



A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA NATURAL PELO PÓ DE PEDRA NA PRODUÇÃO DO CONCRETO

¹Indiele Daros da Cruz;²Mariana Natale Fiorelli Fabiche

¹Discente do Curso de Engenharia Civil na Unipar;

²Docente do Curso de Engenharia Civil na Unipar;

Resumo

O ramo da construção civil é o setor que mais consome recursos naturais. Com isso tem inúmeros estudos referentes à aplicação de resíduos que substituem parcialmente ou totalmente alguns materiais. O presente trabalho faz um estudo da substituição da areia natural no concreto por um material conhecido também como pó de pedra. O pó de pedra é o rejeito do britamento de rochas e seu diâmetro máximo é inferior a 4,8 mm. Este material não possui uma destinação definida, permanecendo estocado nos pátios das pedreiras, formando enormes pilhas que provocam vários impactos ambientais interferindo até mesmo nos corpos de drenagem. A primeira etapa do trabalho consistiu em caracterizar os materiais que compuseram o concreto estudado. Após essa fase, foram confeccionados corpos-de-prova de concreto composto de 100% de areia natural e com a substituição de 50% pelo pó de pedra. Para caracterizar o pó de pedra, foram realizados ensaios seguindo as normas da ABNT. Como método de dosagem, foi utilizado o método do IPT/EPUSP determinando um traço de (1:6:5:0,7) considerado um traço pobre. O concreto confeccionado na pesquisa não obteve resultados satisfatórios, com uma resistência à compressão baixa, ocasionada devido ao traço ser muito fraco. Os corpos-de-prova com substituição não obtiveram melhorias no quesito de resistência à compressão, pois foi mais baixa que o composto de 100% de areia. Devido a estes fatores necessita-se de mais estudos para verificar os resultados.

Palavras-Chave: Cimento Portland; corpo-de-prova; extração; impacto ambiental.

Abstract

The construction industry is the sector that consumes the most natural resources. As a result, there are numerous studies referring to the application of waste that partially or totally replace some materials. The present work studies the replacement of natural sand in concrete by a material also known as stone powder. Stone dust is the tailings from quarrying and its maximum diameter is less than 4.8 mm and is considered an average sand. This material does not have a defined destination, remaining stocked in the quarries yards, forming huge piles that cause various environmental impacts, interfering even in the drainage bodies. The first stage of the work consisted of characterizing the materials that made up the studied concrete. After this phase, specimens were made of concrete composed of both 100% natural sand and 50% replacement by stone dust. To characterize the stone dust, tests were carried out following the ABNT standards. As a dosage method, the IPT/EPUSP method was used, determining a trait of (1:6:5) considered a poor trait. The concrete made in the research did not obtain satisfactory results, with a low compressive strength, caused due to the very weak mix. The specimens with replacement did not improve the compressive strength, as it was lower than the 100% sand compound. Due to these factors, further studies are needed to verify the results.

Keywords: Portland cement; test body; extraction; environmental impact.



1 Introdução

A busca por um concreto de alta qualidade é primordial, pois os componentes que os constituem são de extrema importância.

Um dos agregados que gera muita diferença na produção do concreto é a areia natural. Como a demanda de areia natural vem aumentando muito no mercado nacional e gerando exaustão dessas reservas e tendo em vista, o incremento dos custos de transporte e todo o custo adicional, a utilização deste insumo tem impactado nos custos do concreto (MENOSSI, 2004).

A substituição dos agregados miúdos por agregados miúdos provenientes de britagem em concretos de cimento Portland vem crescendo consideravelmente no Brasil. Um dos principais motivos desse aumento são as restrições de ambientes à exploração e também à escassez das jazidas de areia natural de qualidade (WEIDMANN, 2008).

A aplicação do pó de pedra na indústria da construção civil substituindo o concreto, além de ajudar no valor, também reduz a presença de agentes poluidores de ambiente, em razão deste produto ser armazenado ao ar livre, sujeito a ação dos ventos e chuvas, agravando na liberação de partículas do material para as drenagens e corpos de águas (BASTOS, 2002).

O presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento físico e mecânico do concreto de cimento (Portland CP-II), especificamente a resistência à compressão axial, com a substituição parcial de 50% da areia pelo pó de pedra.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Pó de pedra

A classificação do pó de pedra pela norma técnica NBR 7211 (2019), é descrita como um material proveniente do britamento de rochas, com diâmetro menor que 4,8 mm sendo um material maleável.

O pó de pedra é um resíduo procedente da exploração de jazidas, que apresenta de 15 a 20% da produção de britagem, conseqüentemente das rochas (ANDRIOLO, 2005) e de acordo com Menossi (2004), o pó de pedra já vem sendo utilizado desde o século passado nos países como Canadá e Estados Unidos.

Conforme Andriolo (2005), o pó de pedra é considerado um rejeito de pedreiras, estocado ao ar livre em pátios das mesmas que gera a alteração da paisagem com o impacto ambiental: poluição atmosférica, assoreamento de rios e contaminação com o material lixiviado nas áreas de drenagem. A Figura 1 mostra como o resíduo é estocado.

