

PRODUÇÃO DE PISOS INTERTRAVADOS COM AGREGADOS ORIUNDOS DE SOBRAS DA SERRAGEM DE MÁRMORE: ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

Igor Vieira Fernandes ¹
Ablenya Grangeiro de Barros ²
Christian Rafael Ziegler ³
Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça ⁴

RESUMO

O desenvolvimento sustentável vem ganhando força na área da construção civil, de tal forma que tem sido imperiosa a busca por materiais alternativos, tanto para preservar o meio ambiente como para reduzir os custos finais de projetos. O setor de rochas ornamentais configura-se como umas das atividades que mais tem crescido no Brasil nas três últimas décadas, e no processo de beneficiamento é gerado grande volume de resíduos. Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades mecânicas dos pisos intertravados produzidos com rejeitos do beneficiamento de mármore como agregado graúdo na produção de pisos intertravados. Foram realizados ensaios de caracterização física do resíduo, dos agregados convencionais e do cimento e, posteriormente, moldados corpos de prova prismáticos nas dimensões de 20 cm x 10 cm x 6 cm, com substituição do agregado graúdo convencional por rejeitos de mármore nos teores de 20% e 40%. Por fim, foi realizada a determinação das propriedades físicas e mecânicas nas idades de cura de 7,14 e 28 dias. Observou-se que os pisos intertravados produzidos com incorporação de resíduo de mármore, nos dois teores estudados, apresentaram resultados de resistência à compressão inferiores aos obtidos para os pisos intertravados de referência, porém atingiram a resistência mínima exigida para serem utilizados submetidos às solicitações de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha conforme estabelecido por norma.

Palavras-chave: Concreto, Pisos intertravados, Resíduos, Propriedades.

INTRODUÇÃO

A construção civil obteve crescimento em ritmo acelerado nos últimos anos com o avanço tecnológico. É fácil perceber que existe uma relação intrínseca entre o desenvolvimento econômico e a construção civil, pois esta é um dos principais medidores de desenvolvimento e crescimento de um país, por ser capaz de gerar empregos e aquecer a economia. Além disso,

¹ Graduando do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, igorvf95@gmail.com;

² Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, ablenyagb@gmail.com;

³ Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, crziegler1@gmail.com;

⁴ Professora orientadora: Doutora, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, ana.duartemendonca@gmail.com.

observa-se que, desde os tempos primitivos, a quantidade de técnicas construtivas era ampla, porém a diversidade de materiais utilizados na construção civil era reduzida. Materiais de construção alternativos são indispensáveis para fazer crescer ainda mais o setor da construção civil, reaproveitando materiais, antes inservíveis, para minimizar custos e se desenvolver agredindo menos as fontes naturais (MATIAS, 2018).

Vem ganhando força na área da construção civil, tanto para preservar o meio ambiente como para reduzir os custos finais de projetos, o desenvolvimento sustentável, que é um modelo de produção adotado largamente nos dias atuais. Muito do que costumava ir para o lixo é reutilizado, como por exemplo os rejeitos, sejam entulhos de construção triturados, sejam oriundos do setor de rochas ornamentais ou outros, que são utilizados como parte integrante de peças de concreto, argamassas. Essa concepção de concreto reciclado não é nova, pois após a segunda guerra mundial, muitos países europeus trituravam os escombros de construções para reutilização em novos concretos devido a necessidade e economia. Assim, essa filosofia de sustentabilidade é baseada na conservação ambiental, em que o aproveitamento selecionado dos resíduos fazem parte de um ecossistema para controlar o nível de resíduos e determinar o nível de comprometimento da geração atual para com o futuro (BRANDÃO, 2014).

Dentro deste aspecto da sustentabilidade, a construção civil se mostra tanto como vilã, como também com grande potencial para ser consumidora de vários resíduos produzidos. Por um lado, segundo JOHN (2000), consome cerca de um terço do total de recursos consumidos pela sociedade, caracterizando-se como um dos maiores consumidores de matérias-primas, mas ao mesmo tempo, como mostra GONÇALVES (2000), possui um mercado que se apresenta como uma das alternativas mais eficazes para consumir materiais reciclados. Portanto, a construção civil pode contribuir consideravelmente para a solução de um problema que ela própria agravava.

