

7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.7.24.VII-008>

Larissa Santana Batista (*), Cícero Fellipe Diniz De Santana, Edilene Lopes Da Silva, Isadora Possidônio Angelo, Ranyelly Wellen Florentino de Oliveira.

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campus Pombal-PB

larissa.santana@professor.ufcg.edu.br

RESUMO

Devido ao aumento do uso de materiais cerâmicos na construção civil, especificamente o crescimento na produção de resíduos nas marmorarias, tem se destacado a importância de encontrar soluções sustentáveis para o gerenciamento desses resíduos, visando reduzir a poluição ambiental e explorar oportunidades econômicas viáveis. No contexto das indústrias de rochas ornamentais, é comum a geração de resíduos na forma de lama abrasiva, resultante do corte e polimento das rochas. Assim, o estudo propõe avaliar a viabilidade da incorporação desses resíduos na formulação de concreto com foco na produção de blocos intertravados, visando uma aplicação sustentável na construção civil. A metodologia envolveu a seleção e caracterização dos materiais, definição dos traços de concreto, moldagem e sua posterior caracterização física e mecânica através dos ensaios de resistência à compressão e absorção dos blocos intertravados. Os resultados indicaram que a granulometria fina e o alto teor de materiais pulverulentos no ROL comprometeram a trabalhabilidade, a resistência à compressão e a absorção dos concretos dos blocos com inserção desse resíduo. Conclui-se que são necessárias mais pesquisas para explorar outras possibilidades de uso do ROL, como testar proporções menores proporções de diferentes relações água/cimento. Essas medidas podem contribuir para uma abordagem mais sustentável e eficiente no aproveitamento de materiais na construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade; Intertravado; Resíduos.

ABSTRACT

The increased use of ceramic materials in civil construction, specifically the growth in waste production in marble workshops, is highlighted. It emphasizes the importance of finding sustainable solutions for managing these wastes, aiming to reduce environmental pollution and explore viable economic opportunities. In the context of ornamental rock industries, the generation of waste in the form of abrasive ornamental rock slurry (ROL) is common, resulting from the cutting and polishing of rocks. The study proposes to explore the feasibility of incorporating these wastes into concrete formulation, focusing on the production of interlocking blocks for sustainable application in civil construction. The methodology involved the selection and characterization of materials, definition of concrete mixes, molding and subsequent characterization. Tests were conducted to evaluate the compressive strength and absorption of the interlocking blocks, considering different proportions of waste in the mix. The results indicated that the fine particle size and high content of powdery materials in ROL compromised the workability and compressive strength of concretes with higher proportions of this waste. Although some mixes met the strength requirements, adjustments in proportions and water/cement ratio are suggested to optimize the use of ROL in concrete for interlocking pavements. It is concluded that further research is needed to explore other possibilities for the use of ROL, such as testing smaller proportions and different water/cement ratios, as well as conducting durability tests under different conditions. These measures can contribute to a more sustainable and efficient approach to material utilization in civil construction.

KEY WORDS: Sustainability; Interlocked; Waste.

INTRODUÇÃO

De acordo com Mendonça (2022), o emprego de materiais cerâmicos na construção civil tem experimentado um aumento significativo nos últimos anos. Com o crescimento da produção nas marmorarias, surge o desafio de gerenciar a quantidade crescente de resíduos gerados. A utilização desses subprodutos que não podem ser armazenados em outras áreas, pode representar uma oportunidade econômica viável. Além disso, a prática pode contribuir para a redução da



poluição ambiental, visto que os resíduos são reaproveitados de forma produtiva e evita-se sua acumulação descontrolada.

O setor da mineração tem incentivado cada vez mais a utilização dos resíduos provenientes de suas atividades. Contudo, a gestão desses resíduos enfrenta desafios significativos, especialmente no que se refere ao seu armazenamento. Em muitos casos, esses resíduos são acumulados em grandes pilhas ou depositados em barragens de material, o que representa um desafio ambiental para as empresas mineradoras (GONDIM et al., 2022).

