídos geram agregados de ótima qualidade, sendo resistentes, com baixa porosidade e absorção de água, além de não reagirem com os álcalis do concreto de cimento Portland (SANTOS *et al.*, 2012).

### 2.2 Estudos anteriores

Atualmente, o campo de pesquisa é contemplado com diversos estudos que buscam soluções ambientalmente corretas para a destinação de resíduos. Entre eles objetiva-se a reutilização de materiais por meio de incorporação em insumos de grande demanda de uso, como o concreto.

Dentre os estudos realizados, citam-se os trabalhos desenvolvidos por Pereira (2016), Figueiredo (2019) e Petry *et al.* (2017), que avaliaram as propriedades físicas e mecânicas dos concretos produzidos com a incorporação de resíduos de marmoraria.

Pereira (2016), no trabalho intitulado “Influência do uso dos resíduos de corte de granito como filer no desempenho do concreto”, avaliou o desempenho do concreto com adição de granito nos teores de 5% e 10% em relação à massa cimentícia, e comparou com o desempenho do concreto sem incorporação. A comparação foi feita através dos valores encontrados para consistência, resistência mecânica à compressão, módulo de elasticidade e porosidade. Utilizou-se o cimento CP V-ARI e o traço 1:2:3 em massa, com a relação água/cimento de 0,55.

Em relação à consistência e à resistência à compressão, constatou-se que o teor de 10% de adição apresentou melhor desempenho. Quanto ao módulo de elasticidade, o teor de 5% evidenciou uma diminuição em relação ao concreto de referência. Já as amostras com 10% de adição não apresentaram grande variação. No que se refere à porosidade, os valores médios encontrados para a absorção dos concretos com adição de filer foram ligeiramente maiores que o valor encontrado para o concreto sem incorporação.

O trabalho de Figueiredo (2019) consistiu na incorporação de resíduo de marmoraria,

proveniente do corte das chapas, no concreto, por meio de substituição em relação à massa de cimento. Na produção dos concretos utilizou-se cimento CP V-ARI e o Aditivo Plastificante MAXIMENT PXT 74 na proporção de 730 mL por m<sup>3</sup> de concreto.

No estado fresco, em relação à consistência e, no estado endurecido, quanto à resistência à compressão, destacou-se o desempenho do concreto com teor de 7,5% de substituição. Nesse estudo, foi realizado o ensaio de resistência à tração e obteve-se um melhor desempenho para o concreto com 5% de substituição de resíduo. Em relação à absorção de água, os resultados evidenciaram uma melhoria, de o aumento do teor de substituição do resíduo. Portanto, o trabalho chegou à conclusão que a incorporação do resíduo no concreto apresentou melhoria no desempenho físico e mecânico nos teores 5% e 7,5%.

Outro estudo, utilizando resíduos de marmoraria na produção de concretos, foi realizado por Petry *et al.* (2017). Nessa pesquisa, foram testados teores de 10% e 20% de adição dos resíduos, em massa, com relação à quantidade de cimento. Utilizou-se nesse estudo o cimento Portland II Z e foram definidos três traços, com três relações água/cimento distintas, sendo eles para o concreto de referência, 1:3,5 com a/c 0,40, 1:5 com a/c 0,51 e 1:6,5 com a/c 0,64, todos com o teor de argamassa de 55% e abatimento estipulado de 100±20 mm para todos os traços.

Em relação à resistência à compressão axial, os concretos produzidos com a adição do resíduo nos dois teores estudados apresentaram uma redução, quando analisados de forma isolada, conforme destaca o autor em seu estudo. As amostras com adição de resíduo apenas propiciaram um ligeiro aumento na resistência à compressão no teor de 20% para os concretos com maior relação água/cimento.

Para a análise da porosidade do concreto, o autor realizou o ensaio de absorção de água por capilaridade e constatou que concretos com maior relação água/cimento apresentaram maior absorção. Todavia, o teor de adição de 10% de resíduos propiciou uma melhoria nessa propriedade, visto que de um modo geral o emprego do resíduo reduziu a absorção. Já o teor de adição de 20% resultou em uma absorção maior que do concreto de referência.

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1 Caracterização dos materiais

Para a produção dos concretos utilizou-se cimento, agregado graúdo, agregado miúdo, resíduo de marmoraria em pó e água fornecida pela concessionária local. O cimento utilizado foi o CP II F. A fim de caracterizá-lo, foi realizado o ensaio para a determinação da massa específica de acordo com a norma ABNT NBR 16605 (2017). A massa específica calculada pode ser vista na Tabela 1.

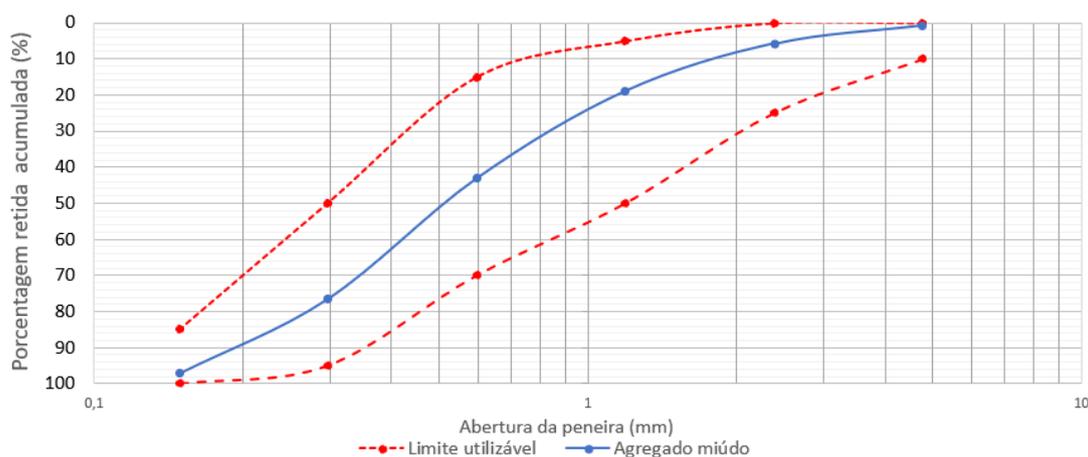
**Tabela 1.** Massa específica do cimento.