Como nos últimos anos a busca por materiais alternativos, com finalidade de reduzir custos, devido a limitação de recursos econômicos e escassez de recursos naturais, tem sido imperiosa, a construção civil tem sido alvo da incorporação dos mais diversos tipos de materiais, em virtude de alguns possuírem composição similar às matérias-primas naturais. Então, o estudo de novas tecnologias para o reaproveitamento dos resíduos industriais poderá propiciar o desenvolvimento de novos produtos com consequente diminuição do descarte de resíduos e maximização da cadeia produtiva da indústria (MENDONÇA, et al, 2013).

Segundo Mothé Filho et al. (2005), o setor de rochas ornamentais configura-se como umas das atividades que mais tem crescido no Brasil nas três últimas décadas, e os mármore e

granitos se destacam como maioria na produção mundial de rochas. No processo de beneficiamento de rochas ornamentais, como mostra Moura e Leite (2011), é gerado grande volume de resíduos. O resíduo gerado pode ser oriundo da extração do bloco, da serragem para enquadrá-los nas dimensões padronizadas, do processo de corte e de polimento, além dos finos da lavra e do beneficiamento. Na serragem, cerca de 20% a 30% do bloco é transformado em rejeitos, que são colocados nos pátios das empresas.

Portanto, considerando que a utilização de resíduos tem se mostrado como uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo consumo desordenado de matérias-primas naturais, por contribuir com a redução das áreas de disposição, considerando o crescente volume de resíduos descartados a cada ano em todo o mundo, bem como para agregar valor ao resíduo indesejável, houve a motivação para desenvolver este trabalho.

METODOLOGIA

Os materiais utilizados na pesquisa se dividem nos grupos abaixo:

Agregado graúdo: Foi a brita de origem granítica, oriunda da pedreira situada no município de Pocinhos-PB, apresentando diâmetro máximo característico de 9,5 mm, módulo de finura de 5,98, massa unitária (aparente) de 1,43 g/cm³, massa específica real de 2,59 g/cm³ e absorção de 0,5%.

Agregado miúdo: Areia quartzosa retirada do leito do Rio Paraíba, com diâmetro máximo característico de 4,8 mm e módulo de finura 2,36, massa unitária solta de 1,5 g/cm³ e massa específica real de 2,59 g/cm³.