Figura 1- Estoque de pó de pedra em mineradora



Fonte: MENOSSI, (2004).

O pó de pedra é vendido no mercado por metro cúbico, encontrado em mineradoras e materiais de construção (MENOSSI, 2004).

2.1.1 A utilização do pó de pedra como agregado

O pó de pedra é utilizado de várias maneiras no ramo da construção civil: pavimentação, usinas de asfalto, calçamentos com base asfálticas e de concreto, fabricação de pré-moldados, estabilizante de solos, confecções de argamassa para assentamento e emboço, paralelepípedos de concreto, entre outros (COSTA, 2019).

No Brasil, a utilização do pó de pedra aconteceu após a década de 80, com base em estudos técnicos realizados na hidrelétrica de Itaipu, que evidenciava vantagens técnicas e econômicas (ANDRIOLO, 2005).

De acordo com Menossi (2004), um dos aspectos mais consideráveis na utilização do pó de pedra é a grande disponibilidade em jazidas. Não é um assunto tão inovador quanto aparenta ser, pois o aproveitamento dos resíduos de britagem já era utilizado na década de 80, por países como Estados Unidos e Canadá.

Em algumas regiões do Rio Grande do Norte, o pó de pedra é utilizado por algumas concreteiras como parte do agregado miúdo na produção de concretos convencionais e é usado também em usinas de asfalto para produção de cimento asfáltico de petróleo (DUARTE, 2013).

Em um estudo realizado por Silva, Campitelli e Gleize, (2007), para obter argamassas com adição de pó de pedra, a maioria dos traços realizados apresentaram maiores resistências de aderência e compressão do que as compostas por areia natural.

A substituição da areia natural pela artificial apresenta vantagens ambientais e econômicas, como a redução dos impactos ambientais ocasionados pelo processo convencional de extração de areia. Devido à sua produção ser realizada no canteiro



das pedreiras localizadas próximas aos grandes centros urbanos, gera redução no custo da matéria-prima para o seu maior mercado consumidor, a indústria da construção civil (ALMEIDA e SILVA, 2005).

2.1.2 O pó de pedra como substituição no concreto

A utilização do pó de pedra como agregado miúdo no concreto, por motivos econômicos ou pela durabilidade, vem sendo analisada e tem gerado muito interesse pelos benefícios ambientais e aspectos econômicos (MENOSSI 2004).

Segundo Bonavetti e Irassar (1994), os resultados de ensaios experimentais demonstraram que a demanda de água cresce conforme a proporção de pó de pedra, em consequência do aumento da superfície a ser umedecida, o que gera uma redução na trabalhabilidade. Para argamassas com 5% de pó de pedra, o acréscimo de demanda de água foi insignificante, sendo menor que 2%; no entanto, esta demanda cresceu rapidamente quando mais de 10% de pó de pedra foi adicionado. Para 20% de pó de pedra, o acréscimo de água chegou a 17%.

Menossi (2004), realizou variados experimentos com diversas porcentagens de pó de pedra em amostras de concreto. Ele observou e alega que o pó de pedra é uma excelente alternativa como agregado e destacou também, a influência positiva no que diz respeito à estabilidade granulométrica do material na dosagem do concreto. Por outro lado, Teodoro (2013), critica a absorção de água pelo pó de pedra e o formato irregular dos grãos, pois estes fatores podem contribuir para a diminuição da trabalhabilidade da mistura, influenciando diretamente no consumo de cimento.

Segundo, Cabrera, Traversa e Ortega (2004), em seus experimentos, o concreto com adição de pó de pedra obteve um acréscimo de resistência à compressão axial em comparação ao concreto produzido com areia natural. Aos 28 dias esse acréscimo chegou a um valor de 66%. Devido a diversas análises dos valores obtidos, é necessário aumentar na ordem de 25-30kg/m³ de água em concreto com areia de britagem para alcançar a consistência do concreto com areias naturais, que podem ser traduzidas em um aumento no conteúdo de poros do 2,5-3,0% do volume de concreto no estado endurecido (CABRERA, TRAVERSA E ORTEGA 2011).

Campos, (2015) com um estudo experimental utilizando pó de brita em substituição parcial ao cimento Portland para a fabricação de concreto de alta resistência concluiu que em parâmetros gerais houve uma melhora na resistência à compressão e à tração por compressão diametral em todas as porcentagens de substituição (0%, 6%, 12%, 18%) para as classes de concreto C50, C65, C80 e C95.

A aplicação da areia de britagem no concreto, de acordo com Almeida e Silva (2005), produz efeitos diferentes aos da areia natural, principalmente nas propriedades do estado fresco, como diminuição da plasticidade e aumento na demanda de água. Isso ocorre devido à britagem, ou seja, as superfícies da porção de finos criam áreas de contato e diminuem os vazios entre os grãos.

Segundo Cabral (2007), a areia de britagem contém grande quantidade de material pulverulento que dentro de certos limites confere uma maior trabalhabilidade ao preencher os vazios da pasta de cimento e água.

