

**ANÁLISE DA ADIÇÃO DE LAMA DE BRO AO CONCRETO PARA FINS
ESTRUTURAIIS**

**ANALYSIS OF THE ADDITION OF BRO MUD TO CONCRETE FOR
STRUCTURAL PURPOSES**

Danielle Chaves Ribeiro¹
Clarisse Pereira Pacheco²

RESUMO: A Lama de Beneficiamento de Rochas Ornamentais (LBRO) é gerada no processo de serragem dos blocos, trata-se de um resíduo que possui granulação fina e sua composição indica potencial de utilização em diversos setores produtivos. Neste artigo apresenta-se um estudo de viabilidade de adição do resíduo para produção do concreto para fins estruturais. Para concepção do estudo realizou-se ensaios em laboratório, sendo definidos quatro traços para análise do comportamento do concreto com adição do material, no primeiro traço utilizou-se a composição usual para concreto, sem adição do resíduo de LBRO, já no segundo traço houve adição de 5% de resíduo, no terceiro traço foram utilizados 10% de resíduo e no quarto traço a adição foi de 15%. Finalizados os ensaios observou-se que todas as adições foram viáveis, mas a adição de 10% de resíduo foi a que apresentou melhor resultado na resistência do concreto, ao ser comparado com o traço referência. Com isso, constata-se que o resíduo é uma adição viável no concreto para fins estruturais e colabora com o desenvolvimento sustentável.

Palavras-Chave: LBRO; Resíduo; Concreto; Traço.

ABSTRACT: Ornamental Rock Processing Mud (LBRO) is generated in the block sawing process. It is a fine-grained residue and its composition indicates potential for use in various production sectors. This article presents a feasibility study on adding waste to produce concrete for structural purposes. To design the study, tests were carried out in the laboratory, defining four traces to analyze the behavior of concrete with the addition of the material, in the first trace the usual composition for concrete was used, without the addition of LBRO residue, in the second trace there was addition of 5% of residue, in the third trace 10% of residue was used and in the fourth trace the addition was 15%. At the end of the tests, it was observed that all additions were viable, but the addition of 10% of residue was the one that presented the best result in concrete resistance, when compared with the reference mixture. Therefore, it appears that the residue is a viable addition to concrete for structural purposes and contributes to sustainable development.

Keywords: LBRO; Residue; Concrete; Feature.

1. INTRODUÇÃO

¹ Centro Universitário Salesiano – Vitória/ES, Brasil

² Centro Universitário Salesiano – Vitória/ES, Brasil

Estima-se que no Brasil no ano de 2019 foram geradas cerca de 9.000.000 toneladas/ano de rocha (ABIROCHAS, 2021), tornando-se um dos países que mais se destaca mundialmente na produção e comercialização de rochas ornamentais. De acordo com dados da Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2021), o país é o quinto maior produtor mundial de rochas ornamentais, após China, Índia, Turquia e Irã. Dentre os estados brasileiros, segundo ABIROCHAS (2021) o Espírito Santo foi o maior produtor nacional no ano de 2019, chegando a produzir cerca de 2.800.000 toneladas.

Os blocos de pedra são extraídos de pedreiras e levados para as indústrias de rochas ornamentais. Nessa indústria, os blocos passam por um processo de limpeza, onde é realizada uma lavagem e seguem para a serragem nos teares, onde são feitas as chapas. A produção dessas chapas pode ser feita através do método tradicional de teares com lâminas de aço ou com os teares de fios diamantados, sendo este último um método mais moderno e que traz melhores resultados. Quando a rocha é serrada, gera-se o que é conhecido como Lama de Beneficiamento de Rochas Ornamentais (LBRO) (Neves *et al*, 2021).

O artigo irá analisar a adição de LBRO ao concreto com o intuito de utilizá-lo para fins estruturais, de modo que haja uma valorização do resíduo de granulometria fina.

Destaca-se como problema de pesquisa a quantidade de resíduo a ser adicionado ao concreto de forma que o resultado seja viável, tendo como objetivo geral obter a resistência do concreto. Os objetivos específicos deste trabalho serão analisar as propriedades do resíduo Lama de BRO e definir a porcentagem de adição de resíduo; calcular o traço do concreto; realizar ensaios em laboratório sobre a caracterização dos materiais e do resíduo; verificar a resistência a compressão do concreto; identificar a absorção de água e comprovar se a adição do resíduo é viável para concreto estrutural.

Para definir a porcentagem a ser usada como adição, cita-se três hipóteses: a primeira adicionar 5% do resíduo; a segunda adicionar 10% do resíduo; e a terceira adicionar 15% do resíduo em relação a massa do cimento.

O artigo abordará a reutilização do resíduo em um dos principais materiais de construção civil, o segundo mais utilizado no mundo, que é o concreto. Segundo a Resolução do Conama Nº 307 que estabelece procedimentos para gestão de resíduos da construção civil, o beneficiamento é a ação de submeter resíduos a processos que proporcionem condições para sua utilização como matéria-prima ou produto, com isso, os estudos sobre os resíduos são de extrema importância, pois permitem o melhor aproveitamento da matéria-prima e redução das agressões ao meio ambiente, minimizando os impactos negativos. Os resíduos de construção civil não podem ser despejados em locais de destinação de resíduos domiciliares, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei, obedecendo os prazos estipulados no art. 13 desta resolução. Deste modo, com o intuito de gerenciar, promover a destinação correta de resíduos e o desenvolvimento de novas tecnologias utilizando materiais economicamente viáveis e de procedência nacional, estudos neste segmento são essenciais para o desenvolvimento sustentável.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo abordará sobre os conceitos dos resíduos de rochas ornamentais, onde mostra suas aplicações e a geração dos resíduos, tendo como destaque a reutilização do resíduo como adição ao concreto, com o intuito de torná-lo ainda mais resistente, diminuindo assim, os impactos ambientais decorrentes do descarte incorreto.

2.1 RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Primeiramente, é importante destacar que a indústria de rochas ornamentais gera grandes volumes de resíduos sólidos poluentes durante o corte e processamento, e espera-se que o quantitativo de resíduos aumente em volume. Segundo Santos *et al.* (2013), o Estado do Espírito Santo é considerado o maior produtor e exportador de rochas ornamentais do País. Durante o processo de corte e beneficiamento, é gerada uma grande quantidade de resíduos sólidos, que precisam ser reaproveitados, sob pena de causar danos irreparáveis ao meio ambiente.

O processo de beneficiamento de rochas ornamentais possui as seguintes etapas: a serragem de blocos em placas semiacabadas usando teares com lâminas de aço tradicionais ou fios diamantados. Durante o processo de corte dos blocos em chapas, cerca de 25% a 30% do volume do bloco sofre degradação (Gonçalves, 2000; Cavalcanti, 2006). Os teares tradicionais utilizam uma massa de gralha de aço, cal e água, que também é conhecida como “lama abrasiva” (Calmon; Silva, 2006) ou Lama de Beneficiamento de Rochas Ornamentais – LBRO (Espírito Santo, 2016). Essa massa é descartada devido ao seu desgaste, gerando assim, um resíduo de granulação fina, composto pelo pó da rocha e da matéria-prima utilizada no processamento.

De acordo com Braga *et al.*, (2010), os resíduos provenientes do processo de BRO, inclusive as lamas de beneficiamento de rochas ornamentais (LBRO), possuem sua composição química dependente da composição das rochas, do processo de beneficiamento, da obtenção das matérias-primas e demais condições. A definição e a especificação das LBRO são extremamente importantes, essencialmente para o Estado do Espírito Santo, por possuir muitas empresas do setor, sendo também um dos principais no ramo de obtenção da matéria-prima e venda dos produtos gerados através da extração das rochas.

Conforme a NBR 10004 (2014), os resíduos sólidos são classificados de acordo com seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, sendo eles classificados em Classe I – Perigosos e Classe II – Não perigosos, sendo que a Classe II é subdividida em Classe IIA (Não inertes) e Classe IIB (Inertes).