No contexto das indústrias de rochas ornamentais, é comum que o resíduo resultante do corte de granitos e mármore seja produzido e armazenado na forma de lama. Durante as operações de corte e polimento das rochas, é essencial o uso de água para resfriar os discos e reduzir a quantidade de pó em suspensão. A interação dessa água com o pó e os resíduos resulta na formação da lama. Para gerenciar esse subproduto, sistemas como calhas e dutos são utilizados para direcionar a lama até o local apropriado de armazenamento na fábrica, frequentemente um tanque. Após essa etapa, é crucial que esse resíduo seja adequadamente destinado (SOUZA et al., 2020).

Nesse sentido, a indústria de rochas ornamentais gera uma considerável quantidade de resíduos, frequentemente descartados de maneira inadequada, resultando em impactos ambientais e socioeconômicos. As rochas ornamentais apresentam propriedades de resistência e durabilidade que desempenham um papel fundamental na composição do concreto.

Assim, a inclusão de resíduos provenientes da lama abrasiva das rochas ornamentais (ROL) na produção de concreto, especialmente voltada para a fabricação de blocos intertravados pode fomentar uma aplicação sustentável desses resíduos no contexto da indústria da construção.

OBJETIVOS

Avaliar a viabilidade da incorporação de resíduos provenientes da lama abrasiva de rochas ornamentais (ROL) na formulação de concreto, com foco na produção de blocos intertravados, visando porpor uma aplicação sustentável para esses resíduos na indústria da construção civil.

METODOLOGIA

Os materiais utilizados foram: cimento CP V ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial); água de abastecimento público fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA); o agregado graúdo foi a brita granítica com dimensão nominal de 9,5mm, também conhecida comercialmente como brita 0 (zero), com granulometria dentro dos limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2019); os agregados miúdos são compostos pelos convencionais areia, pó de pedra e o resíduo da lama abrasiva de rochas ornamentais (ROL).

Para conduzir esta pesquisa, foi adotada a seguinte sequência de etapas:

- 1) Seleção e caracterização dos materiais:** Inicialmente, foram obtidas amostras dos materiais necessários, como agregados miúdos (areia, pó de pedra e ROL) e agregado graúdo (brita 0), bem como do aglomerante. Essas amostras foram coletadas e preparadas para análise física e química, visando compreender suas propriedades.
- 2) Definição dos traços de concreto:** Com base nos resultados da caracterização dos materiais, foram calculados os traços de concreto convencional (CONV), sem a inclusão de resíduos, e os traços de concreto modificados, nos quais os agregados miúdos convencionais foram substituídos na proporção de 33,33% pelo ROL.
- 3) Moldagem dos blocos intertravados:** Os corpos de prova foram moldados em fôrmas retangulares de PVC, com dimensões de 20 cm x 10 cm x 6 cm, conforme ilustrado na **Figura 1**. Os blocos foram produzidos para possibilitar a obtenção de parâmetros como resistência à compressão simples (RCS) e absorção. Os materiais foram misturados em betoneira e despejados nos moldes limpos, utilizando desmoldante, e posteriormente foram adensados em uma mesa vibratória. Após 24 horas, foi realizado o capeamento com pasta de cimento para regularizar as faces dos blocos, reduzindo assim as falhas durante o processo de prensagem, conforme mostrado na **Figura 2**. Os blocos foram então submetidos a um período de cura submersa de 28 dias.



Figura 1: Fôrmas retangulares em PVC utilizada nas moldagens. Fonte: Autor do Trabalho.



Figura 2: Peças com acabamento da face superior. Fonte: Autor do Trabalho.

4) **Caracterização dos blocos intertravados:** Após a cura, os blocos intertravados foram submetidos a ensaios de resistência à compressão simples e absorção, seguindo as diretrizes estabelecidas pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013).

RESULTADOS

Primeiramente, procedeu-se com a caracterização física do aglomerante. Os ensaios foram conduzidos de acordo com todas as normas relevantes, garantindo a precisão e conformidade dos procedimentos. Os resultados obtidos desses ensaios estão detalhados na **Tabela 1**, demonstrando que os valores obtidos estão em conformidade com os parâmetros estabelecidos pelas normas consideradas durante a realização dos testes.

Tabela 1. Índice de finura e massa específica do cimento CP V ARI. Fonte: Batista (2022).