Massa (g)	Medida inicial (cm <sup>3</sup> )	Medida final (cm <sup>3</sup> )	Vol. deslocado (cm <sup>3</sup> )	Massa esp. (g/cm <sup>3</sup> )
60	0,3	18,6	18,3	3,28

Como agregado miúdo, foi utilizada a areia natural média comercial, comumente empregada nas obras. A caracterização do agregado miúdo foi feita a partir da realização do ensaio de determinação da composição granulométrica, conforme a norma ABNT NBR NM 248 (2003), e da determinação da massa específica, por meio do ensaio da norma ABNT NBR

NM 52 (2009).

O agregado miúdo apresentou dimensão máxima característica de 4,76 mm, módulo de finura de 2,43 e massa específica de 2,64 g/cm<sup>3</sup>. A partir dos resultados do ensaio de granulometria do agregado miúdo, traçou-se a curva granulométrica e verificou-se que o agregado se encontrava dentro da zona utilizável estabelecida pela ABNT NBR 7211 (2009), como pode ser visto na Figura 1.



**Figura 1.** Curva e limites utilizáveis da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Por sua vez, como agregado graúdo foi utilizada a brita com dimensão máxima de 19 mm do tipo basáltica. A caracterização foi feita a partir da realização do ensaio de determinação da composição granulométrica, conforme a norma ABNT NBR NM 248 (2003) e da determinação da massa específica e absorção de água, por meio do ensaio da norma ABNT NBR NM 53 (2009). O agregado graúdo apresentou dimensão máxima característica de 19 mm, massa específica de 2,71 g/cm<sup>3</sup> e absorção de água de 3,75%.

O resíduo de marmoraria utilizado foi inicialmente coletado na forma de filetes. Em seguida, as peças foram quebradas em pedaços menores com o auxílio de um martelo. Posteriormente, o material foi submetido a um moinho pulverizador de panela da marca Marconi, por cerca de 12 minutos. O produto de cada etapa da sequência citada pode ser visto na Figura 2.

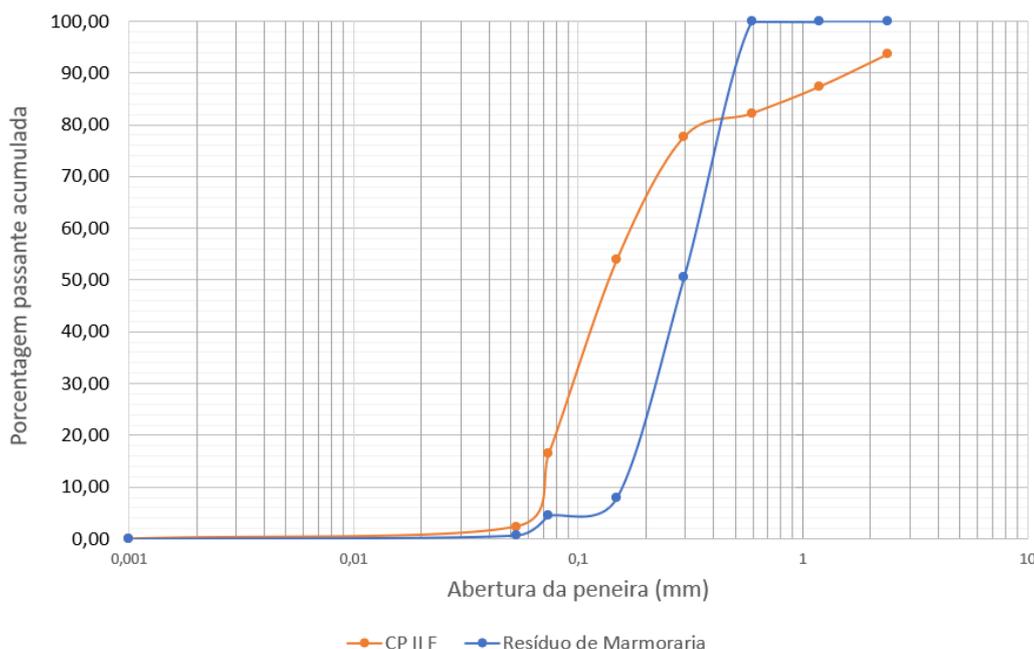


**Figura 2.** Resíduo de marmoraria.

Após a moagem, o material foi submetido ao ensaio de granulometria, de acordo com a norma ABNT NBR NM 248 (2003). Na produção dos concretos, foi utilizado apenas o material retido e passante na peneira com abertura #50, correspondente a 0,297 mm. O resíduo

apresentou dimensão máxima característica de 0,595 mm e módulo de finura de 1,41.

A fim de identificar se o material utilizado poderia ser caracterizado como filer, foi realizada a comparação entre a granulometria do resíduo de marmoraria e do cimento. Realizou-se o ensaio de granulometria do cimento utilizando a mesma metodologia empregada no ensaio do resíduo. Dessa forma, foi possível traçar a curva granulométrica de ambos materiais e realizar a comparação. As curvas granulométricas do resíduo de marmoraria e do cimento utilizados na produção dos concretos podem ser vistas na Figura 3.