Segundo Buzzi (2008), em uma pesquisa realizada junto a um grupo de empresas de rochas ornamentais, localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim – ES, com o objetivo principal de classificar e quantificar as LBRO, de acordo com a NBR 10004, os resíduos sólidos contidos nesta lama não apresentaram propriedades perigosas, como: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Porém, constatou-se que 77% das amostras foram classificadas como Resíduo Classe IIA – Não Inertes e 23% como Resíduo Classe IIB – Inertes, sendo os

parâmetros Al, Ba, Cd, Pb, Cl⁻, Cr, fenol, Fe, F⁻, Hg, Ag, Na e SO₄²⁻, fatores que fazem com que a amostra seja não inercial.

Inicialmente, refere-se que o resíduo no estado do Espírito Santo é considerável, sendo assim motivos de aprendizados para aplicação na construção civil, segundo Dietrich *et al.*, (2017) os estudos publicados demonstram a eficiência desse resíduo como substituto do agregado miúdo e substituto parcial do cimento na construção civil, como adição ao concreto e em outras aplicações.

2.1.1 Descarte incorreto do resíduo

O descarte da lama de BRO, normalmente, é realizado de forma inadequada, fazendo com que ocorra sérios problemas no meio ambiente, principalmente, a poluição ambiental, que faz com que as áreas verdes sejam extremamente afetadas, assoreamentos dos rios, poluição da água, colocando em risco a fauna e flora do local (Bastos *et al.*, 2013).

Os resíduos de LBRO gerados pelas empresas são levados a aterros licenciados, fazendo com que essas práticas contribuam com o cumprimento das legislações. No município de Nova Venécia, zona rural do Estado do Espírito Santo, há uma empresa específica que faz o reaproveitamento do resíduo proveniente da LBRO, sendo utilizada como “cama de amortecimento” como substituição ao solo preparado com o intuito de amortecer o impacto de queda dos blocos lavrados (Lima, 2023).

Segundo Valle (1995), as características dos resíduos gerados ou acumulados nas empresas de marmoraria desempenham uma tarefa importante na escolha do melhor tratamento ou solução para descarte. Por exemplo, Lorenzoni (2005), menciona os resíduos do Processo de Beneficiamento de Rochas Ornamentais (LBRO), que vem enfrentando problemas para a destinação final da maneira ambientalmente correta, devido à falta de informações sobre sua caracterização.

Após consultas na literatura, nota-se a escassez das pesquisas de caracterização ambiental das LBRO e que os resultados apresentados são estudos que existem apenas para fins de demonstração dos riscos que a lama pode trazer caso seja descartada de forma inadequada no meio ambiente. Apenas nos estudos de Buzzi *et al.*, (2006) e Manhães e Holanda (2008), a especificação teve como objetivo a gestão ambiental da LBRO.

Nos últimos anos, as indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais vêm sendo citadas por ambientalistas pelo fato de não possuírem um processo de tratamento para evitar os impactos ambientais causados pelo grande volume de resíduos gerados (Nunes *et al.*, 2002).

Em consequência do alto nível de poluição, espera-se que sejam desenvolvidos novos materiais e processos que se beneficiem não só aos aspectos econômicos, mas também aos aspectos ambientais e sociais (Bastos, 2013).

A indústria da construção civil vem enfrentando desafios relacionados à sustentabilidade e ao gerenciamento de forma adequada dos resíduos gerados no processo de produção. A utilização do resíduo vem mostrando que pode trazer

benefícios ambientais importantes, tais como: a redução da quantidade de resíduos despejados em aterros e diminuição da extração das matérias-primas (Santos, 2007).

2.2 CONCRETO

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil e também no mundo, perdendo apenas para a água, sendo considerado de fácil manejo, além de possuir uma grande durabilidade e um bom preço no mercado (Garcia *et al.*, 2014; Trindade, 2017).

É composto por: cimento, água, areia e agregados, no qual se torna um material moldável e que ao chegar no ponto de endurecimento, possui características sólidas, resistentes e com grande durabilidade (OFICEMEN, 2023).

O resultado da mistura de cimento e água gera uma pasta, permitindo que o material seja moldado em qualquer forma. Após feito o processo de desidratação, é iniciado o processo de endurecimento, dando resistência mecânica ao concreto, deixando-o com grande desempenho estrutural, podendo ser aplicado em vários locais (Neville, 2013; Martins, 2005).

A resistência do concreto é influenciada pela relação água/cimento, pelo tipo e tamanho dos agregados e mistura do concreto, deve ser feito o controle adequado durante a dosagem e mistura, a fim de garantir uma resistência satisfatória, atendendo as demais normas técnicas (Couto *et al.*, 2013).

Com a mistura dos elementos, acontece uma reação química entre o cimento e a água, fazendo com que a mesma fique endurecida se tornando um material com grande resistência mecânica à compressão. Quando é tracionado, essa resistência não pode ser considerada, com isso, na maioria das vezes, é adicionado o aço, a fim de assumir esse papel de resistência à tração, formando o concreto armado (Garcia *et al.*, 2014; Fusco, 2012).

Suas características físicas e mecânicas são únicas, tornando o concreto indispensável na construção de edifícios, pontes, barragens e diversas outras infraestruturas (Silva *et al.*, 2019).

A LBRO tem sido testada em diversos estudos devido à necessidade especial de utilização de agregado miúdo em concreto autoadensável, por ser um material fino. Os concretos prontos atingem o estado fresco e endurecido após a dosagem adequada de resíduo e teor de superplastificante dentro dos parâmetros estabelecidos para aquele concreto, incluindo algumas aplicações práticas. Os aspectos de durabilidade do concreto autoadensável feito com LBRO foram verificados por permeabilidade ao ar, absorção de água, resistência à carbonatação, resistência à corrosão de barras de aço embutidas no concreto, resistência ao impacto e resistência ao ataque por sulfatos, em geral, obteve melhores resultados do que os concretos tradicionais (Lisboa, 2004; Calmon *et al.*, 2005; Barros, 2008).

Os concretos feitos com cimento Portland possuem várias formas de aplicação, tal diversidade possibilita uma alta opção de escolha. Os concretos realizados em betoneiras vêm demonstrando as características de durabilidade e resistência do

concreto, que normalmente são utilizados em edifícios e obras públicas (OFICEMEN, 2023).

A durabilidade imprópria do concreto se dá por conta dos fatores externos ou por causas internas de seu interior, que sofrem ações físicas, químicas e mecânicas. (Neville, 1997).

A trabalhabilidade, assim como a consistência, não é apenas uma propriedade referente ao concreto, envolve também o trabalho e os métodos de execução que são adotados. Um concreto adequado de grande dimensão e pouco armado pode não ser para peças finas e muito armadas, e ainda um concreto que apresente um bom adensamento com a vibração, dificilmente terá uma moldagem satisfatória com o adensamento manual (Sobral, 2000).

Segundo Sousa *et al.* (2021), o concreto possui grandes propriedades de isolamento térmico e acústico devido a sua massa e densidade que contribuem para a redução de temperatura e ruído em edificações, trazendo conforto para os usuários.

Com as evoluções tecnológicas, novos tipos de concreto com propriedades especiais vêm surgindo, dentre eles, o concreto autocompactável (CAC). Esse tipo possui alta fluência e capacidade de preencher moldes que sejam complexos, reduzindo assim, a mão de obra e o tempo de construção. Normalmente, o CAC é utilizado em estruturas pré-moldadas, ajudando na produtividade e qualidade nas construções (Silva *et al.*, 2020).

A adição de minerais na produção do concreto, tais como cinza volante e escória de alto-forno, faz com que seja alterada a propriedade do mesmo, tanto em seu processo de preparação, quanto após utilizado, diminuindo também a emissão de CO₂. Considera-se que quando endurecido, o concreto possui maior resistência e quando é aplicada uma força sobre ele, possui uma alta permeabilidade, porosidade e resistência a fatores agressivos (Gonçalves, 2000). A reutilização destes resíduos faz com que reduza o descarte em aterros sanitários (Lévatois *et al.*, 2022).