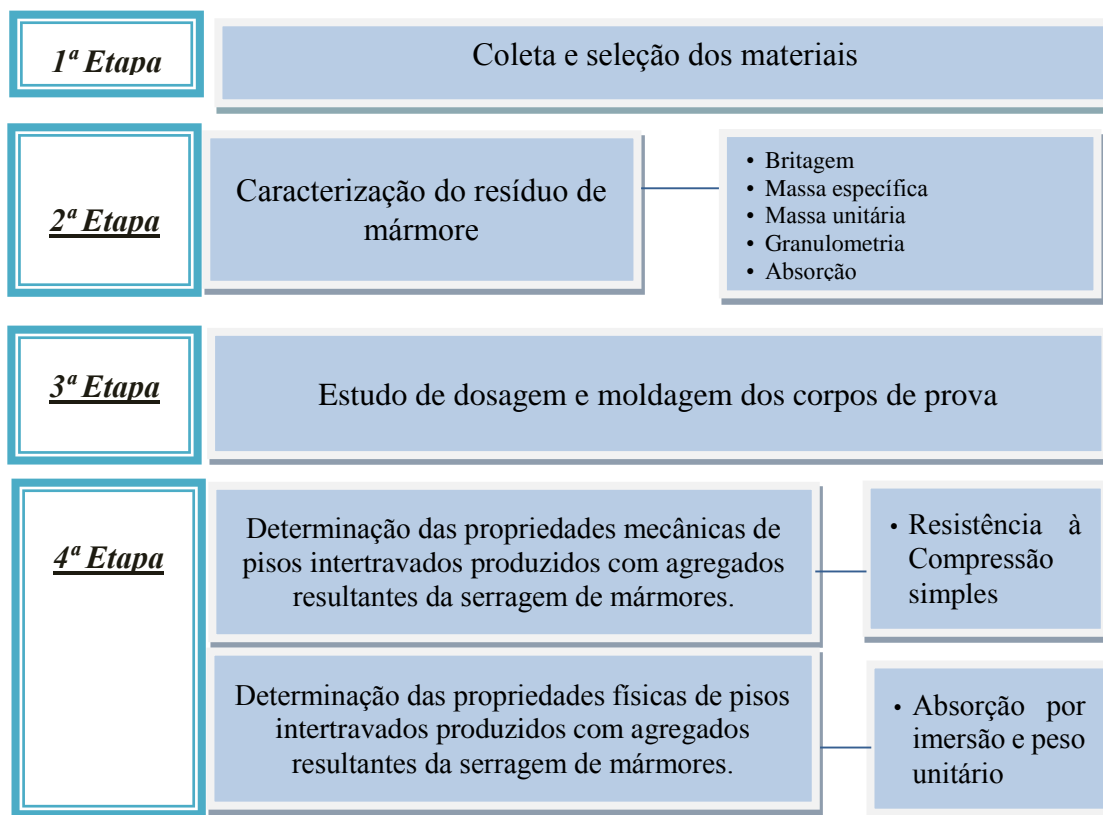
Cimento Portland CP II F32: O cimento Portland utilizado para moldagem dos corpos de prova foi obtido no comércio de Campina Grande-PB, cujo fabricante é a empresa Montes Claros, apresentando índice de finura igual a 2,84% e massa específica real igual a 2,91 g/cm³.

Resíduo de mármore: Agregado proveniente da britagem de mármore, que foi fornecido pela indústria GRANFUJI situada na Alça Sudoeste, no distrito industrial de Campina Grande-PB.

Água: Destinada ao consumo humano fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

A Figura 1 ilustra o Fluxograma das etapas da pesquisa.

Figura 1 - Fluxograma das etapas da pesquisa.



FONTE: Dados da pesquisa (2019)

Coleta e seleção dos materiais

Nesta etapa foram selecionadas e caracterizadas as matérias-primas convencionais utilizadas para a produção do concreto simples (cimento, agregado graúdo e agregado miúdo).

Processamento e caracterização do resíduo de mármore

A britagem tem como objetivo a fragmentação de materiais, levando-os a granulometrias compatíveis para a utilização direta ou para um posterior processamento (FIGUEIRA et al., 2010). Esta etapa foi realizada com os resíduos com o objetivo de permitir a compatibilização dos mesmos com a brita 9,5 mm, já que possuem tamanhos variados. O processo de britagem foi realizado com britador de mandíbula utilizado em laboratório para realização do procedimento.

É válido salientar que, após a britagem, os resíduos passaram por um peneiramento para retirar as partículas de pó e, então, serem submetidos aos ensaios de caracterização. Da mesma forma que pro agregado graúdo convencional, foram realizados os ensaios de granulometria,

seguindo as determinações da ABNT NBR NM 248:2003 e massa específica real, massa unitária (aparente) e absorção de acordo ABNT NBR NM 53:2009.

Dosagem e produção do concreto

A partir da caracterização do agregado graúdo, miúdo e do cimento e do estabelecimento do fator água/cimento foi realizada a dosagem experimental do concreto. O método utilizado foi o da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), que atende as exigências da Norma NBR 7211 (Agregados para concreto – Especificação).

Então, após a caracterização dos materiais foi realizado o estudo da dosagem, obtendo-se o traço 1:1,40:1,62:0,43. O valor do abatimento de tronco cone (slump test) foi fixado entre (40 – 60 mm).