**Figura 3.** Curvas granulométricas do resíduo de marmoraria e do cimento.

A comparação entre a granulometria dos grãos do cimento e do resíduo foi feita a partir da determinação dos valores dos diâmetros característicos de cada material. Por meio das curvas granulométricas, foram determinados três valores de diâmetros característicos, sendo eles:  $D_{10}$ ,  $D_{50}$  e  $D_{90}$ . Os valores encontrados estão expostos na Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores de diâmetros característicos do resíduo de marmoraria e do cimento.

Material	$D_{10}$ (mm)	$D_{50}$ (mm)	$D_{90}$ (mm)
Resíduo	0,17	0,29	0,49
CP II F	0,07	0,14	1,70

Segundo Gomes (2010), os parâmetros  $D_{10}$  e  $D_{90}$ , estão relacionados aos diâmetros de corte da curva de distribuição acumulada em 10% e 90%, respectivamente, já o parâmetro  $D_{50}$  está relacionado à mediana da distribuição e corresponde ao diâmetro médio de partícula ( $D_m$ ). Dessa forma, foi possível verificar que  $D_{10}$  e  $D_{50}$  do resíduo são maiores que do cimento, enquanto que o valor de  $D_{90}$  é menor. Considerando que  $D_{50}$  corresponde ao diâmetro médio das partículas, no geral, o resíduo de marmoraria apresenta a maioria dos grãos com diâmetros superiores aos do cimento, sendo assim, o resíduo utilizado não pode ser caracterizado como filer.

De acordo com Dal Molin (2011), quando se adiciona ao cimento um material que possui diâmetro médio menor ou igual ao do cimento, esse material pode realizar o efeito microfíler, gerando aumento da sua densidade e coesão. Além disso, essa adição pode auxiliar

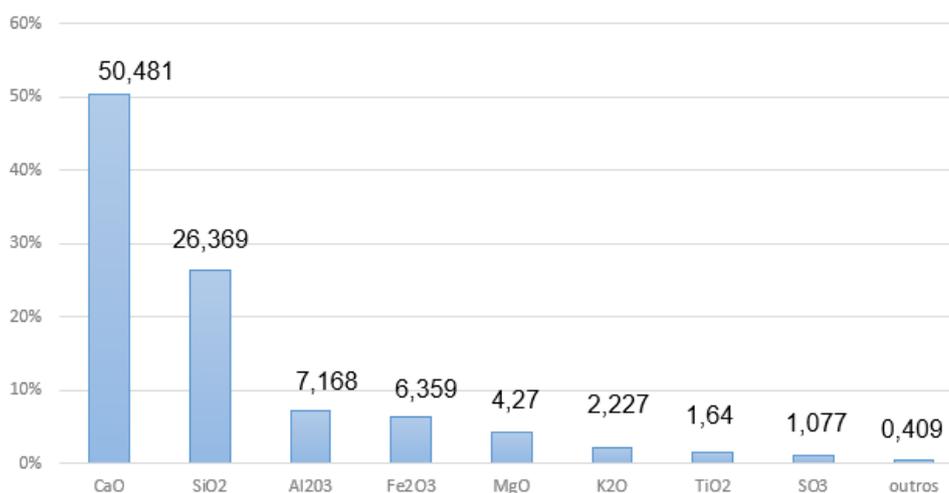
na redução do acúmulo de água sob os agregados, na diminuição da exsudação e no preenchimento dos vazios. Apesar do diâmetro médio das partículas do resíduo ser maior que o do cimento, por meio do ensaio granulométrico, percebe-se que parte da amostra do resíduo utilizado apresenta diâmetro igual ou inferior ao do cimento.

Outra percepção dessa questão, fundamenta-se na definição de filer por Hagemann (2011). Segundo o autor, o filer é um material muito fino, com graduação variando entre 0,005 e 0,075 mm, composto por grãos da mesma grandeza do cimento. Considerando a faixa granulométrica supracitada e com base nos resultados do ensaio de granulometria do resíduo de marmoraria, a amostra apresenta cerca de 4,46% de massa retida nessa faixa de granulometria, ou seja, apesar de pouca quantidade, ainda assim, o material apresenta grãos com a granulometria do filer.

Além do ensaio de granulometria, o resíduo foi submetido ao ensaio de Fluorescência por Raio X (FRX), visto que identificar os componentes constituintes de um material, assim como as quantidades presentes, é de suma importância para o entendimento de suas propriedades e características. Dessa forma, por meio do ensaio de FRX, foi possível identificar as quantidades dos componentes químicos presentes na amostra do resíduo.

Verificou-se que o material utilizado é constituído em sua maioria por Óxido de Cálcio (CaO), Sílica (SiO<sub>2</sub>), Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Óxido de Ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Óxido de magnésio (MgO), os quais são os principais componentes do cimento Portland. Além disso, outros componentes químicos foram encontrados em menores quantidades, como o Trióxido de Enxofre (SO<sub>3</sub>), Óxido de Potássio (K<sub>2</sub>O), Óxido de Titânio (TiO<sub>2</sub>) e outros. A Figura 4 destaca os componentes químicos presentes na amostra do resíduo submetida ao ensaio de FRX e suas quantidades percentuais.

Conforme Silva *et al.* (2015), o granito apresenta como componente mineralógico principal a Sílica (SiO<sub>2</sub>). Já o mármore, de acordo com Aguiar *et al.* (2016), apresenta em maior quantidade o Óxido de Cálcio (CaO). Dessa forma, por apresentar maior porcentagem de CaO, é possível constatar que o resíduo utilizado é composto, em sua maior parte, por mármore.