2.2.1 Uso da lama de BRO no concreto

Para a utilização da lama de BRO no concreto, é necessário realizar estudos específicos para que sejam informadas suas características, os processos de produção e as funções estruturais. É preciso saber a dosagem necessária, verificando a relação água/cimento, o teor de adição e as características do agregado, a fim de obter um concreto resistente e com boa durabilidade (Barros, 2008).

A vantagem da utilização do resíduo de lama de BRO no concreto faz com que diminua o consumo de cimento, que é um material que gera grande quantidade de CO₂, diminuindo assim, os impactos ambientais, sendo essas práticas voltados para os assuntos sustentáveis dentro da construção civil (Teixeira *et al.*, 2020).

O RBRO é um material que não possui mudanças em sua composição química quando incorporado a uma matriz cimentícia e exerce a função de preencher os poros devido ser um material extremamente fino. Sua composição é cristalina e não possui alterações, evitando a reação química com outros compostos do cimento (Mitri, 2016).

De acordo com pesquisas realizadas por Sena *et al.* (2020), o traço com 5% de adição de resíduo teve um aumento de resistência em comparação ao concreto de referência, pelo fato do resíduo do corte do mármore e granito atuar como filler, diminuindo a permeabilidade do concreto e contribuindo para o preenchimento do composto o que proporcionou em um significativo ganho de resistência à compressão.

A lama de BRO pode ser utilizada como material de enchimento em misturas asfálticas por possuir grande desempenho reológico, mecânico, térmico e de sensibilidade à água. Seu uso em matrizes betuminosas é apropriado pelo fato do material ser fino e por não apresentar reações químicas (Souza *et al.*, 2005).

O resíduo por ser um material fino, preenche os poros entre os agregados, fazendo com que haja o equilíbrio da mistura e conseqüentemente aumenta a firmeza da mesma (Souza *et al.*, 2005).

Utiliza-se também na produção de blocos, telhas, tijolo de solo cimento e existe a possibilidade para a produção da cerâmica vitrificada, fazendo com que melhore a resistência mecânica e suas propriedades físicas (Dantas, 2008; Souza, 2011).

Segundo Soares (2014), para a utilização desse resíduo na construção civil, são realizadas várias pesquisas com o intuito de terem novas aplicações. Após as aplicações serem feitas com o resíduo e obtenção dos resultados, é chamado de subproduto. Um exemplo, é a escória de alto-forno, sílica ativa e cinza volante, onde são adicionados a materiais de matrizes cimentícias, fazendo com que tenha um menor impacto ambiental. Com isso, a destinação final de descarte do material é alterada.

A lama de BRO pode ter a função de um agente mineralizante no concreto. De acordo com Barros (2008), a adição de lama de BRO ao concreto faz com que aumente a resistência da penetração de íons cloreto, fazendo com que reduza a corrosão nas armaduras e aumente a vida útil das estruturas.

O resíduo de rocha ornamental poderia substituir o material fundente natural, que é normalmente utilizado, no caso feldspatos sódico e potássico. Vale ressaltar que, os resíduos estudados ricos em $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (80,980 – 95,316 %), possuem potencial para serem utilizados na fabricação de argamassas para a construção civil (Santos *et al.*, 2013).

Na década de 90, foi aplicada a lama de BRO em argamassas e através de estudos foram extraídos resultados positivos. A troca de cal por resíduo de corte de granito foi eficiente quando comparado às características da argamassa de referência. Já nas argamassas de revestimento, foram adicionados resíduos de corte de mármore, onde conseguiram obter resultados satisfatórios (Calmon, 1997; Menezes, 2009; Gonçalves, 2011).

As pesquisas realizadas com argamassa mostraram a probabilidade de aplicação de LBRO na substituição da areia, com aumento de 10% na resistência a compressão (Moura *et al.*, 2002) e geralmente com a troca ocorre uma diminuição do índice de consistência e melhor amassamento devido a incorporação da água (Reis *et al.*, 2011).

Por conta do grande descarte de materiais de rochas ornamentais, as indústrias de construção podem reaproveitar o resíduo com o intuito de reduzir o custo de produção do concreto (Moura *et al.*, 2007). Esse resíduo tem grande potencial para substituição parcial do cimento, gerando economia para as empresas do setor (Teixeira *et al.*, 2021).

Existem várias pesquisas que são baseadas no uso de LBRO para produzir blocos e outros tipos diferentes de materiais pré-fabricados. A confecção de blocos de vedação, blocos estruturais e placas de pavimentação feitos de resíduos em substituição ao cimento atinge a resistência à compressão e de absorção em até 10%, o que atende aos requisitos estabelecidos. Os blocos estruturais são produzidos com resíduos em substituição de areia fina. Para os mesmos atributos de avaliação, também obteve resultados positivos. O resíduo é efetivamente utilizado como aditivo em ladrilhos hidráulicos para pisos táteis e blocos paisagísticos (Moura *et al.* 2007; Falcão *et al.*, 2001; Reis, 2008; Freira *et al.*, 2009).

O uso de LBRO em matrizes cimentícias são variadas e as aplicações referem-se à produção de concreto, argamassa, blocos, elementos pré-moldados e cimento, atuando como suplemento mineral, como alternativa aos agregados e até ligantes (Bastos, 2013).

Visto que o resíduo é utilizado em matrizes betuminosas, cerâmicas e cimentícias, também há a utilização dele como matéria-prima para materiais provenientes de vidros (Bastos, 2013).

Analisando a composição química do resíduo, constata-se que possui alto potencial na fabricação de vidros devido à presença de óxidos (SiO_2) e outros componentes óxidos (Al_2O_3 , CaO , K_2O , Na_2O e MgO). Estudos apontam a possibilidade de produção de vidro sodo-cálcico (Babisk, 2009) e borossilicatos (Marçal, 2011) por meio de tratamento térmico após ajustar sua composição química.

Com a adição de resíduos, além de melhorar o desempenho dos concretos, também tem como fator importante o desenvolvimento sustentável. (Bilodeau e Malhotra, 2000).

3. METODOLOGIA

Com o intuito de gerenciar melhor a pesquisa e atingir os objetivos propostos, foi realizada a caracterização dos materiais e resíduo, definição dos traços com a preparação e moldagem dos corpos de prova, realização dos ensaios em laboratórios de resistência a compressão do concreto e absorção de água. Para embasamento nos estudos foram realizadas várias pesquisas bibliográficas a fim de atualizar, desenvolver o conhecimento e contribuir com resultados.

As amostras de lama de BRO provenientes da serragem dos blocos por meio de teares de fio diamantado foram fornecidas pela empresa de mármore localizada em Cariacica e os ensaios laboratoriais aconteceram no laboratório da Unisales, tendo como objetivo principal analisar a adição do resíduo de lama de BRO ao concreto para fins estruturais com a finalidade de avaliar a resistência do concreto.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

O primeiro passo desta pesquisa foi coletar a lama de beneficiamento de rochas ornamentais e realizar a caracterização de todos os materiais que são utilizados na produção do concreto, posteriormente foi feita a dosagem e definição do traço de referência.

Os materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova foram o pó do resíduo de lama de BRO, cimento Portland CP V-ARI, agregado miúdo, agregado graúdo, água e aditivo.

3.1.1 AGREGADO MIÚDO

O agregado miúdo utilizado para a produção dos corpos de prova foi areia proveniente de rio lavada, sendo comercializada na região metropolitana de Vitória/ES. Foi realizado o ensaio de granulometria, massa unitária e massa específica.

3.1.1.1 Determinação da composição granulométrica

Conforme a norma ABNT NBR NM 248 - Agregados: Determinação da composição granulométrica é realizado o ensaio com 300 g de amostra seca do material. Para a realização do ensaio utilizou-se balança analítica de precisão, recipientes e jogo de peneiras granulométricas com medidas de; 4,75; 2,36; 1,18; 0,6; 0,3; 0,15 mm com fundo. Na primeira peneira da série, o recipiente é agitado manualmente até que todo o material passe pela malha metálica. Depois disso, repete-se o processo com cada uma das demais peneiras da série em ordem decrescente de abertura dos orifícios até chegar à última. Ao final do ensaio, realiza-se a pesagem do material que ficou retido em cada peneira e registra-se os valores obtidos. O resultado que constou da amostra retida deve ser transformado em percentual, para que seja encontrado o módulo de finura, logo após foi realizado a soma das porcentagens retidas acumuladas e dividido por 100.