O ensaio para determinação da consistência do concreto - Slump Test foi realizado de acordo com a norma técnica ABNT NBR NM 67:1998. Desta forma, o concreto foi dividido em três camadas individuais compactadas com 25 golpes de haste cada, em um tronco de cone com altura de 30cm. Após compactar as três camadas, removeu-se o excesso de concreto e fez-se a retirada do tronco de cone lentamente. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para o Slump Test do concreto em estudo.

Tabela 1: Slump Test do concreto em estudo

Concreto	Abatimento (mm)
PIR – Piso intertravado de referência	5,0
PI20%RM – Piso intertravado com 20% de resíduo de mármore	5,5
PI40%RM – Piso intertravado com 40% de resíduo de mármore	5,4

FONTE: Dados da pesquisa (2019)

A moldagem dos corpos de prova foi realizada de acordo com a ABNT NBR 9781:2013. Foram, então, moldados corpos de prova prismáticos de 20 cm x 10 cm x 6 cm com substituição do agregado convencional por rejeitos de mármore nos teores de 20% e 40%, sendo nomeados PI20%RM e PI40%RM, respectivamente, para determinação da resistência à compressão simples e absorção por imersão e peso unitário, nas idades de 7, 14 e 28 dias. A Tabela 2 representa o consumo de materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova da pesquisa.

Tabela 2: Consumo de materiais para a confecção dos corpos de prova

Material	PIR	PI20%RM	PI40%RM
Cimento	7,8 kg	7,8 kg	7,8 kg
Agregado Miúdo	10,92 kg	10,92 kg	10,92 kg
Agregado Graúdo (Brita 9,5)	12,64 kg	10,10 kg	7,60 kg
Água	3,4 L	3,4 L	3,4 L
Resíduo de Mármore	0 kg	2,53 kg	5,06 kg

FONTE: Dados da pesquisa (2019)

O adensamento do concreto, para todos os pisos intertravados, foi realizado por cerca de dois minutos em máquina específica para esse procedimento.

Ensaio de Resistência à Compressão simples

O ensaio de resistência à compressão simples é realizado para comprovar as características mecânicas de uma peça indicando a que tensão ela sofreu a ruptura. Os ensaios de resistência à Compressão simples foram realizados segundo a norma ABNT NBR 9781:2013. Para realização deste ensaio foi utilizada uma prensa da marca Losenheim com capacidade de 40 toneladas.

O quantitativo de corpos de prova prismáticos utilizados para realização do ensaio de resistência à compressão simples está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Quantitativo de corpos de prova submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples

Concreto	Tempo de cura (dias)		
	7	14	28
PIR	3	3	3
PI20%RM	3	3	3
PI40%RM	3	3	3
TOTAL			27 corpos de prova

FONTE: Dados da pesquisa (2019)

A figura 2 ilustra o ensaio de resistência à compressão simples.

Figura 2: Ensaio de resistência à compressão simples do concreto em estudo.



FONTE: Dados da pesquisa (2019)

Ensaio de Absorção

Foi realizado o ensaio de absorção de água, que tem como objetivo a determinação da absorção de água, que, por sua vez, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de água em seus poros permeáveis, em relação a sua massa em estado seco. O ensaio de absorção foi realizado com amostras obtidas após o rompimento dos pisos intertravados nos ensaios de resistência à compressão e seguindo a norma ABNT NBR 9781:2013. A figura 3 ilustra amostras destinadas ao ensaio de absorção de água do concreto.

Figura 3: Amostras utilizadas no ensaio de absorção.



FONTE: Dados da pesquisa (2019)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resíduo de mármore

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para a caracterização física do rejeito britado proveniente das sobras da serragem de mármore.