Ensaio	Valor Obtido
Módulo de Finura	0,86%
Massa Específica	3,04 g/cm ³
Tempo início de pega da argamassa fresca	1h 45min
Tempo fim de pega da argamassa fresca	4h 07min

No teste de granulometria dos agregados miúdos, mostrado na **Figura 3**, os comportamentos da curva granulométrica, assim como o coeficiente de finura e a dimensão máxima dos agregados, foram obtidos. Isso ocorreu uma vez que esses elementos influenciaram diretamente no comportamento do concreto, principalmente nos aspectos de manuseio, relação água/cimento, absorção e índice de vazios. Também foi observado que os materiais utilizados possuíam comportamentos semelhantes.

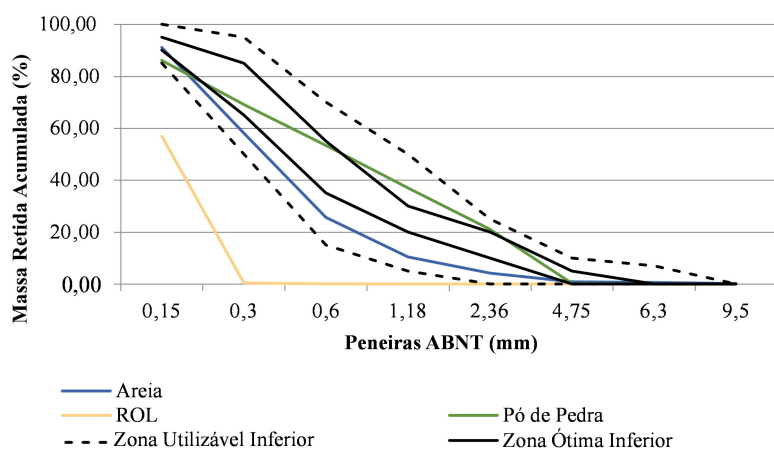
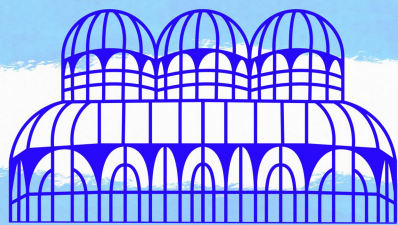


Figura 3: Curvas granulométricas dos agregados miúdos. Fonte: Batista (2022).

Conforme evidenciado pelas curvas granulométricas da **Figura 3**, o ROL revelou-se um material bastante fino, situando-se abaixo do limite inferior de utilização em concretos estabelecido pela NBR NM 248 (ABNT, 2003). Materiais com granulometria muito fina geralmente demandaram mais água para garantir uma trabalhabilidade adequada, o que poderia comprometer a resistência à compressão do concreto.

Ainda em relação às curvas granulométricas apresentadas, foi determinado o módulo de finura e o diâmetro máximo de cada agregado analisado. Para a análise, a NBR NM 248 (ABNT, 2003) estabelece que o agregado miúdo com módulo de finura entre 2,20 e 2,90 se enquadra na zona ótima, entre 1,55 e 2,20 na zona utilizável inferior e entre 2,90 e 3,50 na zona utilizável superior. Observou-se que a areia apresentou um módulo de finura de 1,90, enquanto o pó de pedra demonstrou um valor mais elevado de 2,67, e o ROL o menor valor, com apenas 0,57.

Em relação ao diâmetro máximo, a areia apresentou um diâmetro de 2,36 mm, o pó de pedra de 4,75 mm e o ROL o menor diâmetro máximo de 0,30 mm. Isso implica que o pó de pedra está na zona ótima de utilização, enquanto a areia está na zona utilizável inferior. No entanto, o ROL não se enquadra nesses limites devido à relação inversa com o percentual de reposição do agregado, indicando que, com o aumento do percentual de resíduo, o módulo de finura diminui.

No entanto, é importante ressaltar que esse material poderia contribuir para um melhor arranjo do esqueleto da estrutura. Uma alternativa encontrada foi a substituição do ROL pelo aglomerante como *filler*, conforme identificado no estudo realizado por Nascimento (2022), que aproveitou os resíduos de rochas ornamentais em pó, incorporando-os no concreto. Foram utilizadas relações a/c de 0,45 e 0,55, com adições de 10 e 20% do resíduo em relação à massa de cimento, comparadas a um traço de referência sem adições. O autor constatou que, no estado fresco, houve redução da consistência à medida que o teor de adições aumentava. Já no estado endurecido, os concretos com adições de resíduo apresentaram perda de resistência à compressão na idade avaliada, porém, com uma redução na absorção de água por capilaridade.