A imagem 1 mostra o agregado miúdo passando pela peneira e a pesagem da amostra que fica retida.

Imagem 1 (a) Granulometria (b) Pesagem da amostra retida



(a)



(b)

3.1.1.2 Determinação da massa unitária

De acordo com a NBR 16972- Agregados: Determinação da massa unitária e do índice de vazios realizou-se o ensaio de massa unitária solta, no qual lançou-se a amostra no recipiente a uma altura de aproximadamente 10 cm da borda superior do recipiente até preenchê-lo completamente, evitando a segregação da amostra, depois foi nivelada a camada superior com a régua metálica e posteriormente foi realizada a pesagem. O resultado é dado pelo valor da massa do agregado que é a diferença entre a massa total (agregado + recipiente) descontando o valor do recipiente. Para a realização do ensaio foram necessários os seguintes materiais: amostras do agregado; recipiente metálico; bandeja metálica; balança; concha e régua metálica.

Na realização do ensaio de massa unitária compactada foi necessário determinar a massa do recipiente vazio, logo após foi despejado a areia em 3 camadas, e em cada camada, aplicado 25 golpes com a haste, distribuídos uniformemente. Na primeira camada, houve um cuidado para não atingir o fundo do recipiente e nas demais um cuidado para não atingir a camada inferior. Após finalizar a última camada realizou-se o nivelamento da superfície com a régua metálica, e foi levado para a pesagem. Após a pesagem, registrou-se o valor total (agregado + recipiente) e subtraiu-se o valor do recipiente. Para a realização do ensaio foram utilizadas amostras do agregado; recipiente metálico; balança; concha; régua metálica e haste.

Sendo os valores obtido por meio da equação I:

$$\rho = \frac{m_{ar}-m_r}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad \text{(Equação I)}$$

Onde:

ρ : Massa unitária do agregado; m_{ar} : É a massa do recipiente mais o agregado; m_r : É a massa do recipiente vazio; V : É o volume do recipiente.

Realizou-se três determinações de massa unitária, adotando-se como resultado a média entre estas.

A imagem 2 é referente a execução do ensaio de massa unitária que foi realizada com o agregado miúdo de forma solta e compactada.

Imagem 2 (c) Massa unitária solta (d) Massa unitária compactada



(c)



(d)

Fonte: Autor próprio, 2023

3.1.1.3 Determinação da densidade

Segundo a NBR 16916 - Agregado miúdo: Determinação da densidade e da absorção de água utiliza-se os seguintes materiais para a realização do ensaio: balança; frasco Chapman; funil; recipiente para coleta de 500g do material; e espátula de aço. Colocou-se 500 g da amostra em um frasco e depois encheu-se o frasco com 200ml de água. Foi necessário mover o frasco de forma a eliminar as bolhas de ar realizando movimentos circulares e, posteriormente, foi feita a leitura no frasco.

Para a realização do cálculo da densidade do agregado na condição seca, usou-se a equação II:

$$p_s = \frac{m_A}{V - V_a} \quad (\text{Equação II})$$

Onde:

p_s : É a densidade do agregado na condição seca; m_A : É a massa da amostra seca;

V : É o volume do frasco; V_a : É o volume de água adicionada ao frasco.

A imagem 3 apresenta os materiais que foram utilizados no ensaio de densidade e a leitura realizada no frasco Chapman.

Imagem 3 (e) Materiais utilizados no ensaio (f) Densidade da amostra



(e)

Fonte: Autor próprio, 2023



(f)

3.1.2 AGREGADO GRAÚDO

O agregado graúdo utilizado na produção do concreto é de origem de rochas de granito e sua comercialização é feita na região metropolitana de Vitória/ES. Realizou-se o ensaio de granulometria, massa unitária e massa específica de acordo com as instruções passadas pelas normas.

3.1.2.1 Determinação da composição granulométrica

A norma ABNT NBR NM 248 - Agregados: Determinação da composição granulométrica cita alguns materiais que foram utilizados nessa etapa, sendo: balança

analítica de precisão, recipientes e jogo de peneiras granulométricas com medidas de 75; 63; 50; 37,5; 31,5; 25; 19; 12,5; 9,5; 6,3 mm com fundo. As etapas para definição do ensaio de granulometria para o agregado graúdo seguem o mesmo processo do item 3.1.1.1, sendo diferente apenas as medidas da peneira granulométrica e a quantidade de amostra utilizada, que foi 1kg de agregado graúdo.

A imagem 4 mostra o material sendo passado pela peneira para o ensaio de granulometria.

Imagem 4 Granulometria agregado graúdo



Fonte: Autor próprio, 2023

3.1.2.2 Determinação da massa unitária

O ensaio para determinação da massa unitária do agregado graúdo foi executado conforme a NBR 16972 e o processo segue de acordo com o que está escrito no item 3.1.1.2, sendo necessário realizar três determinações de massa unitária e adotar como resultado a média.

A imagem 5 mostra a execução do ensaio de massa unitária do agregado graúdo de forma solta e a pesagem da amostra com o preenchimento total do recipiente.

Imagem 5 (g) Pesagem da amostra (h) Massa unitária solta



(g)

Fonte: Autor próprio, 2023



(h)

3.1.2.3 Determinação da densidade e da absorção de água

Para a realização do ensaio teve como base a NBR 16917 - Agregado graúdo: Determinação da densidade e da absorção de água. Os materiais necessários para o desenvolvimento do ensaio foram uma balança; recipiente; balde; peneiras e espátula de aço. A análise foi realizada por meio de uma lavagem da amostra sobre a peneira 4,8 mm e, em seguida, foi coletado 2kg de amostra molhada para pesagem. Após a coleta, a quantidade de amostra citada anteriormente, foi espalhada em um recipiente para que o agregado ficasse submerso a água durante 48 horas. Após isso, foi retirada a amostra molhada e realizada a secagem através de um pano e foi feita uma nova pesagem. Em seguida, colocou a amostra seca no recipiente cilíndrico metálico e levou o objeto submerso ao balde, onde ficou suspenso a balança para que fosse obtido o valor de seu peso submerso. Para os cálculos da massa específica aplicam-se as fórmulas adotadas no item 3.1.1.3, e para o cálculo de absorção de água foi necessário pesar a amostra em estufa para obter o peso dela seca e posteriormente utilizou-se a equação III:

$$Abs = \frac{mB - mA}{mA} \times 100 \quad \text{(Equação III)}$$

Abs: Absorção de água;

mA: Massa da amostra seca em estufa a 105°C;

mB: Massa da amostra na condição saturada.

A imagem 6 é referente a pesagem da amostra saturada e a pesagem da amostra submersa.

- . Imagem 6 (i) Pesagem da amostra saturada (j) Pesagem da amostra submersa



(i)

Fonte: Autor próprio, 2023



(j)

3.1.3 LAMA DE BRO

O resíduo de lama de BRO foi coletado na empresa de mármore localizada em Cariacica/ES, o pó é gerado no processo de serragem dos blocos, essa serragem é realizada por teares de fio diamantado, no qual forma uma pasta devido a água que é lançada no processo de corte. A lama de BRO é colocada em uma estufa por 24 horas em 105°C, onde ocorre a retirada de umidade do resíduo.

3.1.3.1 Determinação do índice de finura

O resíduo por ser de granulometria fina, teve como base a norma NBR 11579 - Cimento Portland: Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200).

O procedimento é realizado com uma balança, peneira de 75 µm com tampa e fundo, pincel, bastão, flanela e um registrador de tempo. O ensaio foi realizado com uma amostra de $(50 \pm 0,05)$ g de resíduo sobre a tela da peneira, logo após movimentou-se suavemente a peneira de forma de vaivém horizontal, de maneira que o resíduo ficasse espalhado sobre a superfície da tela e peneirou até que os grãos mais finos passassem quase que totalmente pelas malhas da tela.