Tabela 4: Caracterização física do rejeito britado proveniente do corte de mármore

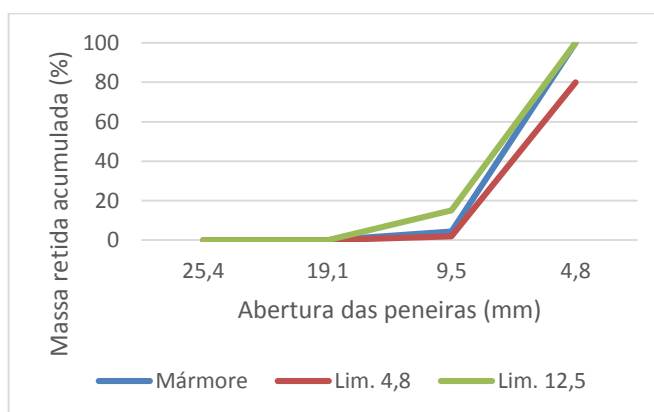
Parâmetro determinado	Média dos valores
Massa unitária (g/cm ³)	1,33
Massa específica real (g/cm ³)	2,76
Absorção (%)	1,61

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Foi possível observar que os valores encontrados para a massa unitária e massa específica do rejeito de mármore britado são valores próximos aos obtidos para a brita granítica convencional. Mas em termos de absorção percebe-se um aumento considerável. Segundo Neville (2016), o rejeito de mármore utilizado neste estudo, pertencente ao grupo Calcário, no qual a porosidade pode variar até 37,6%, podendo contribuir para o aumento da absorção, e que a massa específica real possui valores entre 2,5 e 2,8 g/cm³, que condiz com o valor determinado neste trabalho, de 2,76 g/cm³.

A Figura 4 ilustra a curva granulométrica obtida para o rejeito britado resultante das sobras da serragem de mármore.

Figura 4: Curva granulométrica do rejeito britado resultante do corte de mármore



Fonte: Dados da pesquisa (2018)

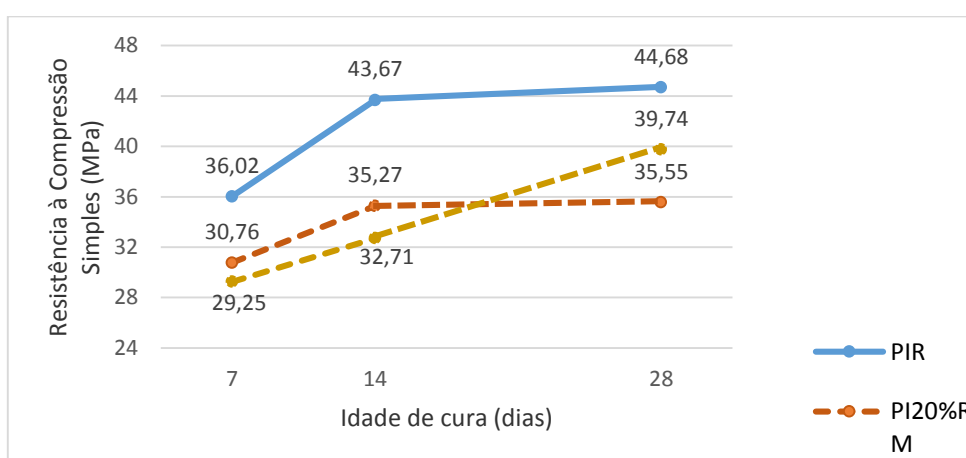
Segundo a classificação da ABNT NBR 7211:2009, o rejeito britado proveniente das sobras da serragem de mármore se encontra dentro dos limites estabelecidos para brita 0. A curva granulométrica representada possui diferença em relação à da brita convencional utilizada, devido ao processo de beneficiamento através do peneiramento.

Caracterização mecânica do piso intertravado com substituição do agregado graúdo por rejeito britado proveniente do corte de mármore

Resistência à compressão simples

A Figura 5 ilustra os resultados obtidos para a resistência à compressão simples do piso intertravado de referência – PIR e dos pisos intertravados com 20% de rejeitos de mármore – PI20%RM, e 40% de rejeitos de mármore – PI40%RM.