**Figura 4.** Porcentagem dos componentes químicos presentes na amostra de resíduo.

Segundo Peruzzi (2002), alguns componentes químicos possuem limites a fim de proporcionar segurança e qualidade durante a produção e uso dos cimentos. Um exemplo é o teor de Trióxido de Enxofre que deve ser inferior a 4%, pois este composto é instável, corrosivo e extremamente reagente com a água. Além disso, os teores de Óxido de Magnésio (MgO) devem ser inferiores a 6,5%, pois quando em grandes quantidades no cimento, durante a

hidratação, transforma-se lentamente em Hidróxido de Magnésio -  $Mg(OH)_2$ , expandindo-se e gerando tensões internas suficientes para provocar trincas e fissuras em argamassas e concretos. Portanto, é possível verificar que as quantidades de Trióxido de Enxofre ( $SO_3$ ) e Óxido de Magnésio ( $MgO$ ) estão de acordo com tais parâmetros. Dessa forma, provavelmente a incorporação dos resíduos de marmoraria não promoveu os efeitos supracitados.

### 3.2 Moldagem dos corpos de prova

Na produção dos concretos utilizou-se o traço 1:2:3:0,56. Acerca do resíduo de marmoraria, foram feitas adições e substituições em relação à massa cimentícia na proporção 0%, 5%, 7,5% e 10%, prevendo resistência mínima no valor de 25 MPa.

A Tabela 3 apresenta o quantitativo de material calculado para uma betonada do concreto para cada teor de incorporação. Após definidas as quantidades dos materiais necessários para a produção dos concretos, iniciou-se a produção e a moldagem dos corpos de prova.

Em uma betoneira de 400 litros, adicionou-se a brita e 25% da água e deixou-se misturar. Em paralelo, no recipiente do cimento, adicionou-se a quantidade de resíduo da incorporação, misturando a fim de torná-lo homogêneo. Em seguida, o cimento misturado com o resíduo foi adicionado à mistura da betoneira juntamente com 50% da água, deixou-se misturar por mais um período.

Posteriormente, foi adicionada a areia e manteve-se o processo de mistura. Por fim, foram adicionados os 25% restantes de água e deixou-se a mistura homogeneizando. A moldagem dos corpos de prova foi feita em 3 dias distintos. Logo após a produção da massa de concreto, realizou-se o teste de abatimento do tronco de cone, de acordo com a norma ABNT NBR 16889 (2020).

Em seguida, a massa foi depositada nos cilindros e estes receberam um processo de vibração para um bom adensamento. Assim, foi concluída a moldagem dos corpos de prova. Imediatamente, após sua moldagem, foram armazenados em local protegido de intempéries, onde foram mantidos pelo período de 24 horas para realização do processo de cura inicial. Após o tempo decorrido, os corpos de prova foram desmoldados e armazenados em uma câmara úmida com temperatura média de 23 °C e umidade relativa do ar superior a 95%, para realização do processo de cura, conforme o processo descrito na ABNT NBR 5738 (2015).

**Tabela 3.** Quantitativo dos materiais conforme o teor de incorporação.

Amostra	Quantidade (kg)						
	Teor	Cimento	Areia	Brita	Resíduo	Água	A/C
Sem incorporação	0%	7,40	14,80	22,20	0,000	4,15	0,56
Adição	5%	7,40	14,80	22,20	0,370	4,15	0,56
Adição	7,50%	7,40	14,80	22,20	0,555	4,15	0,56
Adição	10%	7,40	14,80	22,20	0,740	4,15	0,56
Substituição	5%	7,030	14,80	22,20	0,370	4,15	0,59
Substituição	7,50%	6,845	14,80	22,20	0,555	4,15	0,61
Substituição	10%	6,660	14,80	22,20	0,740	4,15	0,62
<b>Total</b>		<b>50,14</b>	<b>103,60</b>	<b>155,40</b>	<b>3,33</b>	<b>29,05</b>	<b>-</b>

### 3.3 Ensaios para avaliação do desempenho dos concretos

#### 3.3.1. Consistência

Para avaliação do desempenho do concreto no estado fresco foi realizado o ensaio da norma ABNT NBR 16889 (2020), como citado anteriormente na moldagem dos corpos de provas. Na Figura 5 é possível visualizar uma das medições realizadas.

#### 3.3.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão de um corpo de prova de concreto indica a tensão última que este é capaz de suportar. Para a realização do ensaio de compressão é necessário promover a regularização da superfície do corpo de prova e possibilitar a distribuição uniforme da carga. Assim, foi feito o capeamento dos corpos de prova com enxofre e os ensaios para determinar a resistência à compressão foram realizados segundo os requisitos da norma ABNT NBR 5739 (2018). Foram utilizados três corpos de prova de cada teor de incorporação do resíduo, com 7 e 28 dias. Nestas idades, após receber o capeamento, os corpos de prova foram submetidos à carga da prensa, a qual apresentou o valor da força máxima suportada pelo corpo de prova antes de romper, em kgf. Com base na área do corpo de prova, foi determinada a tensão à compressão suportada pelo CP em MPa. Em seguida, calculou-se a média aritmética entre os valores da resistência à compressão apresentados pelos três corpos de prova e essa média foi adotada como referência. Na Figura 6, é possível observar um dos corpos de prova após atingir a tensão de ruptura.

A fim de verificar a influência dos resíduos de marmoraria na porosidade dos concretos produzidos, foram realizados os ensaios para determinação da absorção de água por imersão de acordo com a norma ABNT NBR 9778 (2005). Foram utilizados três corpos de prova para cada teor de resíduo, na idade de 28 dias. Primeiramente, os corpos de prova foram mantidos na estufa por um período de 72 horas, como pode ser visto na Figura 7.