O resultado do índice de finura é expresso pela equação IV:

$$F = \frac{RC}{M} \times 100 \quad (\text{Equação IV})$$

Onde: F: Índice de finura; R: Resíduo na peneira 75 µm; M: Massa inicial; C: Fator de correção da peneira utilizada no ensaio.

A imagem 7 apresenta a amostra retida e a pesagem dessa amostra que ficou retida na peneira de 75 µm.

Imagem 7 (k) Amostra retida na peneira de 75 µm (l) Pesagem da amostra retida



(k)



(l)

Fonte: Autor próprio, 2023

3.1.3.2 Determinação da massa específica

O ensaio para calcular a densidade do resíduo teve como base a ABNT NBR 16605 – Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica, devido o resíduo ser de granulometria fina.

Para execução do ensaio foi utilizada uma balança, recipiente, funil, frasco volumétrico de Le Chatelier. A execução do ensaio se deu ao encher o frasco com líquido até uma marca de 1cm^3 , com auxílio do funil, após secou-se o colo do frasco volumétrico na parte acima do nível do líquido com papel e foi efetuada a leitura inicial V_1 . Colocou-

se 60 g de amostra dentro do frasco, em pequenas proporções, de modo que não ocorra aderência do resíduo nas paredes internas do frasco, acima do nível do líquido. Em seguida realizou-se movimentos pendulares de forma que o frasco retorne à posição vertical e não subam borbulhas de ar, logo após foi efetuado a leitura final V_2 .

O resultado da massa específica é dado pela equação V:

$$y = \frac{m}{V_2 - V_1} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad \text{(Equação V)}$$

Onde:

y: Massa específica;

m: Massa de cimento;

V_2 : Leitura final;

V_1 : Leitura inicial.

A imagem 8 é referente a leitura que é realizada pelo frasco Le Chatelier, afim de obter a densidade de LBRO.

Imagem 8 Densidade LBRO



Fonte: Autor próprio, 2023

3.1.4 CIMENTO

O cimento utilizado foi o CP V-ARI que segundo a NBR 5733 é um aglomerante que atende às exigências de alta resistência inicial.

3.1.5 ADITIVO

Foi utilizado o aditivo plastificante que auxilia na mistura do concreto, no qual diminui a quantidade de água, aumenta a trabalhabilidade, resistência e fluidez.

A imagem 9 é referente ao aditivo utilizado no concreto, foi colocado 60ml de aditivo em cada traço de concreto.

Imagem 9 Aditivo Plastificante



Fonte: Autor próprio, 2023

3.2 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS DE CONCRETO

Foram estabelecidas 4 dosagens distintas para a produção do concreto, sendo uma dessas dosagem a de referência. As outras 3 dosagens consistiram em adicionar 5%, 10% e 15% do resíduo em relação a massa do cimento no concreto.

A definição do traço depende dos resultados de características dos materiais que se mostra nos ensaios de agregados e de cimento que foram realizados de acordo com o tópico 3.1, após efetuar todos os ensaios utilizou-se a curva de Abrams e as tabelas conforme o método ABCP.

O primeiro passo é adotar o desvio padrão e calcular o F_{cj} por meio da equação VI:

$$F_{cj} = F_{ck} + 1,65 \cdot sd \quad (\text{Equação VI})$$

Onde:

F_{cj} : Resistência média do concreto à compressão a j dias de idade. F_{ck} : Resistência característica do concreto à compressão; Sd : Desvio-padrão da dosagem.

Para determinar o consumo dos materiais usa-se as equações VII, VIII, IX e X que constam abaixo:

$$V_{areia} = 1 - \left(\frac{C_{cimento}}{y_{cimento}} + \frac{C_{brita}}{y_{brita}} + \frac{C_{água}}{y_{água}} \right) \quad (\text{Equação VII})$$

$$C_{areia} = V_{areia} \cdot y_{areia} \quad (\text{Equação VIII})$$

$$C_b = V_b \cdot y_b \quad (\text{Equação IX})$$

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad (\text{Equação X})$$

Onde:

V: Volume; Y: Massa específica; C: Consumo

E por fim, a definição do traço é expresso pela equação XI:

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_{areia}}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} \quad (\text{Equação XI})$$

3.2 ENSAIOS DO CONCRETO

Nesse tópico será abordado a preparação dos corpos-de-prova para o recebimento do concreto e as formas de realizar os ensaios do concreto, a fim de obter resultados para o trabalho.

3.3.1 Moldagem dos corpos de prova

De acordo com a NBR 5738 - Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, realizou-se a moldagem em corpo de prova de dimensões 10x20cm, antes de proceder à moldagem dos corpos de prova, os moldes e suas bases foram revestidos internamente com uma fina camada de óleo de linhaça de modo que não reaja com o cimento.

Realizou-se a mistura da amostra para garantir a sua uniformidade, logo após colocou-se o concreto dentro dos moldes dividindo em duas camadas e em cada camada foram realizados 12 golpes a fim de compactar o concreto. A última camada foi moldada com quantidade em excesso de concreto, de forma que, ao ser adensada, completou-se todo o volume do molde, eliminando o material em excesso.

Após a moldagem, colocou-se os moldes sobre uma superfície horizontal rígida, aguardou-se os 7 dias para o tempo de cura, desmoldou com 24h e deixou imerso em água saturada com cal até o momento do ensaio.

A imagem 10 mostra o revestimento dos corpos de prova que foram feitos com óleo e o preenchimento com concreto.

Imagem 10 (m) Revestimento com óleo (n) Corpo de prova com concreto



(m)



(n)

3.3.2 Ensaio de abatimento do concreto (Slump Test)

O ensaio de slump test seguiu-se a NBR NM 67 – Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, que cita os seguintes materiais para realizar-se o procedimento: molde com forma de um tronco de cone oco, com o diâmetro da base inferior de 200mm; diâmetro da base superior de 100mm e a altura de 300mm; uma haste de compactação e uma placa metálica que seja plana e quadrada para servir de base. O procedimento ocorreu a partir do momento que colocou a placa base que sobrepôs o molde, posicionou-se os pés sobre as aletas e encheu o molde com o concreto, esse preenchimento foi realizado em três camadas, cada uma com um terço da altura do molde compactado, compactou-se cada camada com 25 golpes. Posteriormente, foi feita a medição do abatimento do concreto, determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo-de-prova, aproximando dos 5mm mais próximos.

A imagem 11 é referente ao molde do slump e a forma que é realizada a medida do slump.

Imagem 11 (o) Molde do slump test (p) Medida do slump test



(o)



(p)

Fonte: Autor próprio, 2023

3.3.3 Ensaio de absorção de água

De acordo com a NBR 9778:2005 - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, foi realizado o ensaio ao imergir os corpos de prova em água à temperatura de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$, por 24 h, após o tempo determinado foi feita a pesagem individual de cada corpo de prova na condição saturada com superfície seca e registrou-se o valor encontrado da massa saturada m_2 . Para a secagem foi necessário levar os corpos de prova saturados à estufa com temperatura a $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, mantendo esta condição por 24 h, logo após, pesou-se individualmente cada corpo de prova na condição seca em estufa e foi identificado o valor encontrado da massa seca m_1 .

O cálculo de absorção de água é dado pela equação XII:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (\text{Equação XII})$$

Onde:

A: Absorção de cada corpo de prova; m_1 : Massa do corpo de prova seco; m_2 : Massa do corpo de prova saturada.

3.3.4 Ensaio de resistência à compressão

A NBR 5739:2018 – Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, determina que o carregamento de ensaio deve ser aplicado de forma contínua e sem choques, com a velocidade de carregamento de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s. A velocidade de carregamento foi mantida constante durante todo o ensaio. O carregamento só parou quando houve a ruptura do corpo de prova.

A resistência a compressão deve ser calculada através da equação XIII:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad (\text{Equação XIII})$$

Onde:

f_c : É a resistência à compressão; F: É a força máxima alcançada; D: É o diâmetro do corpo de prova.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios descritos anteriormente. Inicialmente são avaliados os resultados dos ensaios realizados para caracterização dos agregados. Em seguida são analisados os resultados dos ensaios de caracterização da LBRO e posteriormente explicado o desenvolvimento do cálculo do traço de concreto, e por fim os ensaios realizados no concreto, apresentando no estado fresco a consistência e no estado endurecido, resistência a compressão e absorção de água.