Outros parâmetros físicos dos agregados miúdos são apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2. Parâmetros físicos dos agregados miúdos. Fonte: Batista (2022).

Ensaio	Areia	Pó de Pedra	ROL
Massa específica real (g/cm ³)	2,42	2,58	2,52
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,40	2,56	2,49
Massa unitária compactada (g/cm ³)	1,54	1,68	-
Índice de Vazios estado compactado	35,78	29,83	-
Absorção (%)	0,60	0,80	-
Teor de Material Pulverulento (%)	4,39%	8,03%	69,51%

O ROL revelou um alto teor de materiais pulverulentos, atingindo cerca de 69,51%, um valor significativamente superior em comparação com os demais agregados, o que esteve em concordância com a curva granulométrica apresentada. É possível que o resíduo tenha contido uma proporção maior de finos em relação ao cimento, o que poderia resultar em um efeito de enchimento nas matrizes de cimento.

Além disso, a caracterização dos agregados graúdos foi realizada. A curva granulométrica da brita utilizada foram exibidas na **Figura 4**, apresentando um diâmetro de 9,5 mm.

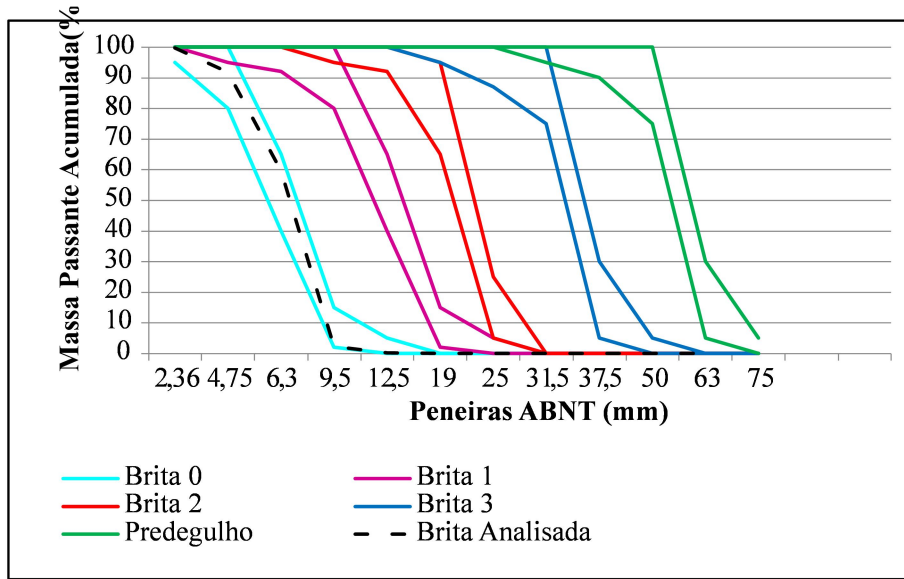


Figura 4: Curva granulométrica do agregado graúdo. Fonte: Batista (2022).

Como foi evidenciado, a brita analisada encontra-se dentro da zona limite de classificação de brita 0. Portanto, o agregado graúdo utilizado na pesquisa atendeu aos requisitos de distribuição granulométrica estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009). Os dados obtidos a partir da caracterização física da brita 0 foram apresentados na **Tabela 3**.

Tabela 3. Parâmetros físicos do agregado graúdo. Fonte: Batista (2022).

Ensaio	Brita 0
Massa Esp. Agregado Seco	2,73
Massa Esp. Agregado Sat Sup Seca	2,69
Massa Esp. Aparente	2,67
Massa unitária compactada (g/cm ³)	1,72
Índice de Vazios estado compactado	1,83
Absorção (%)	99,93
Abrasão Los Angeles (%)	0,76

Os dados da **Tabela 3** revelaram que a absorção da brita analisada era de 0,76%, o que foi crucial para realizar a correção da água presente, garantindo que a água adicionada durante o processo de dosagem não fosse absorvida pela brita. Isso evitou alterações na relação água/cimento, preservando a trabalhabilidade do concreto. Além disso, o material utilizado demonstrou um índice de vazios elevado quando no estado compactado, indicando um arranjo satisfatório entre seus grãos.