Buest Neto (2006) estudou a substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland. Os ensaios mecânicos



demonstraram que os concretos com agregados britados possuem maior resistência à tração por compressão diametral e a tração na flexão, e menor módulo de elasticidade do que os convencionais. O estudo experimental da análise do pó de pedra constatou que os teores elevados de material possuem influência na consistência dos concretos, quanto maior o teor, maior o consumo de cimento e maior quantidade de água na mistura, como era o esperado.

2.2 Agregados

O uso do termo “agregado para a construção civil” é usado no Brasil para identificar uma seção do setor mineral que produz matéria prima mineral bruta ou beneficiada de uso imediato na indústria da construção civil. São basicamente a areia e a rocha britada (VALVERDE, 2001).

O agregado é um material particulado, sem forma definida, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos, segundo Bauer (1995).

Este material tem um importante papel nas argamassas e concretos, quer sob o ponto de vista econômico, quer sob o ponto de vista técnico, exerce uma influência benéfica sobre algumas propriedades importantes no concreto tais como: retração, resistência ao desgaste por abrasão (DUARTE, 2013).

Por muito tempo acreditou-se que o papel do agregado no concreto era apenas de enchimento, que se tratava de um material granular inerte destinado a baratear o custo final da produção do concreto Petrucci (1998), portanto devem ser consideradas todas as propriedades quando se estuda a utilização de novos tipos de agregados na composição dos concretos, como é o caso da areia e da brita e outros tipos como os agregados reciclados, que apresentam características peculiares ao chegarem às centrais de produção (RASHWAN e ABOURIZK, 1997).

Conforme Valverde (2001), 35% da quantidade produzida de agregados são destinados à construção de prédios, sendo a metade para moradias; 45% para a construção de novas vias públicas e manutenção das existentes; o restante, 20%, são utilizados em outros tipos de construções.

2.2.1 Agregado Miúdo

Uma das maiores preocupações em relação à qualidade do concreto, está associada à qualidade dos agregados utilizados, em especial ao agregado miúdo, especificamente a areia natural (MENOSSI, 2004). Segundo a NBR 7211 (2019), agregados miúdos são “agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m”.

A distribuição granulométrica da areia tem uma influência direta no desempenho da argamassa, que acaba interferindo na trabalhabilidade e também no consumo de água e aglomerantes, tanto no estado fresco, como no revestimento acabado, ele exerce uma influência na fissuração, na rugosidade, na permeabilidade e na resistência de aderência (ANGELIM, ANGELIM E CARASEK, 2003). Para Selmo (1989), os intervalos para o módulo de finura (MF) e classificação das areias são MF < 2.0 = areia fina; 2.0 < MF < 3.0 = areia média; MF > 3.0 = areia grossa.

Para Carneiro e Cincotto, (1999), a areia não tem participação nas reações químicas no endurecimento da argamassa, porém interfere no estado fresco pela composição granulométrica; o formato dos grãos influencia na trabalhabilidade e na retenção de água, no estado endurecido geralmente influencia nas resistências mecânicas e também na capacidade de deformação e na permeabilidade.

A areia é um dos agregados mais utilizados na construção civil, seu consumo está dividido em 35% para argamassas, 20% para concreteiras, 15% para construtoras, 10% para empresas de pré-fabricados, 10% para comércios varejistas de materiais de construção, 3% para órgãos públicos e 2% para outros (VALVERDE, 2001). Para Kulaif (2013), o termo areia é designado à um material granular, com um tamanho definido entre 2mm a 0,6mm, com composição silicática, constituída basicamente por mineral quartzo, sendo utilizado principalmente na indústria da construção civil, na forma de agregado miúdo.

Segundo Valverde (2001), 90% da areia que é extraída no Brasil, é retirada de leito de rios. A maioria dessas extrações são feitas por meio de embarcações denominadas “Dragas”, conforme mostra as figuras 2 e 2.1

Figura 2- Embarcação/Draga



Fonte: Próprio autor, (2021).

Figura 2.1- Embarcação carregada de areia



Fonte: Próprio autor, (2021).

2.2.2 Agregado Graúdo

A NBR 7211 (2019) define que o agregado graúdo pode ser tanto natural (pedregulho) quanto artificial e que pode ser obtido em rios ou em jazidas secas. O agregado graúdo é pouco utilizado atualmente e é obtido através de britagem de rocha. Sendo classificados em cinco faixas granulométricas conforme a Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação comercial e granulometria estabelecida pela ABNT.

Agregado	Granulometria
Brita 0 - Pedrisco	4,75 a 9,5 mm
Brita 01	9,5 a 25 mm
Brita 02	19 a 31,5 mm
Brita 03	25 a 50 mm
Brita 04	37,5 a 75 mm

Fonte: ABNT (2009), adaptado pelo autor

Segundo Viero (2010), as rochas utilizadas para produção de brita são os granitos, gnaisses, calcários, dolomitos e basaltos.



O uso de brita é distribuído no Brasil com 50% destinados à produção de concreto de cimento Portland, 30% para concretos betuminosos, 13% para artefatos de cimento pré-moldados e 7% destinados a outros usos (DNPM, 2000).