4.1 AGREGADO MIÚDO

Para o agregado miúdo foram realizados os ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária.

4.1.1 Ensaio de granulometria

Para a caracterização do agregado miúdo foi realizado o ensaio de granulometria no laboratório da Unisales e obteve os resultados conforme mostram a tabela 1, sendo que a dimensão máxima do agregado foi de 2,36mm e seu módulo de finura foi de 2,47.

Tabela 1: Granulometria agregado miúdo

Peneira (mm)	Massa retida (g)		1ª amostra Material Retido (%)	2ª Amostra Material retido (%)	% Média retida	% Média acumulada
	Amostra 1	Amostra 2				
4,75	0	0	0%	0%	0%	0%
2,36	4,7	7,03	2%	2%	2%	2%
1,18	46,1	48,52	16%	16%	16%	18%
0,6	81,2	94,52	28%	32%	30%	48%
0,3	98,2	92,46	34%	31%	32%	80%
0,15	61,9	49,45	21%	17%	19%	99%
Fundo	0,74	5,56	0%	2%	1%	100%
Total	292,84	297,54	100%	100,00%	100%	

Módulo de Finura:	2,47
Dimensão Máxima:	2,36 mm

Fonte: Autor próprio, 2023

4.1.2 Ensaio de densidade

No ensaio de densidade do agregado miúdo a leitura realizada no frasco Chapman ficou em 387 ml e com os resultados obtidos pelo cálculo a densidade da areia foi de 2,67 g/cm³, conforme tabela 2.

Tabela 2: Massa específica agregado miúdo

Areia (g)	Água (ml)	Leitura do frasco (ml)	Densidade (g/cm ³)
500	200	387	2,67

Fonte: Autor próprio, 2023

4.1.3 Ensaio de determinação da massa unitária

O ensaio é realizado com a utilização de recipiente metálico onde é colocado o resíduo de forma solta e compactado, ambos realizados 3 vezes, logo após o preenchimento total foram pesados e anotados os valores para posteriormente calcular os resultados, que constam abaixo na tabela 3.

Tabela 3: Massa unitária agregado miúdo

Solta				Compactada			
Massa 1	Massa 2	Massa 3	Média	Massa 1	Massa 2	Massa 3	Média
1.575 kg/m ³	1.573,89 kg/m ³	1.569,44 kg/m ³	1.572,78 kg/m ³	1.618,88 kg/m ³	1.615,56 kg/m ³	1.613,33 kg/m ³	1.615,92 kg/m ³

Fonte: Autor próprio, 2023

4.2 AGREGADO GRAÚDO

Os ensaios realizados para o agregado graúdo foram o de granulometria, massa específica, absorção de água e massa unitária.

4.2.1 Ensaio de granulometria

Já para a caracterização do agregado graúdo foi realizado o ensaio de granulometria onde os resultados apontados na tabela 4, mostram que a dimensão máxima do agregado foi de 12,5mm e de seu módulo de finura foi de 6,04.

Tabela 4 – Granulometria agregado graúdo

Peneira (mm)	Massa retida (g)		1ª Amostra Material Retido (%)	2ª Amostra Material Retido (%)	% Média retida	% Média acumulada
	Amostra 1	Amostra 2				
25	0	0	0%	0%	0%	0%
19	0	0	0%	0%	0%	0%
12,5	17,94	4,2	2%	0%	1%	1%
9,5	123,1	131,6	12%	13%	13%	14%
6,3	587,5	610,5	59%	61%	60%	74%
4,75	157,3	153	16%	15%	16%	89%
2,36	0	0	0%	0%	11%	100%
1,18	0	0	0%	0%	0%	100%
0,6	0	0	0%	0%	0%	100%
0,3	0	0	0%	0%	0%	100%
0,15	0	0	0%	0%	0%	100%
Fundo	114,1	100,7	11%	10%	11%	
Total=	999,94	1000	100%	100,00%		

Módulo de Finura:	6,04
Dimensão Máxima:	12,5 mm

Fonte: Autor próprio, 2023

4.2.2 Ensaio de densidade e absorção de água

No ensaio de densidade para o agregado graúdo foram realizados os cálculos conforme o item 3.1.1.3. Foi obtida a massa saturada de 2021 g e a leitura na balança da amostra submersa foi de 911 g, de acordo com a tabela 5 e 6 obteve-se a densidade de 1,8 g/cm³ e absorção de água de 1,04%.

Tabela 5: Massa específica agregado graúdo

Brita (g)	Massa Saturada (g)	Leitura da balança (g)	Densidade (g/cm ³)
2000	2021	911	1,8

Fonte: Autor próprio, 2023

Tabela 6: Absorção de água

M _A (g)	M _B (g)	a (%)
2000	2021	1,04

Fonte: Autor próprio, 2023

4.2.3 Ensaio de determinação da massa unitária

Os resultados do ensaio que consta na tabela 7 foi obtido conforme citado no item 4.1.3.

Tabela 7: Massa unitária agregado graúdo

Solta				Compactada			
Massa 1	Massa 2	Massa 3	Média	Massa 1	Massa 2	Massa 3	Média
1.395 kg/m ³	1.393,33 kg/m ³	1.387,22 kg/m ³	1.391,85 kg/m ³	1.408,89 kg/m ³	1.410,55 kg/m ³	1.410,55 kg/m ³	1.409,99 kg/m ³

Fonte: Autor próprio, 2023

4.3 LAMA DE BRO

Os ensaios realizados para o resíduo de LBRO foram o de índice de finura e densidade.

4.3.1 Ensaio de determinação do índice de finura

Para o ensaio foram necessário 50 g de LBRO que foram peneirados e assim definidos as perdas e o material retido na peneira, de forma a calcular o índice de finura com base na equação IV. Coletou-se então os dados apontados na tabela 8 e seu índice de finura foi 2,16.

Tabela 8: Dados

Peneira (mm)	Massa (g)	Massa retida (g)
0,75	50	1,08
Índice de Finura:		2,16

Fonte: Autor próprio, 2023

4.3.2 Ensaio de densidade da LBRO

Para o ensaio de densidade do resíduo foi realizado os cálculos de acordo com a equação V. Foi definido por meio dos dados obtidos a massa específica do material e obteve o resultado de 2,87 g/cm³, conforme mostra na tabela 9.

Tabela 9: Massa específica LBRO

LBRO (g)	Água (ml)	Leitura (ml)	Densidade (g/cm ³)
60	0,5	21,4	2,87

Fonte: Autor próprio, 2023

4.4 ENSAIOS DO CONCRETO

Nesse tópico serão analisados os resultados obtidos para a dosagem dos concretos e os ensaios realizados nos concretos.

4.4.1 Traço do concreto

Para a realização do traço, foram feitos os cálculos para que pudessem ser determinadas as dosagens que seriam utilizadas em cada corpo de prova, após isso, foi definida a massa do resíduo de lama de BRO que foi adicionado ao concreto. Com isso, foram definidos os traços de concreto e obtidos os resultados conforme tabela 10.