Diante dos resultados das caracterizações, foi calculado o traço dos concretos com base na RCS a ser alcançada sendo uma propriedade importante e requeridas no concreto. Essa propriedade foi crucial no estudo do pavimento intertravado, pois determinou o uso ao qual o pavimento seria destinado, de acordo com a solicitação de tráfego prevista. Essa característica foi referenciada na maioria das normas nacionais e internacionais como um dos principais parâmetros para avaliar o desempenho dos *pavers*. Desta forma, o traço foi calculado para o limite de RCS mínima de 35 MPa, conforme requerido pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013), que determina para que os componentes possam ser empregados em demandas para trânsito de pedestres e veículos leves. Portanto, o traço utilizado nesta pesquisa foi (1:2:2:0,45) para moldagem dos blocos intertravados e análise da RCS e absorção.

Comparando o RCS do traço convencional, escolhido como referência nesta pesquisa, com o RCS do traço adicionado o ROL, obtive-se o resultado demonstrado na **Figura 5** abaixo.

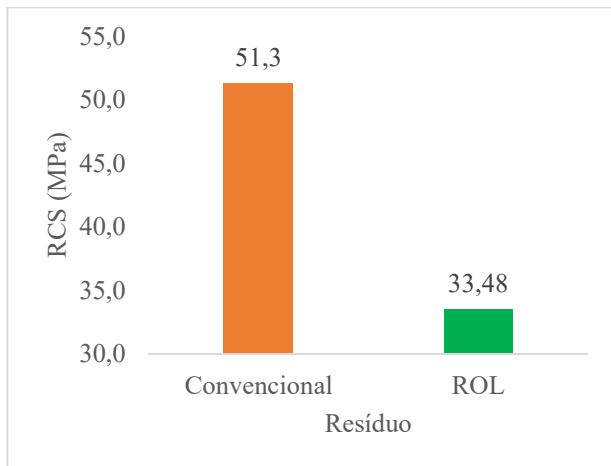


Figura 5: RCS dos *pavers* convencionais e dos blocos com resíduos. Fonte: Autor do Trabalho.

Conforme observado na **Figura 5**, o RCS do traço com a inserção do ROL não apresentou RCS satisfatórios quando da análise da resistência à compressão, conforme exigido pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013), que estabelece o limite de resistência mínima de 35 MPa para que as peças possam ser utilizadas em solicitações para passagem de pedestres e veículos leves.

Analisando os resultados em consonância com normas internacionais da Austrália e África do Sul, por exemplo, os blocos estariam aptos para utilização em pavimentos intertravados, pois obtiveram resistências à compressão acima de 25 MPa, indicados para veículos leves (ARAUJO & DOURADO, 2019). De acordo com a norma Australiana, este concreto poderia ser aplicado em pavimentos com solicitações leves como calçadas, praças, áreas de lazer, ciclovias, etc. Ou seja, de acordo com as normas internacionais, o ROL tem indicações para ser utilizado em áreas com tráfego leve.

Após a análise da RCS, foi realizado o ensaio de absorção de água dos *pavers*, sendo um importante parâmetro, especialmente para aplicação em áreas úmidas, em que as peças estarão sujeitas ao acelerado processo de eflorescência, por exemplo. Com relação aos percentuais máximos admitidos, o valor de controle utilizado pela NBR 9781 (ABNT, 2013) é de 6% de absorção na média, não sendo admitido nenhum valor individual superior a 7%. Foi verificado que a absorção média dos blocos CONV foi de 3,75%, sendo satisfatório conforme exigido pela norma. Usou-se esses valores para comparar os resultados obtidos do concreto com ROL, mostrado na **Tabela 4**.

Tabela 4. Absorção para o percentual do resíduo de ROL. Fonte: Dados da pesquisa.