**Figura 5.** Ensaio de abatimento do tronco de cone.

#### 3.3.3 Massa específica, índice de vazios e absorção de água

Após decorrido o tempo, os corpos de provas foram retirados da estufa e tiveram suas massas aferidas ( $M_s$ ). Em seguida, os mesmos foram imersos em um balde com água, por um período de 72 horas, para atingir a saturação. Após esse intervalo de tempo, foram aferidas as massas dos corpos de provas ( $M_{sat}$ ), inclusive as massas imersas ( $M_i$ ), como mostra a Figura 8.

Por fim, foram calculados os índices de absorção de água, massa específica da amostra seca,

massa específica da amostra saturada e índice de vazios.



**Figura 6.** Corpo de prova após a ruptura.



**Figura 7.** Corpos de prova na estufa.



**Figura 8.** Aferição da massa imersa do corpo de prova.

### 3.3.4 Métodos para análise estatística dos resultados

Os resultados da análise da resistência à compressão, absorção de água, índice de vazios e massa específica real foram tratados estatisticamente através da Análise de Variância (ANOVA) e, posteriormente, submetidos ao teste Tukey. Esse tratamento foi feito com auxílio do Software Excel e com nível de significância  $\alpha = 5\%$ .

A Análise de Variância é um método usado para comparar as variâncias entre as médias de grupos distintos, verificando se há diferenças consideráveis, estatisticamente, entre os resultados de cada ensaio. Ela testa duas hipóteses, nula ( $H_0$ ) ou alternativa ( $H_1$ ), onde na primeira não há diferença significativa, enquanto na segunda, há diferença de pelo menos uma entre os valores. Ocorrendo tal diferença, prossegue-se para o teste Tukey, que verifica as médias em duplas, constatando em quais delas existem diferenças significantes.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Concreto no estado fresco

O ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone apresentou os resultados contidos na Tabela 4.

**Tabela 4.** Abatimento do tronco de cone.

Resíduo	Abatimento (mm)	
	Substituição	Adição
0%	72	72
5%	77	55
7,50%	28	175
10%	95	160

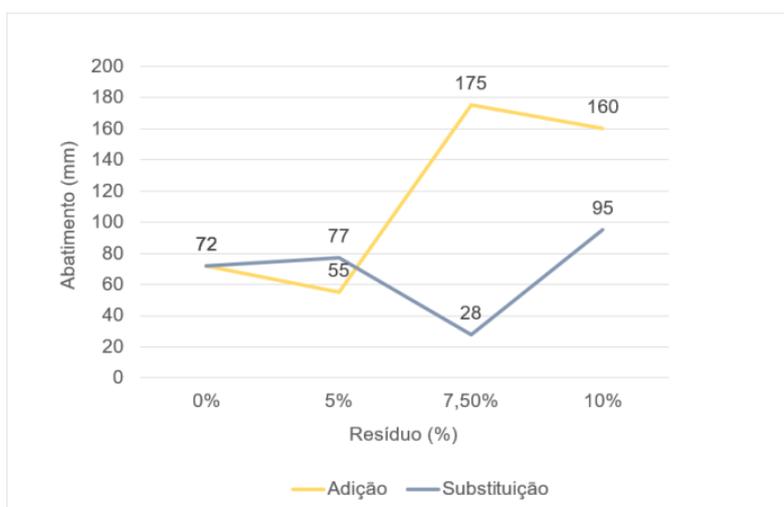
De acordo com os resultados encontrados, observou-se que as amostras com teores de 10%, tanto na substituição, quanto na adição, apresentaram uma diminuição na consistência, ou seja, um aumento na plasticidade do concreto, quando comparado com a amostra sem incorporação. Os demais teores de incorporação não apresentaram o mesmo comportamento. A Figura 9 apresenta a variação do abatimento de tronco de cone, conforme o teor de resíduo. Quanto às variações nos resultados, pode ser levado em conta que as condições às quais a

mistura foi exposta durante a sua produção, como calor e insolação, podem ter interferido na sua consistência.

## 4.2 Concreto no estado endurecido

### 4.2.1 Resistência à compressão axial

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão axial na idade de 7 e 28 dias para as amostras com substituição de resíduo estão expostos nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. Já os resultados para as amostras de adição do resíduo podem ser vistos nas Tabelas 7 e 8, nas idades de 7 e 28 dias, respectivamente. Foram produzidos gráficos que apresentam a comparação da resistência à compressão ao longo do tempo de cura, evidenciando os valores encontrados com 7 e 28 dias de idade. O comparativo foi feito tanto para os teores de substituição, quanto de adição, e estes valores podem ser vistos, respectivamente, nas Figuras 10 e 11. Pela análise estatística, os resultados obtidos pela substituição não apresentaram diferenças significativas quando comparados com o concreto de referência, em ambas idades. Adicionalmente, os resultados para 7 dias foram próximos, exceto para o teor de 10%, que apresentou uma discrepância dos demais valores, atingindo uma diferença de 33,37% para o concreto de referência. Já aos 28 dias de idade, os valores obtidos pelos teores de substituição foram todos próximos, porém, menores em até 24,21%, quando comparados ao concreto sem incorporação de mesma idade.