Tabela 10 – Traço do concreto

	Cimento (kg)	Areia (kg)	LBRO (kg)	Brita (kg)	Água (kg)
Traço	1	0,89	-	1,72	0,48
Amostra 1:	3	2,67	-	5,16	1,44
Amostra 2:	3	2,67	0,15	5,16	1,44
Amostra 3:	3	2,67	0,3	5,16	1,44
Amostra 4:	3	2,67	0,45	5,16	1,44

Fonte: Autor próprio, 2023

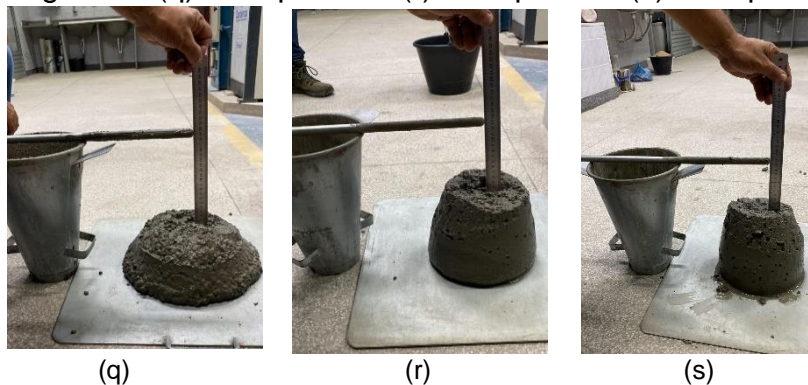
Foram moldados em corpos-de-prova 10x20cm, sendo 3 para cada traço. A amostra 1 possui o traço convencional, sem a adição do resíduo, enquanto as amostras 2, 3 e 4 foram adicionadas 5%, 10% e 15%, utilizando o traço convencional como base para cálculos.

4.4.2 Slump Test

Realizou-se o slump do primeiro traço, porém ficou autoadensável e desmoronou todo ao ser colocado na forma tronco cônica, já no segundo traço obteve-se o resultado de 12 cm; no terceiro 6 cm e no quarto 4 cm.

A imagem 12 mostra o slump test do segundo, terceiro e quarto traço.

Imagem 12 (q) Slump test 2 (r) Slump test 3 (s) Slump test 4



Fonte: Autor próprio, 2023

4.4.3 Ensaio de compressão

O ensaio de resistência à compressão é uma das formas de controlar a qualidade do concreto, com isso, foram usados 2 moldes de cada traço para o ensaio. A idade referência para início do ensaio de compressão foi de 7 dias e os corpos de prova apresentaram rompimento ao meio. Foi realizado a medição com paquímetro dos diâmetros dos corpos de prova e adquirido o resultado da resistência pelo ensaio de compressão, o traço referência obteve uma resistência de 19 e 17 MPa; o segundo traço com 5% de adição de resíduo 19,52 e 19,11 MPa; o terceiro traço com 10% de adição apresentou 23,17 e 20,45 MPa e o quarto traço com 15% de adição teve uma resistência de 20,53 e 16,94 MPa.

A imagem 13 mostra o equipamento que se realizou o ensaio de compressão e os corpos de prova rompidos após o ensaio.

Imagem 13 (t) Ensaio de compressão (u) Corpos de prova rompidos



(t)

Fonte: Autor próprio, 2023



(u)

4.4.4 Ensaio de absorção de água

Usou-se 1 molde de cada traço para o ensaio de absorção de água e a idade referência para o ensaio foi de 9 dias. O traço 1 apresentou uma absorção de água de 3,8%; o traço 2 de 3,4%; o traço 3 de 2,5% e o traço 4 de 2,5%.

Constam na imagem 14 os corpos de prova que ficaram submerso por 2 dias e em seguida levados a estufa por 24h.

Imagem 14 (v) Corpos-de-prova submerso (w) Corpos-de-prova na estufa



(v)

Fonte: Autor próprio, 2023



(w)

4.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme comprovado no ensaio de determinação do índice de finura, o material possui uma granulometria fina, no qual tem uma superfície com maior área de contato e conseqüentemente consome mais argamassa e torna o concreto mais seco para a mesma quantidade de água utilizada. Devido o resíduo ser fino já era esperado que o concreto ficasse mais seco na medida que fosse adicionando o resíduo. Notou-se que na medida que aumenta a quantidade de resíduo reduz o slump, tornando o concreto

mais seco e com isso, influenciou na moldagem dos corpos de prova podendo perceber vazios aparentes no concreto do quarto traço e na desforma do primeiro traço observou-se que a superfície do concreto estava melhor quando comparado aos demais, conforme mostra na imagem 15.

Imagem 15 (x) Vazios presentes no 4 traço (y) Superfície traço 1



(x)

Fonte: Autor próprio, 2023



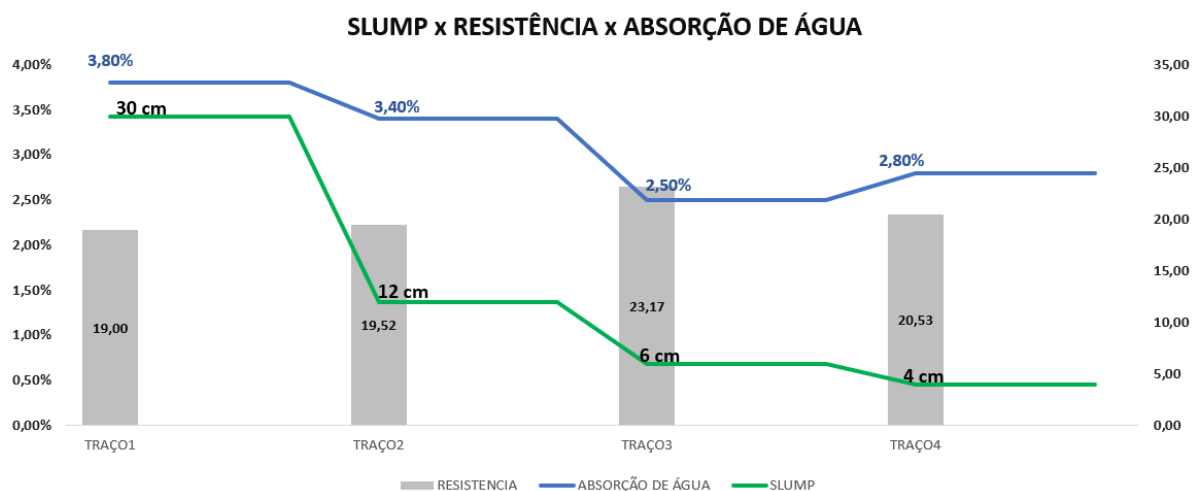
(y)

Na resistência, o comportamento do concreto mostrou que à medida que foi adicionando o resíduo ele não apresentou resistência inferior ao traço referência e sim aumentou, conforme mostra o gráfico 1 e reduziu-se a absorção de água, exceto o traço 4 que apontou um aumento na absorção de água quando comparado com o traço 3, que ocorreu devido o concreto estar mais seco e não atingir a compactação necessária, mas ainda assim a resistência foi maior do que a referência.

Os traços 1 e 2 deram resistência muito próximas, dessa forma ficariam dentro da margem de erro, o traço 3 é o que apresentou melhor resistência, com adição de 10% de LBRO e o traço 4 houve a adição de 15% de LBRO que também obteve um resultado satisfatório quando comparado ao traço referência, a escolha das porcentagens foi baseada nos estudos de Sena *et al* (2020) que de acordo com os ensaios apresentou uma resistência viável ao adicionar 5% do resíduo.

O gráfico 1 consta os resultados adquiridos nos ensaios, a linha em verde representa os resultados do slump test, a linha em azul representa os resultados obtidos no ensaio de absorção de água e as colunas representam os resultados de resistência a compressão de cada traço.