A brita é procedente da exploração de maciços rochosos e caracteriza-se como um material que, depois de sofrer desmonte por explosivos, britagem e classificação, pode ser usada in natura, ou misturada com outros insumos (cimento, asfalto, areia, etc.) e utilizada para fins da construção civil (DUARTE, 2013).

2.3 Concreto

O material de construção mais utilizado no mundo é o concreto, comumente composto da mistura de cimento Portland com areia, brita e água. Em muitos países, a proporção de consumo de concreto sobre o consumo de aço é de dez para um. Com exceção apenas da água, não há material mais consumido pelo homem em tamanha quantidade (METHA e MONTEIRO, 2009).

Em termos gerais, cimento é todo material com propriedades adesivas e coesivas, capaz de ligar fragmentos de minerais entre si de modo a formar um todo compacto (NEVILLE, 1997).

De acordo com a norma NBR 12655 (2015), o concreto pode ser classificado em três categorias, conforme sua massa específica no estado endurecido, sendo:

- Concreto normal: possui massa específica maior do que 2000 kg/m^3 , mas não excede 2800 kg/m^3 . Constituído normalmente de areia natural, pedra britada (pó de pedra) ou seixo rolado.
- Concreto leve: possui massa específica não menor que 800 kg/m^3 , mas não excede 2000 kg/m^3 . Constituído de agregados naturais ou processados termicamente que possuem baixa densidade (agregados expandidos de argila, escória siderúrgica, vermiculita, ardósia, resíduos de esgoto sintetizado e outros).
- Concreto pesado: massa específica maior que 2800 kg/m^3 . Constituído de agregados de alta densidade, como barita, magnetita, limonita e hematita.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a propriedade mais valorizada pelos engenheiros e projetistas é a resistência do concreto.

3 Metodologia

3.1 Materiais

3.1.1 Agregado miúdo

3.1.1.1 Areia

O agregado miúdo utilizado foi areia natural quartzosa de graduação média, isenta de matéria orgânica, proveniente do leito do rio Paraná, na região de Guaíra/Pr.

3.1.1.2 Pó de pedra



O pó de pedra da composição do agregado miúdo no experimento é uma areia de britagem proveniente de pedra basáltica. O local de extração não foi especificado pela mineradora que fez o fornecimento do material, pois a mesma faz apenas a revenda.

3.1.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi brita 0 de origem basáltica, com dimensão máxima característica de 9,5 mm, extraída do leito do rio Paraná da cidade de Guaíra/PR.

3.1.3 Água

A água utilizada na produção dos concretos foi proveniente da rede de abastecimento local da cidade de Guaíra/PR, uma água potável.

3.1.4 Cimento

O aglomerante utilizado para compor o concreto foi o cimento Portland Votoran composto com adição de Pozolana CP II Z-32, com propriedades condizentes com as recomendações com a ABNT NBR 16697 (2018).

3.1 Métodos

A realização do presente trabalho foi desenvolvida pelo método experimental, através da realização de ensaios conforme as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os ensaios foram realizados no laboratório da Universidade Paranaense-UNIPAR na cidade de Guaíra/Paraná.

Na mistura do concreto, os materiais utilizados foram analisados conforme as normas ABNT NBR 7211, (2019). Na dosagem do concreto empregou-se o método de do IPT/EPUSP (Helene & Terzian, 1995) e adotou-se o traço de (1:6:5) constituído por 1 parte de cimento, 6 de agregado miúdo e 5 de agregado graúdo, sendo o porcionamento em massa. O agregado miúdo foi composto de 50% de areia natural e 50% pó de pedra. As relações água/cimento foram determinadas de acordo com a consistência do concreto, dentro das normas estabelecidas pela NBR 16889 (2020), sendo ela uma relação a/c de 0,7.

3.1.1 Granulometria

Para determinação granulométrica, os agregados após serem secos em estufa por 24 horas, passaram pela pesagem em balança de precisão e pelo agitador eletromagnético com peneiras de telas metálicas com as seguintes aberturas: 25mm;

19mm; 12,5mm; 9,5mm; 6,30mm; 4,75mm; 2,36mm; 1,18mm; 600 μ m; 300 μ m; 150 μ m.
(NBR NM 248: 2003)

A Figura 3 apresenta os procedimentos para o ensaio de granulometria.

Figura 3 – Processo de determinação da granulometria



Fonte: Próprio autor, (2021).

3.1.2 Ensaio de massa específica através do tubo de Chapman

É a massa por unidade do volume dos grãos dos agregados, incluindo o material sólido e os vazios permeáveis e impermeáveis, determinada através do Frasco de Chapman de acordo com a norma NBR 16916 (2021), conforme Figuras 4 e 5.

Figura 4 – Processo de determinação da massa específica da areia.



Fonte: Próprio autor, (2021)

O mesmo procedimento foi realizado para o pó de pedra.