ABSORÇÃO			
M1	M2	Absorção (%)	Abm (%)
2316,5	2439,60	5,31	
2344,0	2434,5	3,90	4,42%
2435,2	2534,1	4,06	

Com base na **Tabela 4**, percebe-se que as amostras de peças de concreto apresentaram absorção de água com valor médio menor ou igual a 6 %, com nenhum valor individual maior do que 7 %, estando aptos à utilização em *pavers*. Contrastando com os dados obtidos no CONV, a absorção foi maior, comportamento este que pode justificar a diminuição da RCS, com maior número de poros e menor agregação e densificação das partículas.



CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, fica evidente que o resíduo de lama abrasiva de rochas ornamentais (ROL) apresenta características que impactam significativamente a viabilidade de sua utilização em traços de concreto. A granulometria fina e o alto teor de materiais pulverulentos identificados no ROL comprometeram os traços de concreto com maior proporção desse resíduo, afetando sua trabalhabilidade e resistência à compressão.

Embora o traço com inserção de ROL não tenha atendido aos requisitos de resistência à compressão estabelecidos pela norma Brasileira, analisando os resultados em consonância com normas internacionais da Austrália e África do Sul, por exemplo, os blocos estariam aptos para utilização em pavimentos intertravados, pois obtiveram resistências à compressão acima de 25 MPa, indicados para veículos leves (ARAUJO & DOURADO, 2019). De acordo com a norma Australiana, este concreto poderia ser aplicado em pavimentos com solicitações leves como calçadas, praças, áreas de lazer, ciclovias etc. Ou seja, de acordo com as normas internacionais, o ROL tem indicações para ser utilizado em áreas com tráfego leve.

Os dados de absorção percebem-se que as amostras de peças de concreto apresentaram absorção de água com valor médio menor ou igual a 6 %, com nenhum valor individual maior do que 7 %, estando aptos à utilização em *pavers*.

Para dar continuidade a este estudo e explorar ainda mais as possibilidades de uso do ROL, são sugeridas algumas ações. Entre elas, destacam-se a testagem do resíduo em proporções menores (até 20% de incorporação) e em traços com diferentes relações água/cimento, visando melhorar a trabalhabilidade e a resistência do concreto. Essas medidas permitirão uma avaliação mais abrangente da viabilidade técnica e econômica do uso desse resíduo na indústria da construção civil, promovendo uma abordagem mais sustentável e eficiente no aproveitamento de materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, S. S. F. et al. Análise da viabilidade da utilização de resíduos da mineração para fins de pavimentação com base na caracterização e avaliação mecânica. In: Congresso Sul Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2019, Foz do Iguaçu-PR.
2. ARAUJO, T. C. B.; DOURADO, H.. Avaliação de Desempenho de Pavers Intertravado Produzidos com Rejeitos Gerados nos Desdobramentos de Rochas Ornamentais. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 15, n. 2, p. 245-261, 2019.
3. BATISTA, L. S. Efeitos da incorporação de resíduos da mineração nas propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade em pavimentos intertravados. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.
4. GONDIM, T. F. et al. Potencialidade de uso do resíduo da Scheelita em sistemas de cobertura de aterro de resíduos. **Eng Sanit Ambiental**, v. 27 n. 3, maio/jun 2022, p. 597-606, 2022.
5. MENDONÇA, A. M. G. D. et al. Estudo de Viabilidade da Incorporação de Resíduos Cerâmicos Micronizados em Concreto Estrutural. **Revista Cubana de Ingeniería**, v. 8, e.333, 2022.
6. NASCIMENTO, D. W. et. al. Estudo sobre a influência da adição de resíduos de rochas ornamentais (rro) e cerâmica (rc), provenientes da cidade de teixeira de freitas – BA, nas propriedades do concreto de cimento Portland. **Revista Mosaicum**. n. 35, jan./jun. 2022.
7. _____. NBR 12142: Concreto: Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.
8. _____. NBR 7211: Agregados para concreto: Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
9. _____. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação: Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.
10. _____. NBR NM 248: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
11. SOUZA, N. S. L. et al. Desenvolvimento de agregados leves a partir de resíduo de corte de pedras ornamentais (granitos e mármore) e argila. *Revista Matéria*. Rio de Janeiro. v. 25, n. 1. 2020.