Figura 5: Gráfico de Resistência à Compressão Simples PIR e PI20%RM



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a substituição do agregado graúdo convencional (brita granítica 9,5 mm) por rejeitos britados resultantes do corte de mármore nos teores de 20% e 40%, promoveu a redução da resistência à compressão simples para os pisos intertravados em todas as idades de cura em estudo. Aos 28 dias houve uma redução de 20,43% para o PI20%RM e 11,06% para o PI40%RM.

De acordo com a norma ABNT NBR 9781:2013, a resistência à compressão mínima do piso intertravado aos 28 dias para ser utilizado submetido às solicitações de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha é de 35 MPa. Então, foi possível observar que, mesmo com a redução na resistência, o PI20%RM atingiu 35,55 MPa, e o PI40%RM atingiu 39,74 MPa, ambos ultrapassando a mínima resistência exigida para essa função do piso intertravado.

A menor resistência obtida, pode ser justificada pela maior porosidade do rejeito de mármore, já que Neville (2016) retrata que a resistência do concreto é, principalmente, uma

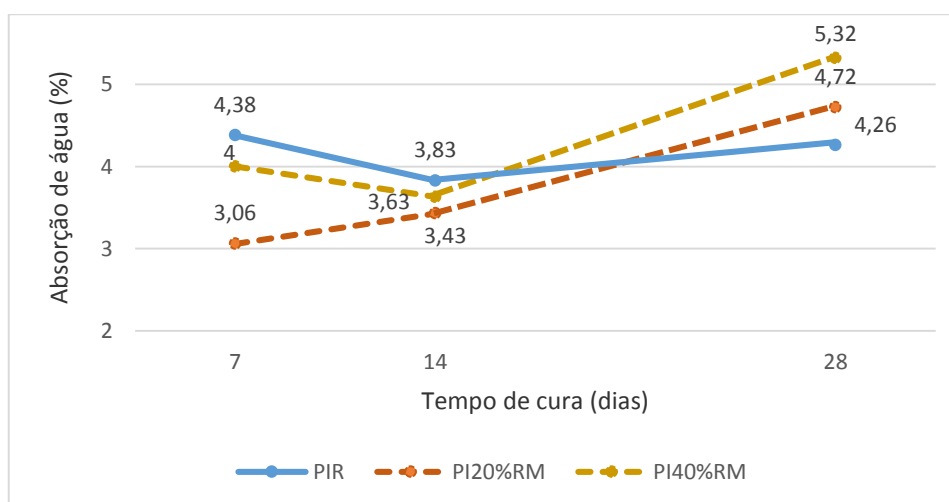
função do volume de vazios contidos nele, sendo resistência e porosidade inversamente proporcionais.

Caracterização física do piso intertravado com substituição do agregado graúdo por rejeito britado proveniente do corte de mármore e granito

Determinação da Absorção de Água

A Figura 6 ilustra os resultados obtidos para a absorção do piso intertravado de referência – PIR e dos pisos intertravados com 20% de rejeitos de mármore – PI20%RM, e 40% de rejeitos de mármore – PI40%RM.

Figura 6: Gráfico de Absorção de água do piso intertravado de referência – PIR e do piso intertravado com rejeitos de mármore nos teores de 20% - PI20%RM e com 40% - PI40%RM



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

O PI20%RM apresentou aos 28 dias uma absorção de 10,8% superior ao PIR, e o PI40%RM obteve uma absorção de 24,88% superior ao de referência.

Gomes (2018) avaliou o desempenho do concreto produzido com substituição do agregado graúdo convencional por rejeitos provenientes do corte de mármore e granito e, a respeito da absorção, observou que ocorreu uma elevação dos resultados quando comparados aos obtidos para o concreto de referência, mas que satisfizeram os parâmetros normativos.

Segundo Rodrigues (2015), valores de absorção situados entre 4% e 5% servem de indicação de concretos com permeabilidades mínimas, sendo materiais que se utilizados em estruturas dificilmente apresentarão falhas devido adensamento incompleto e exsudação.