Figura 5 – Processo de determinação da massa específica do pó de pedra



Fonte: Próprio autor, (2021)

A massa específica do agregado miúdo foi calculada através da equação 1.

$$\rho = \frac{M_s}{L - l_0}$$

Equação 1

Onde:

ρ = Massa específica do agregado miúdo

M_s = Massa do material seco

L = Leitura inicial do fraco

l_0 = Leitura Final do fraco

3.2.3 Massa específica da brita pelo método da balança hidrostática

Para a determinação da massa específica do agregado graúdo foi utilizado uma amostra de 1kg pesada seca, submersa e em estado saturado por balança hidrostática. O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 16917 (2021). Conforme Figura 6.

Figura 6 – Processo de determinação da massa específica da brita



Fonte: Próprio autor, (2021)

Sendo ela calculada através da equação 2.

$$\rho_a = \frac{m}{m - m_a}$$

Equação 2

Onde:

ρ_a = Massa específica aparente

m = Massa da amostra seca

m_a = Massa em água da amostra

3.2.4 Massa unitária em estado compactado

Para a determinação da massa unitária no estado compactado, foi colocado o material em um total de três camadas, com cada camada de 25 golpes. Este método de ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 16972 (2021). Conforme Figuras 7 e 8.

Figura 7 – Compactação da areia



Fonte: Próprio autor, (2021).

O mesmo procedimento foi realizado para a brita.

Figura 8 – Compactação da brita



Fonte: Próprio autor, (2021)

Para a determinação da massa unitária em estado compactado foi utilizada a Equação 3.

$$\mu = \frac{M_t - M_c}{V}$$

Equação 3

Onde:

μ = Massa Unitária

M_t = Massa unitária do recipiente + amostra

M_c = Massa do recipiente

V = Volume do recipiente

3.2.5 Massa unitária em estado solto

Para a determinação da massa unitária no estado solto, os agregados foram depositados no recipiente de forma uniforme até atingir a borda. A pesagem seguiu-se o método de ensaio de acordo com a norma NBR 16972 (2021). Conforme Figura 9.

Figura 9 – Ensaio de massa unitária em estado solto



Fonte: Próprio autor, (2021)

Figura 10 – Ensaio de massa unitária em estado solto



Fonte: Próprio autor, (2021)

Para a determinação da massa unitária em estado solto foi utilizada a equação 3 demonstrada anteriormente.

3.2.6 Estado fresco

A verificação da consistência dos traços analisados foi realizada através ensaio de abatimento pelo tronco de cone, de acordo com a ABNT NBR 16889 (2020). Conhecido como “Slump teste” é um método para determinar a consistência do concreto fresco através da medida de seu assentamento, em laboratório ou obra. Conforme Figura 11.

Figura 11– Execução do *slump test*



Fonte: Próprio autor, (2021)

3.2.7 Cura e estado endurecido do concreto

Foram moldados corpos-de-prova cilíndricos com dimensões nominais de 100mm de diâmetro e 200mm de altura, conforme a ABNT NBR 5738 (2015). Para o ensaio de resistência à compressão foram moldados 24 corpos-de-prova, sendo quatro para cada idade de ensaio. Para o ensaio de absorção de água foram moldados 2 corpos-de-prova por idade.

O Quadro 2 apresenta a quantidade de corpos-de-prova que foram utilizados no presente estudo.

Quadro 2 – Quantidade de moldes para ensaio

Idade de rompimento do corpo-de-prova	Areia/		
	Areia	Pó de pedra	
	100%	50%	50%
10 dias	4 und.	4 und.	
14 dias	4 und.	4 und.	
28 dias	4 und.	4 und.	

Fonte: ABNT (2015), adaptado pelo autor

Após 24 horas da moldagem dos corpos-de-prova, eles foram desmoldados e colocados em um tanque submerso em água, para serem curados, conforme Figura 12.

Figura 12 – Cura úmida dos corpos-de-prova



Fonte: Próprio autor, (2021)

Após a cura completa, os corpos-de-prova passaram pela retificação para regularização das superfícies para dar mais veracidade ao ensaio de compressão. A Figura 13 apresenta a máquina retífica utilizada no presente estudo.

Figura 13 – Máquina retífica



Fonte: Próprio autor, (2021)

3.2.8 Resistência à compressão e absorção de água

Para determinação da resistência à compressão foi realizado de acordo com a ABNT NBR 5739 (2018), nas idades de 10, 14 e 28 dias. Foi rompido por prensa hidráulica da marca Contenco na Universidade Paranaense-UNIPAR na cidade de Umuarama, pois a prensa da unidade local de Guaíra/PR estava com problemas técnicos, conforme Figura 13.