**Figura 9.** Gráfico do abatimento de tronco de cone pelo teor de resíduo.

**Tabela 5.** Resistência à compressão dos concretos de substituição aos 7 dias.

% Resíduo	fcm (MPa)	DP	CV (%)	Estatisticamente diferente de 0%?
0%	18,46	1,96	10,59%	-
5,0%	17,09	0,27	1,60%	Não
7,5%	16,19	3,18	19,61%	Não
10,0%	12,30	1,37	11,17%	Não

**Tabela 6.** Resistência à compressão dos concretos de substituição aos 28 dias.

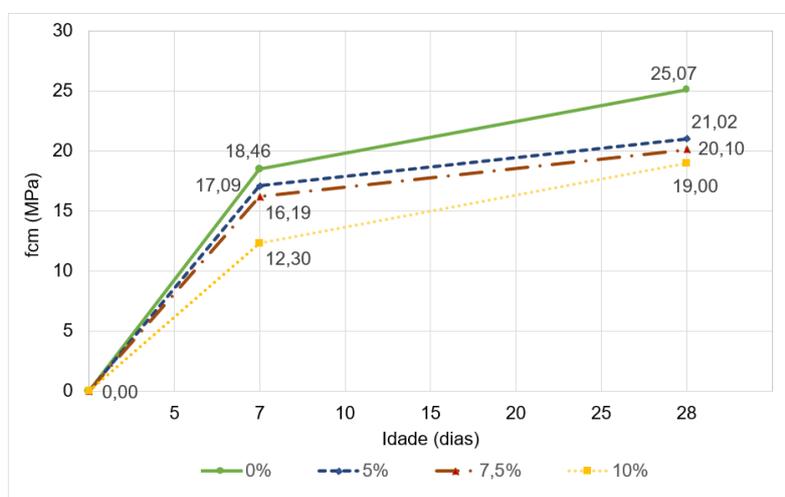
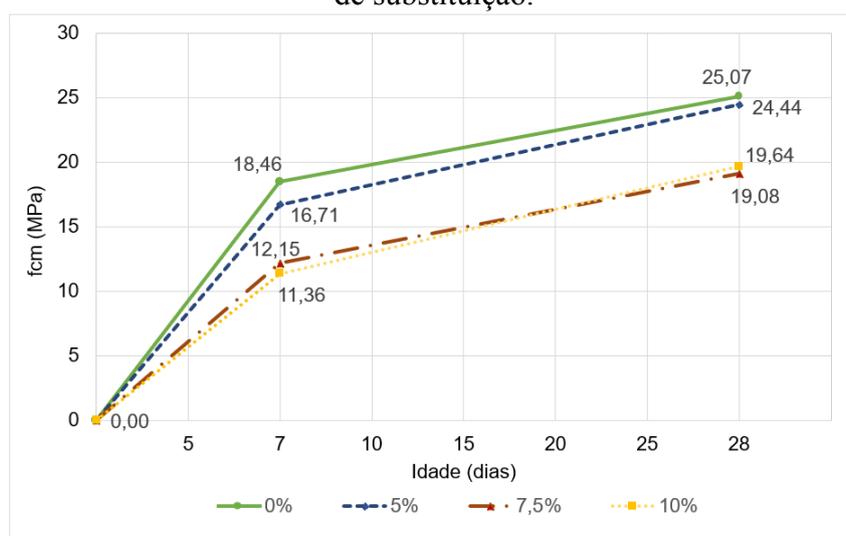
% Resíduo	fcm (MPa)	DP	CV (%)	Estatisticamente diferente de 0%?
0%	25,07	1,43	5,70%	-
5%	21,02	3,62	17,25%	Não
7,5%	20,10	1,35	6,73%	Não
10%	19,00	0,63	3,29%	Não

**Tabela 7.** Resistência à compressão dos concretos de adição aos 7 dias.

% Resíduo	fcm (MPa)	DP	CV (%)	Estatisticamente diferente de 0%?
0%	18,56	1,96	10,56%	-
5%	16,71	2,13	12,74%	Não
7,5%	12,15	1,40	11,56%	Sim
10%	11,36	1,73	15,26%	Sim

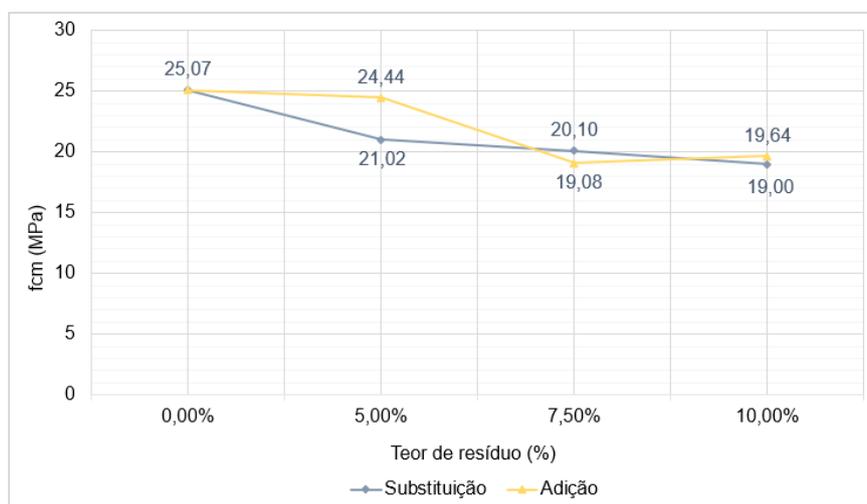
**Tabela 8.** Resistência à compressão dos concretos de adição aos 28 dias.

% Resíduo	fcm (MPa)	DP	CV (%)	Estatisticamente diferente de 0%?
0%	25,07	1,43	5,70%	-
5%	24,43	0,19	0,79%	Não
7,5%	19,08	0,83	4,36%	Sim
10%	19,64	2,61	13,29%	Sim

**Figura 10.** Comparativo entre as resistências à compressão ao longo do tempo para amostras de substituição.**Figura 11.** Comparativo entre as resistências à compressão ao longo do tempo para as amostras de adição.