Portanto, no presente trabalho, como esperado em virtude da absorção do rejeito de mármore ser maior, houve elevação da absorção dos pisos intertravados providos desse resíduo. Entretanto, satisfizeram os parâmetros exigidos na ABNT NBR 9781/2013, pois tanto o PI20%RM e o PI40%RM apresentaram aos 28 dias os valores de 4,72% e 5,32%, respectivamente, menores que o máximo exigido de 6 %.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

Em termos de massa unitária e massa específica, o rejeito britado de mármore se assemelha ao agregado convencional, mas difere consideravelmente na absorção. Pelos ensaios de caracterização e com a revisão da literatura, compreendeu-se que isso se dá devido à maior porosidade desse resíduo.

Verificou-se a redução da resistência à compressão simples tanto para o teor de 20% quanto para o de 40% de rejeito de mármore para todas as idades de cura, quando comparado ao piso intertravado de referência. Apesar da redução da resistência à compressão simples, os pisos intertravados com teores de resíduos de mármore atingiram a resistência mínima exigida por norma para serem utilizados submetidos às solicitações de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha.

Observou-se que a absorção do rejeito de mármore influenciou na absorção do concreto, pois os pisos intertravados com teores do resíduo apresentaram elevação nos valores desta propriedade, mas satisfizeram os parâmetros normativos.

A utilização do rejeito britado de mármore em concreto, visando à substituição parcial do agregado graúdo, contribui para redução do descarte deste material no meio ambiente e agrega valor ao resíduo indesejável. Além de, por se apresentar como material alternativo, contribuir para redução do consumo de matérias-primas naturais.

REFERÊNCIAS

MOURA, A.M.; LEITE, M. B. **Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação.** Rem: Revista Escola de Minas, vol. 64, núm. 2, abril-junio, 2011, pp. 147-154.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7211: **Agregados para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 9781: **Peças de concreto para pavimentação**- Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NM 53: **Agregado Graúdo** - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NM 67: **Concreto** – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NM 248: **Agregados** - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BRANDÃO, A. C. L. **Análise de características do concreto com adição de raspas de pneu e pó de mármore**. 2014. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Materiais) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo.

FIGUEIRA, H. V. O.; LUZ, A. B.; ALMEIDA, S. L. M. Britagem e Moagem. In: Luz, A. B. et al. **Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/COPM. 2010. Cap. 4, p. 143-211

GOMES, P.M.V. **Aproveitamento de rejeitos provenientes do corte de mármore e granito para produção de concreto**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

GONÇALVES, J. P., **Utilização do Resíduo de Corte de Granito (RCG) como adição para produção de concretos**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

JOHN, Vanderley M. **Reciclagem de resíduos para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo: Escola Politécnica da USP/ Departamento de Engenharia de Construção Civil (Tese de livre Docência). São Paulo, 2000.

MATIAS, M. A. P.; BEZERRA, L. E. F. ; MENDONÇA, A. M. G. D. . **Concreto produzido com agregado reciclado**: determinação das propriedades físicas. In: III Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, 2018, Campina Grande. Anais do III Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, 2018.

MENDONÇA, A. M. G. D; MONTEIRO H. B. S; CHAGAS FILHO, M. B. Avaliação das resistências de concretos com adição de resíduo oleoso da indústria de e & p de petróleo sob influência da umidade. In: **X Congresso de Iniciação Científica da UFCG**, 2013.

MOTHÉ FILHO, H.F.; POLIVANOV, H.; MOTHÉ, C.G. (2005) Reciclagem dos Resíduos Sólidos de Rochas Ornamentais. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 139-151.

NEVILLE, A. M.; CREMONINI, R. A. **Propriedades do Concreto**. Porto Alegre: Bookman, 2016.

RODRIGUES, M. A. **Utilização dos resíduos de cortes de placas de mármore e granitos como adição na fabricação de concreto autoadensável**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Amazonas, Manaus.