Gráfico 1: Resultados



Fonte: Autor próprio, 2023

Os estudos realizados por Soares (2014), foram utilizadas as mesmas porcentagens de resíduo e com relação a/c diferentes para cada traço com o intuito de avaliar a durabilidade do concreto aos agentes agressivos e seus resultados foram benéficos, sendo a porcentagem de 5% de adição superior a resistência do traço referência. Pode-se citar também que os resultados obtidos no trabalho de Sena (2020), que utilizou as mesmas porcentagens de LBRO, porém, com o intuito de avaliar a qualidade do concreto com a adição do resíduo, onde os resultados foram significativos, dentre eles uma melhor viabilidade a adição de 5%. Ao comparar os ensaios realizados com os respectivos autores citados acima, a adição de 10% de resíduo (traço 3) utilizado neste estudo foi o que obteve o melhor resultado, é notório que o resíduo por ter uma granulometria fina, diminuiu a permeabilidade do concreto e contribuiu com o preenchimento dos poros, proporcionando um ganho de resistência.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como aplicação a reutilização de um resíduo na construção civil, neste caso a utilização do resíduo LBRO. É evidente a necessidade de se encontrar formas de reutilização de resíduos, tendo em vista todo o contexto socioambiental. O objetivo da pesquisa de obter a resistência do concreto para fins estruturais foi viável. A adição de 5% do resíduo, que foi a primeira hipótese, ficou bem próximo do traço referência, com 10% de adição do resíduo de LBRO, que foi a segunda hipótese adquirida no projeto o resultado de resistência foi viável, tornando a melhor porcentagem de adição. A terceira hipótese com adição de 15% de material também atingiu uma resistência superior ao traço de referência, o resultado da resistência foi satisfatório devido o resíduo ser de granulometria fina e preencher os vazios. Sugere-se repetir ensaios com mais amostras a fim de obter a validação da resistência do concreto com adição do resíduo de lama de beneficiamento de rochas ornamentais, além de testar porcentagens acima de 15% para saber o limite de adição no concreto.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde e sabedoria para enfrentar os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho;
Aos meus pais, que me incentivaram nos momentos difíceis e sempre renovaram as minhas forças;
Ao meu namorado, por todo apoio que me deu no desenvolvimento do trabalho e por compreender a minha ausência enquanto eu me dedicava nas pesquisas;
A professora Clarisse Pacheco, por ter sido minha orientadora e desempenhar tal função com dedicação, colaborando com o meu aprendizado;
E gratidão a todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABIROCHAS (Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais). Disponível em site: <<https://abirochas.com.br/dados-setoriais/panorama-setorial/>>. Acesso em: 10 maio 2023
- ABIROCHAS (Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais). Disponível em site: <<https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Producao-Brasileira-Lavra-2021.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2023
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR NM 248. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 16972: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 16916: Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 16917: Agregado graúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 11579: Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75. Rio de Janeiro, 1991.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica do cimento. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

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

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, p. 3. 2004.

BABISK, Michelle Pereira. Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciência dos Materiais. Instituto Militar de Engenharia, 2009.

BASTOS, R. S.; Uliana, J. G; Calmon, J. L.; Tristão, F. A.; Vieira, G. L.; Degen M. K. Revisão bibliográfica dos estudos sobre a aplicação da lama do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de materiais de construção. Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Espírito Santo, 2013.

BARROS, P.G.S. Avaliação das propriedades de durabilidade do concreto autoadensável obtido com resíduo de corte de mármore e granito. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil: Estruturas) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2008.

BRAGA, Florindo dos Santos; BUZZI, Daniella Cardoso; COUTO, Maria Cláudia Lima; LANGE, Liséte Celina. Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais. In: Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 15, n. 3, p.237-244, 2010.

BILODEAU, A., MALHOTRA V. A., High-Volume Fly Ash System: Concrete Solution for Sustainable Development. In: ACI Materials Journal. V.97. N. 1, 2000, USA, p. 41–48.

CALMON, J.L.; MORATTI, M., SOUZA, F.L.S.; CENCI, D.S. Concreto autoadensável (CAA) utilizando resíduo de serragem de rochas ornamentais como fíler. Publicações IBRACON, 2005.

CALMON, J.L. & SILVA, S.A.C. Mármore e Granito no Espírito Santo: problemas ambientais e soluções. In: DOMINGUES, A.F.; BOSON, P.H.G.; ALÍPAZ, S. A Gestão de Recursos Hídricos e a Mineração. Brasília: Agência Nacional de Águas – ANA, Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM, 2006. p.199-231.

COUTO, José Antônio Santos; CARMINATTI, Rafael Lima; NUNES, Rogério Reginato Alves; MOURA, Ruan Carlos A. O concreto como material de construção. Ciências Exatas e Tecnológicas |, Sergipe, ano 2013, v. 1, n. 17, p. 49-58, out. 2013.

DIETRICH, Y. P. Durabilidade de concretos produzidos com adição de resíduos provenientes de rochas ornamentais frente à ação de íons cloreto. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo. 2015

FALCÃO, I.P.; STELLIN JÚNIOR, A. Utilização de finos de serrarias do espírito santo nas indústrias de construção civil. In: Jornadas IBERMAC Materiais de Construção, 1., 2001, Madri. Anais...Espanha: IBERMAC, 2001.

F. R. TEIXEIRA; F. C. MAGALHÃES; G. B. WALLY; F. K. SELL JUNIOR; C. M. PALIGA; A. S. TORRES. Uso do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais como substituto parcial ao aglomerante na produção de concretos estruturais. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v.13, n.03, pp. 501 - 514, 2020.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar um projeto de pesquisa. 4 ed. - São Paulo, Editora Atlas S.A. Disponível em site:
<https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C1_como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf>. Acesso em: 18 maio 2023

GONÇALVES, Jardel Pereira. Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos. 2000. 120f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2000.

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). Disponível em site:
<<https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=108894#:~:text=%C2%A7%201%20Os%20res%C3%ADduos%20da,13%20desta%20Resolu%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 25 setembro 2023

LIMA, Suelem Silva; RODRIGUES, Pillar de Oliveira Carvalho; MACHADO, Emerson Rodrigues. Gestão Ambiental na disposição final da lama gerada na atividade de beneficiamento de rochas ornamentais no município de Nova Venécia. Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Nova Venécia, v. 9, n. 2, p. 01-13, 2023.

LISBÔA, Edvaldo Monteiro. Obtenção do Concreto Auto-Adensável Utilizando Resíduo do Beneficiamento do Mármore e Granito e Estudo de Propriedades Mecânicas. Maceió, 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil.

MARÇAL. Rubens Lincoln Santana Blazutti. Fabricação de vidros especiais a partir de resíduos da indústria de rochas ornamentais. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciência dos Materiais. Instituto Militar de Engenharia, 2011.

MITTRI, S. H. DE M. Contribuição ao estudo do comportamento de concretos produzidos com resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais tratado

termicamente em relação aos aspectos mecânicos e de durabilidade – Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, 2016.

MOURA, W.; GONÇALVES, J. P.; LEITE, R. S. Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso. Sitenbus, Feira de Santana, n 26, p 49-61, 2002.

MOURA, W.A. CALMON, J.L.; LIMA, M.B.L.; MORATTI, M. CORREIA, R.F. SENNA D.O.; BOAVENTURA, M.C. Relatório final do projeto utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais (RSRO) na produção de peças pré-moldadas para habitação de interesse social. Relatório Final de Projeto. UFES. UEFS. 2007.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. São Paulo: PINI, 1997, p. 220.
SOBRAL, Hernani Sávio. Propriedades do Concreto Fresco. 6. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2000. 34 p. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3089801/mod_resource/content/0/ET15.pdf. Acesso em: 18 maio 2023.

REIS, A. S. Estudo do aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de ladrilho hidráulico piso tátil. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

REIS, A.S.; TRISTÃO, F.A. Estudo da influência do resíduo de beneficiamento de granito em produtos cimentícios. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 53., 2011, Florianópolis. Anais.Santa Catarina: IBRACON, 2011.

SANTOS, F.S. et al. Chemical amendment and phytostabilization of an industrial residue contaminated with Zn and Cd. Scientia Agricola, v.64, p.506-512, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162007000500008>>. Acesso em: 18 maio 2023.

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 Matéria, v.18, n.04, pp. 1442 – 1450, 2013.

SENA, M. O.; LISBOA, D. C. S.; ROCHA, L. N.; ZENKNER, L. S.; CORDEIRO, F. S.; MULLER, R. M. L.; SANTANA, C. G. Utilização do resíduo do corte do mármore e granito como adição no concreto. Engineering Sciences, v.8, n.1, p.27-37, 2020.

SILVA, Tatiane Brito Perim. Comparação entre os resíduos finos recém-gerados e os depositados em aterros da indústria de rochas ornamentais. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, 2019.

SOUZA, J.N.; RODRIGUES, J.K.G.; NETO, P.N.S. Utilização do resíduo proveniente da serragem de rochas graníticas como material de enchimento em concretos

asfálticos usinados a quente. Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

SOARES, Rubielly Bastos. Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com a incorporação de resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais. Universidade Federal do Espírito Santo, 2014.