Para as amostras com adição de resíduo, o teor de 5% apresentou um comportamento

próximo ao concreto de referência, com diferenças de 9,97% e 2,55%, respectivamente para 7 e 28 dias. Desta forma, os demais teores foram muito próximos entre si, porém, significativamente diferentes do concreto de referência. A Figura 12, apresenta uma comparação entre os valores obtidos de resistência à compressão, para as matrizes de adição e de substituição, aos 28 dias de idade.



**Figura 12.** Variação da resistência à compressão - Substituição x Adição aos 28 dias de idade.

Comparando os resultados de resistência à compressão aos 28 dias de idade, observou-se que, apenas o teor de 5% em adição não apresentou uma queda de resistência na mesma magnitude das demais amostras. Dessa forma, quanto à resistência à compressão, a amostra que apresentou o melhor desempenho foi de 5% de adição do resíduo, visto que não houve diferença estatisticamente do concreto sem incorporação e não ocorreu uma diminuição brusca da resistência. Todavia, cabe destacar que nenhum teor de substituição apresentou resultados estatisticamente diferentes do concreto de referência, mesmo que todas as amostras tenham apresentado desempenho inferior.

#### 4.2.1 Absorção de água, índice de vazios e massa específica real

Os resultados obtidos do ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica seca estão apresentados nas Tabelas 9 e 10, para as amostras de substituição e adição, respectivamente.

**Tabela 9.** Absorção de água dos concretos de substituição com 28 dias de idade.

% Resíduo	Absorção (%)	DP	CV (%)	Estatisticamente diferente de 0%?
0%	9,75	0,27	2,81%	-
5,0%	9,69	0,24	2,52%	Não
7,5%	9,24	0,05	0,49%	Não
10,0%	9,98	0,48	4,84%	Não

**Tabela 10.** Absorção de água dos concretos de adição com 28 dias de idade.

% Resíduo	Absorção (%)	DP	CV (%)	Estatisticamente diferente de 0%?
0%	9,75	0,27	2,81%	-
5,0%	9,39	0,42	4,49%	Não
7,5%	9,42	0,53	5,58%	Não
10,0%	9,63	0,30	3,14%	Não

Com base nos resultados, foi possível observar que as amostras de substituição e adição apresentaram resultados variáveis em relação ao concreto de referência, porém sem diferenças estatisticamente significativas. As Tabelas 11 e 12, para substituição e adição, respectivamente, apresentam os valores dos índices de vazios dos concretos produzidos.

**Tabela 11.** Índice de vazios dos concretos de substituição com 28 dias de idade.

% Resíduo	Índice de vazios (%)	DP	CV (%)	Estatisticamente diferente de 0%?
0%	22,26	0,52	2,34%	-
5,0%	21,98	0,47	2,16%	Não
7,5%	21,32	0,14	0,67%	Não
10,0%	22,12	1,07	4,83%	Não

**Tabela 12.** Índice de vazios dos concretos de adição com 28 dias de idade.

% Resíduo	Índice de vazios (%)	DP	CV (%)	Estatisticamente diferente de 0%?
0%	22,26	0,52	2,34%	-
5,0%	21,20	0,83	3,93%	Não
7,5%	21,31	0,94	4,43%	Não
10,0%	21,67	0,61	2,84%	Não

Os índices de vazios das amostras tanto de substituição, quanto de adição de resíduo, quando comparadas ao concreto sem incorporação, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas nos resultados encontrados. As Tabelas 13 e 14 apresentam, respectivamente, os valores da massa específica real dos concretos produzidos para as amostras de substituição e adição.

Em relação à massa específica das amostras de substituição, apenas o teor de 10% apresentou diferença estatisticamente significativa em relação ao concreto de referência. Já para as amostras de adição, todos os teores apresentaram diferenças estatisticamente significativas, porém, observou-se que os resultados foram muito próximos entre si.

**Tabela 13.** Massa específica real dos concretos de substituição com 28 dias de idade.

% Resíduo	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	DP	CV (%)	Estatisticamente diferente de 0%?
0%	2,93	0,01	0,32%	-
5,0%	2,91	0,01	0,43%	Não
7,5%	2,93	0,01	0,43%	Não
10,0%	2,84	0,04	1,47%	Sim

**Tabela 14.** Massa específica real dos concretos de adição com 28 dias de idade.

% Resíduo	Massa específica(g/cm <sup>3</sup> )	DP	CV (%)	Estatisticamente diferente de 0%?
0%	2,93	0,01	0,64%	-
5,0%	2,87	0,02	0,72%	Sim
7,5%	2,88	0,01	0,28%	Sim
10,0%	2,88	0,02	0,59%	Sim

## 5. Conclusões

O estudo teve como objetivo avaliar a influência da incorporação de resíduos de marmoraria no concreto, nos teores de 5%, 7,5% e 10% de adição e substituição em relação à massa cimentícia. A comparação foi feita através de resultados de consistência, resistência à compressão axial e absorção de água dos concretos com incorporação, em relação ao concreto sem incorporação do resíduo. No que se refere à consistência dos concretos, tanto para a

substituição, quanto para adição do resíduo, no teor de 10% ocorreu um aumento na plasticidade, quando comparado ao concreto de referência. Em relação à resistência à compressão axial, os resultados obtidos com a substituição e adição do resíduo foram menores quando comparados ao concreto sem incorporação. Entretanto, nenhum teor das amostras de substituição apresentou resultados estatisticamente diferente do concreto de referência. O desempenho mais satisfatório foi apresentado pela amostra de adição com teor de 5%, a qual apresentou uma diminuição percentual de apenas 2,55% em comparação com concreto sem incorporação de resíduo, na idade de 28 dias.