Figura 13- Prensa hidráulica



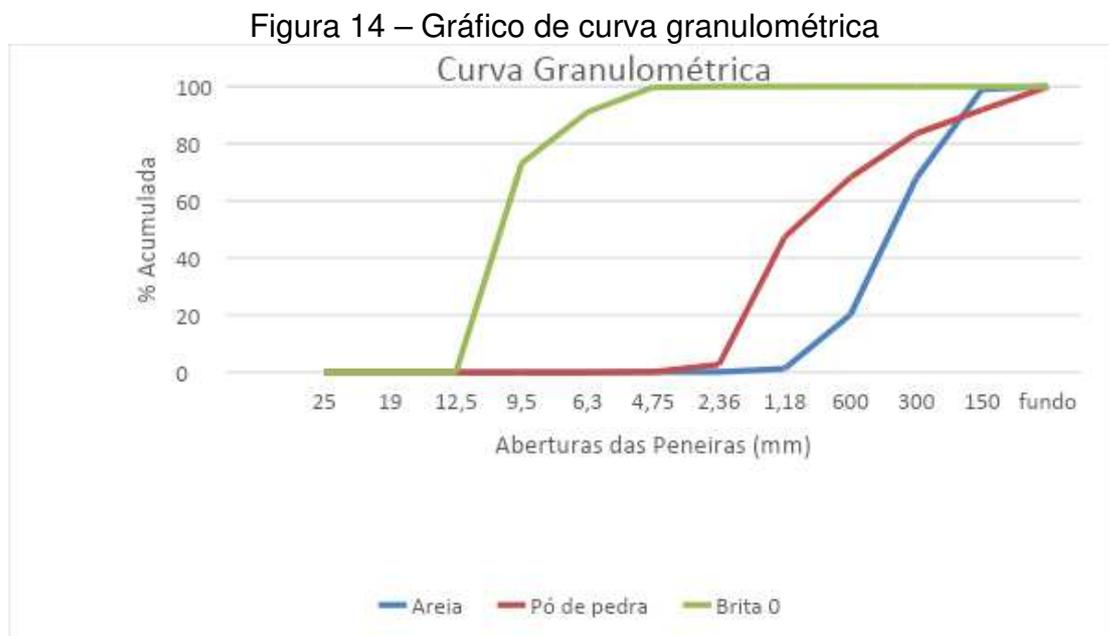
Fonte: Próprio autor, (2021)

4 Resultado e Discussão

4.1 Granulometria

Através do ensaio de granulometria constatou-se um valor de módulo de finura (MF) da areia de 1,88, considerada uma areia fina, com diâmetro máximo de 4,75mm. O pó de pedra obteve um módulo de finura (MF) de 2,94 e uma maior retenção nas peneiras de malha 300 μ e 150 μ .

A brita utilizada para o ensaio teve um diâmetro máximo 9,5mm, com uma retenção maior nas peneiras de 4,5 e 6,3 mm. Como demonstrado na Figura 14.



Fonte: Próprio autor, (2021)

4.2 Ensaio de massa específica através do tubo de Chapman

Os valores calculados das massas específicas da areia e do pó de pedra foram próximos, o da areia 2,64 g/cm³ e do pó de pedra 2,76 g/cm³.

4.3 Processo de determinação da massa específica do pó de pedra pelo método da balança hidrostática

A massa específica do agregado graúdo brita 0, apresentou uma massa aparente de 2,8 g/cm³ e uma absorção de 5,92%. Conforme o Quadro 3 a seguir.

Quadro 3 - Dados da amostra de brita 0

Determinação		Amostra
m	Massa da amostra seca (g)	979
m _s	Massa da amostra na condição saturada superfície seca (g)	1037
m _a	Massa em água da amostra (g)	635
ρ	Massa específica (g/cm ³)	2,43
ρ _s	Massa específica aparente (g/cm ³)	2,58
A	Absorção de água (%)	5,92

Fonte: Próprio autor, (2021)

4.4 Massa unitária em estado compactado

Os resultados da massa unitária foram de 1,67 g/cm³ para areia e 1,67 g/cm³ para brita.

4.5 Estado fresco

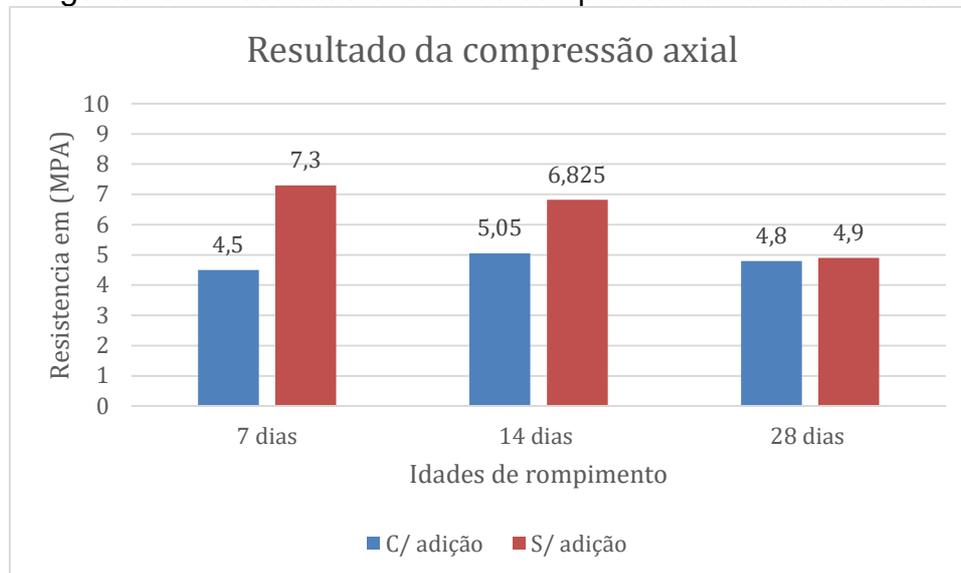
O ensaio de plasticidade tem por objetivo determinar a trabalhabilidade do concreto a ser utilizado. Após o ensaio de abatimento pelo tronco de cone, ocorreu um abatimento de 2,3 cm para o traço 1:6:5 sem adição de pó de pedra. Para o traço com substituição de 50% de areia pelo pó de pedra ocorreu um abatimento d. 1,4 cm.

4.6 Resistência à compressão e absorção de água

O gráfico demonstrado na Figura 15, apresenta os resultados do ensaio de compressão axial. Observa-se que os corpos-de-prova confeccionados com 100% de areia natural obtiveram uma resistência à compressão maior que os compostos pela substituição de 50% de areia pelo pó de pedra. Foi degradativa sua resistência conforme o avanço das idades para ambos.

Através do ensaio de absorção de água foi encontrado um índice de 7,36%.

Figura 15 – Resultado ensaio de compressão axial do concreto.



Fonte: Próprio autor, (2021)

5 Conclusão

Com a realização dos ensaios, observou-se a importância de estudos para a realização de um concreto de qualidade, pois é através de estudos que conseguimos constatar a viabilidade de seu uso. Com frequência pequenas alterações interferem no resultado final.

No presente trabalho, o concreto com substituição ou sem, teve uma queda de resistência conforme o avanço de suas idades. Isto ocorreu possivelmente devido uma falha na execução tanto na dosagem traço, quanto da moldagem dos corpos-de-prova. Foi necessário fazer a moldagem dos corpos-de-prova em dias diferentes, pois não havia disponível em laboratório a quantidade exata de moldes o que ocasionou essa diminuição degradativa de resistência nas respectivas idades.

Outra hipótese desse decaimento é o traço ser muito pobre, com uma alta quantidade de areia que possivelmente contribuiu para esta pouca resistência ou o uso do pó de pedra pode ter afetado.

Conclui-se que para este traço elaborado no presente trabalho não houve viabilidade técnica da utilização do pó de pedra na fabricação desse concreto.

Para futuros estudos, recomenda-se ajustar este traço e fazer as moldagens dos corpos-de-prova no mesmo dia, para verificar se ocorre esta viabilidade no uso do pó de pedra para traços considerados pobres.



6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 248** Agregados – Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

_____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, Rio de Janeiro, RJ, 2015.

_____. **NBR 5739**: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação, Rio de Janeiro, RJ, 2019

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento - Procedimento, Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 16889**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 16916**: Agregado miúdo -Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. **NBR 16917**: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 16972**: Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária e dos índices de vazios, Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos, Rio de Janeiro, 2018.

ALMEIDA, Luiz Salvador M.; SILVA, Valesca da Silveira **Areia artificial: Uma alternativa econômica e ambiental para o mercado nacional de agregados**. In: II SUFFIB - SEMINÁRIO: o Uso da Fração Fina da Britagem. 2005. São Paulo. Artigos em CDROM. São Paulo, 2005.

Disponível em:

<<https://www.cetem.gov.br/antigo/images/congressos/2005/CAC00180005.pdf>

Acesso em: 14 abril 2021.

ANDRIOLO, Francisco Rodrigues. **Usos e abusos do pó de pedra em diversos tipos de concreto**. In: Seminário: O uso da fração fina da britagem. II SUFFIB, São Paulo, 2005. Anais, São Paulo, EFUSP, 2005.

Disponível em:

<<https://portalperiodicos.unoesc.edu.br/conheconstr/article/view/23887>. Acesso: 14 maio 2021.

ANGELIM, Renato Resende.; ANGELIM, Suzanen Campos Mota.; CARASEK, Helena. **Influência da adição de finos calcários, silicosos e argilosos nas**



propriedades das argamassas e dos revestimentos. In: Simpósio Brasileiro de tecnologia das argamassas, V., 2003, São Paulo. Anais. São Paulo: ANTAC, 2003.

Disponível em :

<<https://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/204-influencia-da-adicao-de-finso-calcarios-silicos-os-e-argilosos-nas-propriedades-das-argamassas-e-dos-revestimentos>. Acesso em: 17 maio 2021.

BASTOS, Sandra Regina Bertocini. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland.** Curitiba: Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, 2002. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/84274>. Acesso em: 25 maio 2021

BAUER, FALCÃO – **Materiais de Construção Civil.** 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1995. Disponível em:

<<https://pdfcoffee.com/materiais-de-construcao-falcao-bauer-vol-1-5-ed-pdf-pdf-free.html>. Acesso em: 27 maio 2021.

BONAVETTI, Viviana; IRASSAR, Edgar Fabian. **The effect of stone dust content in sand.** Cement and Concrete Research, v. 24, n. 3, p. 580-590, Jan. 1994.

Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0008884694901473>. Acesso em: 27 maio 2021.

BUEST NETO, Guilherme Teodoro. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento portland** (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal do Paraná, 2006.

Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1884/5776>. Acesso em: 29 maio 2021.