Na análise da absorção de água dos concretos, os resultados não apresentaram diferenças significativas. O desempenho mais satisfatório foi constatado para o teor de 5% de adição, com redução em 3,69% na absorção de água e 4,76% no índice de vazios, quando comparados com o concreto sem incorporação. Ainda, tanto na substituição, quanto na adição, incorporando o teor máximo de resíduo, a taxa de absorção de água e índice de vazios não apresentaram resultados estatisticamente diferentes do concreto de referência.

Em relação a massa específica real dos concretos, a amostra de substituição com teor 10% de resíduo apresentou resultado estatisticamente diferente do concreto de referência, com redução de 3,07%, resultando em um concreto mais leve do que o sem incorporação. Já as amostras de adição, em todos os teores houve diferenças estatisticamente significativas, com redução de 2,05% para o teor de 5% e 1,71% para os teores de 7,5% e 10%.

No geral, a incorporação de 5% em adição do resíduo apresentou melhor desempenho, uma vez que a resistência à compressão axial ficou mais próxima do concreto de referência e ocorreu uma melhoria nas propriedades físicas dos concretos. Todavia, cabe destacar que na substituição, incorporando qualquer teor de resíduo, as propriedades físicas e mecânicas não foram alteradas, considerando que não apresentaram resultados estatisticamente diferentes do concreto sem incorporação, exceto para a massa específica no teor de 10%, no qual houve uma redução na massa específica do concreto, tornando o concreto mais leve.

Por fim, avaliado quanto à sustentabilidade, observou-se que os demais teores, tanto das amostras de adição quanto das de substituição, apresentaram desempenhos próximos entre si, tendo em vista a incorporação de resíduos que seriam descartados na maioria das vezes de forma inadequada.

### Agradecimentos

Nossos sinceros agradecimentos à Universidade do Oeste Paulista (Unoeste), em especial, à Faculdade de Engenharia de Presidente Prudente, por nos oferecer a estrutura para a realização da pesquisa, e à Universidade Estadual Paulista (Unesp) de Presidente Prudente, por disponibilizar equipamentos para realização de alguns ensaios.

### Referências

- AGUIAR, M.C.; GADIOLI, M.C.B. Caracterização de Resíduo de Mármore para Fabricação de Rocha Artificial. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 22., 2016, Natal. **Congressos**. Espírito Santo: Cbecimat, 2016. p. 939-949. Disponível em: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/48/069/48069721.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/48/069/48069721.pdf). Acesso em: 09 maio 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:2015 Versão corrigida**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

- 
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:2009 Versão corrigida**: Agregados para concreto - Especificações. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778:2005 Versão corrigida 2**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregados - Determinação da massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Construção é responsável por mais de 50% dos investimentos no País**. Disponível em: <<https://cbic.org.br/construcao-e-responsavel-por-mais-de-50-dos-investimentos-no-pais/>>. Acesso em 13 de fev. 2022.
- CHIODI FILHO, C. **Balanco das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2020**. ABIROCHAS – Associação Brasileira de Rochas Ornamentais, Edifício Assis Chateaubriand – SRTV SUL – Quadra 701, Brasília – DF, 2021, 22p.
- DAL MOLIN, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. In: ISAIA, G. C (Editor). **Concreto: material construtivo mais consumido no mundo – volume I**. São Paulo: IBRACON, 2011.
- FIGUEIREDO, G. S. **Análise Da Substituição Parcial do Cimento pelo Resíduo de Beneficiamento de Mármore e Granito (RBMG) na Produção de Concretos**. 2019. 22 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019.
- GOMES, M.C.V. **Análise do efeito do tamanho da partícula na resposta termoluminescente do quartzo natural**. 2010. Iniciação Científica (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Pernambuco, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Pernambuco, 2010.
- HAGEMANN, S. E. **Materiais de construção básicos**. Rio Grandense: Instituto Federal Sul-rio-grandense, 2011.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Estrutura, Propriedades, Materiais**, São Paulo: Pini, 1994.
- OLIVEIRA, C. N. **Aplicação de Resíduos Oriundos do Corte de Rochas Ornamentais na Produção de Cosméticos**. In: XVII Jornada de Iniciação Científica CETEM/MCT. Rio de Janeiro, p. 123-129, 2009.
- PEREIRA, L.S. **Influência do uso dos resíduos de corte de granito como filler no desempenho do concreto**. 2016. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.
- PERUZZI, A. P. **Comportamento das fibras de vidro convencionais em matriz de cimento Portland modificada com látex e adição de sílica ativa**. 2002, 111f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) Universidade de São Carlos - UFSCar, São Carlos, 2002.

- PETRY, N.S; DELONGUI, L.; MULLER, A. L.; MASUERO, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C. Avaliação do uso de resíduos de marmoraria na produção de concretos. IMED, **Revista de Arquitetura IMED**, Passo Fundo, vol. 6, n. 2, p. 71-92, Jul.-Dez., 2017 - ISSN 2318-1109.
- SANTOS, L.S. **Processo Produtivo e Geração de Resíduos de Corte de Mármore e Granito em Marmorarias DE Rio Verde/GO**. 2020. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, 2020.
- SANTOS, R. A.; LIRA, B. B; RIBEIRO, A. C. M. Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito. **Revista Holos**, Rio Grande do Norte, v. 5, p. 125-135, nov. 2012. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1119/604>>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- SILVA, Y. J. A. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M.; SILVA, T. H. S.; GALVÃO, R. R. F.; SILVA, R. R. F. Caracterização petrográfica, mineralógica e da composição química de granitos tipos I e S em Pernambuco. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solos, 35., 2015, Natal. **Congressos**. Pernambuco: O Solo e Suas Múltiplas Funções, 2015. p. 1-4. Disponível em: <https://www.eventosolos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/1716.pdf>>. Acesso em:
-