CAMPOS, Heloisa Fuganti. **Concreto de alta resistência utilizando pó de pedra como substituição parcial do cimento Portland: Estudo experimental.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1884/38859>. Acesso em: 13 junho 2021.

CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira; CINCOTTO, Maria Alba. **Dosagem de argamassas através de curvas granulométricas.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.1999. Boletim Técnico nº 237. Disponível em:

<http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00237.pdf. Acesso em: 04 junho 2021.

CABRAL, Keillon Oliveira. **Influência da areia artificial oriunda da britagem de rocha granito-gnaiss nas propriedades do concreto convencional no estado fresco e**

endurecido. 2007. 341 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007. Disponível em:

<<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tde/669>. Acesso em: 02 junho 2021.



Cabrera, O. A., Traversa, L. P., & Ortega, N. F. (2011). **Estado fresco de morteros y hormigones con arenas de machaqueo**. *Materiales de Construcción*, 303, pp. 401-416. Disponível em:
<<https://pdfs.semanticscholar.org/c5af/6cb2c46320d94f4a2098370b663371ce5df4.pdf>> Acesso em 21 abril 2021.

COSTA, André Felipe Tenório de Holanda e Silva. **Análise da adição de pó de brita no melhoramento de um solo, com vistas à pavimentação**. *Interfaces Científicas*, Aracajú, v. 3, n. 3, p.75-86, ago. 2019. Disponível em:
<<https://periodicos.set.edu.br/exatas/article/view/7688/3810>>. Acesso 02 maio 2021.

Departamento Nacional de Produção Mineral– DNPM. **O Universo da Mineração Brasileira – 2000**. Disponível em:
https://C:/Users/user/Downloads/universo_da_mineracao_brasileira_2000.pdf. Acesso em: 10 junho 2021.

DUARTE, João Batista. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por pó de pedra em concreto de cimento Portland**. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/12819>>. Acesso em: 14 junho 2021.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. Ed. PINI, 1a edição. São Paulo, 1995. Disponível em:<
<https://www.docsity.com/pt/manual-de-dosagem-e-controle-do-concreto/4896503/>>. Acesso em: 24 junho 2021.

KULAIF, Yara. **Areia de construção**. São Paulo: DNPM, 2013 Disponível em:
<<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnmp/sumarios/areia-construcao-sumario-mi-neral-2014>>. Acesso em: 17 junho 2021.

MEHTA, Povindar Kumar, MONTEIRO, Paulo JM. **Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais**. Ed. PINI, 1 a edição. São Paulo, 1994.g Disponível em:<http://www.worldcat.org/oclc/802414896>. Acesso em 03 abril 2021.

MENOSSEI, Rômulo Tadeu. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, 2008. Disponível em:<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/90740>. Acesso em: 19 maio 2021.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. 2ed. São Paulo: Pini, 1997. Disponível em:<<https://docero.com.br/doc/8n115sc>> Acesso em 14 maio 2021.



PETRUCCI, Eladio. **Concreto de Cimento Portland**. Porto Alegre: Globo, 1998. Disponível em: [https://C:/Users/user/Downloads/Concreto_de_Cimento Petrucci.pdf](https://C:/Users/user/Downloads/Concreto_de_Cimento_Petrucci.pdf). Acesso em: 29 junho 2021.

RASHWAN, Mohamed S.; ABOURIZK, Simaan. “**The Properties of Recycled Concrete**”, Concrete International, V.19, n.7, pp. 56 – 60, July 1997. Disponível em: <http://worldcat.org/oclc/4163061>. Acesso em: 14 abril 2021.

SELMO, Silva. **Dosagem de argamassa de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios**. São Paulo, 1989. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00039.pdf. Acesso em: 31 março 2021.

SILVA, Narciso; CAMPITELI, Vicente.; GLEIZE, Philippe Jean. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia de britagem de rocha calcária**. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 7., 2007. Disponível em: http://paginapessoal.utfpr.edu.br/ngsilva/links-2/noticias/A1289_SBTA2007_Argamassa.pdf. Acesso em: 27 abril 2021.

TEODORO, Sabrina Bastos. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural**. 2013. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013. Disponível em: <https://www.ufjf.br/engenhariacivil/files/2012/10/TCC-AVALIA%C3%87%C3%83O-DO-USO-DA-AREIA-DE-BRITAGEM-NA-COMPOSI%C3%87%C3%83O-DO-.pdf>. Acesso em: 28 abril 2021.

VALVERDE, Fernando Mendes. **Agregado para a construção civil**: Balanço Mineral Brasileiro, São Paulo: Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a construção, 2001. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivo_s/agregados-para-contrucao-civil.pdf. Acesso em: 29 abril 2021.

VIERO, Edison Humberto. **Aplicação de areia de britagem de rochas basálticas na fabricação de concreto de cimento Portland**. 2010. 137 f. Dissertação (Mestrado em Materiais) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/571>. Acesso em: 11 maio 2021.

WEIDMANN, Denis Fernandes. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland**. 2008. 273 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFSC_aa32a41a8e511a65b71bec3ea11be40a. Acesso em: 01 maio 2021.