



ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DO PÓ DE PEDRA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL

Juliana Maia Rodrigues Sales

Graduando em Engenharia Civil – Centro Universitário do Norte – UNINORTE.
Departamento de Ciências Exatas, Manaus – Amazonas.

Prof. Eng. Arthur Vinícius de Brito

Orientadora do Centro Universitário do Norte – UNINORTE

Resumo: É notável que as pesquisas para o desenvolvimento do concreto são constantes, pois é um material fundamental para a construção civil. Um dos estudos realizados é o concreto autoadensável (CAA) que melhora a aplicação e a trabalhabilidade deste tipo de concreto. O pó de pedra é um material que surge como uma alternativa sustentável para utilização nos concretos, além de ser viável economicamente. Este trabalho apresenta os resultados da inserção do pó de pedra substituindo parcialmente a areia, no concreto autoadensável através dos ensaios de slump flow, que mede a consistência e o ensaio de resistência à compressão. A caracterização dos materiais é de suma importância, pois atuam diretamente das propriedades do concreto. Com a introdução de um novo material na dosagem tradicional, a análise da granulometria dos agregados é essencial para o desempenho deste estudo. O traço de concreto executado foi fornecido por uma concreteira local, visando trabalhar com um traço de concreto já comercializada na região. Os valores obtidos no slump flow demonstram capacidade de aplicação deste material em lajes e estrutura com necessidade de baixo deslocamento horizontal. Quanto aos resultados de resistência à compressão, apresentou valores acima do estabelecido, mostrando que é uma alternativa viável para utilização nas obras locais. Com base nos resultados, a inserção do pó de pedra nos concretos é viável tanto na questão econômica quanto na sustentável, e sua aplicação não interfere em propriedades fundamentais do concreto como consistência e resistência.

Palavras-chave: Concreto; resistência; pó de pedra.

Abstract: It is notable that research for development is consistent since it is a fundamental material for a civil construction. This study is the self-sufficient concrete (CAA) which improve the application and the operation in this character. Stone powder is a material that emerges as a sustainable alternative for concrete use, in addition to being economically viable. The work presents the results of the research of substitution of stone in sand, in the concrete, self-absorbed through the tests of flow of fall, that consists of a consistency and the test of resistance to the compression. The characterization of the materials is of paramount importance because it is directly related to the properties of the concrete. With the introduction of a new material in traditional medicine, aggregate granulometry analysis is essential for the performance of this study. The concrete trait was provided by a local work, working with an already existing market route in the region. The values in slump flow demonstrate the ability to apply this material in slabs and structure. As for the results of compressive strength, presented values above the established, showing that it is a viable alternative for the use in the local works. Based on the results, the insertion of a powder into the concretes is viable both in the question of sustainability and in its application does not interfere in the fundamental properties of the concrete as consistency and resistance.

Keywords: Concrete; resistance; grit.

1. INTRODUÇÃO

Cada dia mais os concretos especiais vêm ganhando destaque na construção civil, tanto por proporcionar avanços nas tecnologias construtivas quanto por sanar algumas limitações apresentadas pelo concreto convencional. Além disso, há a preocupação com os impactos ambientais ocasionados pela retirada desordenada nas jazidas fazendo com que sejam necessários estudos com a inserção de novos materiais para a fabricação do concreto. Segundo KLEIN (2008, p. 1) “a obtenção de areia natural para utilização em concreto vem se tornando cada vez mais difícil devido ao esgotamento de jazidas localizadas próximas aos grandes centros urbanos e às restrições impostas pelos órgãos de fiscalização ambiental”.

O Concreto autoadensável (CAA), conforme Neville (2013, p.409) “é uma mistura que expelle o ar aprisionado sem vibração e flui por obstáculos, como a armadura, para preencher as fôrmas.” O CAA é constituído por uma grande quantidade de finos em sua mistura para que ele alcance a propriedade de autoadensabilidade, essa característica viabiliza o uso de materiais recicláveis. Uma alternativa de substituição da areia natural é a utilização do resíduo da britagem das rochas, conhecido como pó de pedra.

A utilização de pó de pedra já vem ocorrendo em diversos países, segundo MENOSSI (2004, p. 2) “esses finos podem ser utilizados na confecção de concretos com finalidade estrutural” sendo uma alternativa sustentável para substituição do agregado natural. Estudos comprovam que esses resíduos quando não reaproveitados causam uma série de impactos ambientais, portanto sua reutilização reduz o acúmulo desse agregado nas pedreiras e diminui o custo da produção do concreto tendo em vista que é um material mais barato e com menos restrições ambientais.

Além de ser considerado um concreto aliado do meio ambiente, ele aumenta a produtividade no canteiro de obra, reduzindo a vibração e o ruído causado pela execução do adensamento das estruturas, melhorando assim as condições trabalhistas dos colaboradores e o ambiente de trabalho.

O CAA vem recebendo grande destaque e aplicações em países da Europa desde o seu desenvolvimento no Japão na década de 80, devido seu bom desempenho e utilização de materiais usuais do concreto convencional, porém no Brasil ainda há poucas obras realizadas utilizando este tipo de concreto especial, sendo sua principal utilização no país na indústria de pré-moldados.

A finalidade deste trabalho é verificar a influência da incorporação do pó de pedra no concreto autoadensável e estudar a possibilidade de melhoria no comportamento mecânico do concreto ao substituir parcialmente o agregado miúdo natural pelo artificial.

2. METODOLOGIA

Para a análise deste objeto foi necessário a realização de ensaios laboratoriais para a caracterização dos materiais utilizados na fabricação do CAA. Anteriormente aos ensaios fez-se necessário a efetuação de pesquisas bibliográficas às normas regulamentadoras, teses e artigos relacionados aos assuntos principais neste trabalho abordado como a caracterização dos agregados e os métodos de análise da resistência do concreto.

2.1. Caracterização Física do Pó de Pedra

2.1.1. Origem do Material

O pó de pedra utilizado neste trabalho é proveniente do município de Presidente Figueiredo, que fica a aproximadamente 130 km de distância da capital Manaus.



Figura 1 – Pó de Pedra. Fonte: Autoria Própria, 2018.

2.1.1.1. Determinação da Composição Granulométrica

Para a análise granulométrica do agregado miúdo realizou-se o ensaio seguindo a NBR NM 248 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Para o ensaio necessita-se que o material esteja seco e na temperatura ambiente e posteriormente pesou-se duas amostras de 500 g do material.



Figura 2 – Pesagem da Amostra do Pó de Pedra. Fonte: Autoria Própria, 2018.

Encaixou-se as peneiras de série normal e intermediária, previamente limpas, na ordem crescente da abertura das malhas da base até o topo e colocou-se a primeira amostra na peneira superior. Promoveu-se a agitação mecânica do conjunto de peneiras por um tempo de 4 minutos para a classificação dos diferentes tamanhos do material. Concluída esta etapa coletou-se o material retido, enquanto que o material que ficou preso na malha da peneira é considerado como passante.

Para finalizar, determinou-se a massa total do material retido em todas as peneiras e no fundo do conjunto. Repetiu-se o ensaio com a segunda amostra. Na determinação dos resultados calcula-se a porcentagem retida em cada peneira e a porcentagem acumulada. A dimensão máxima do agregado é determinada pelo tamanho da abertura da malha em milímetros em qual a porcentagem retida acumulada é igual ou imediatamente inferior a 5%. O módulo de finura é obtido com a somatória das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras de série normal dividido por 100.

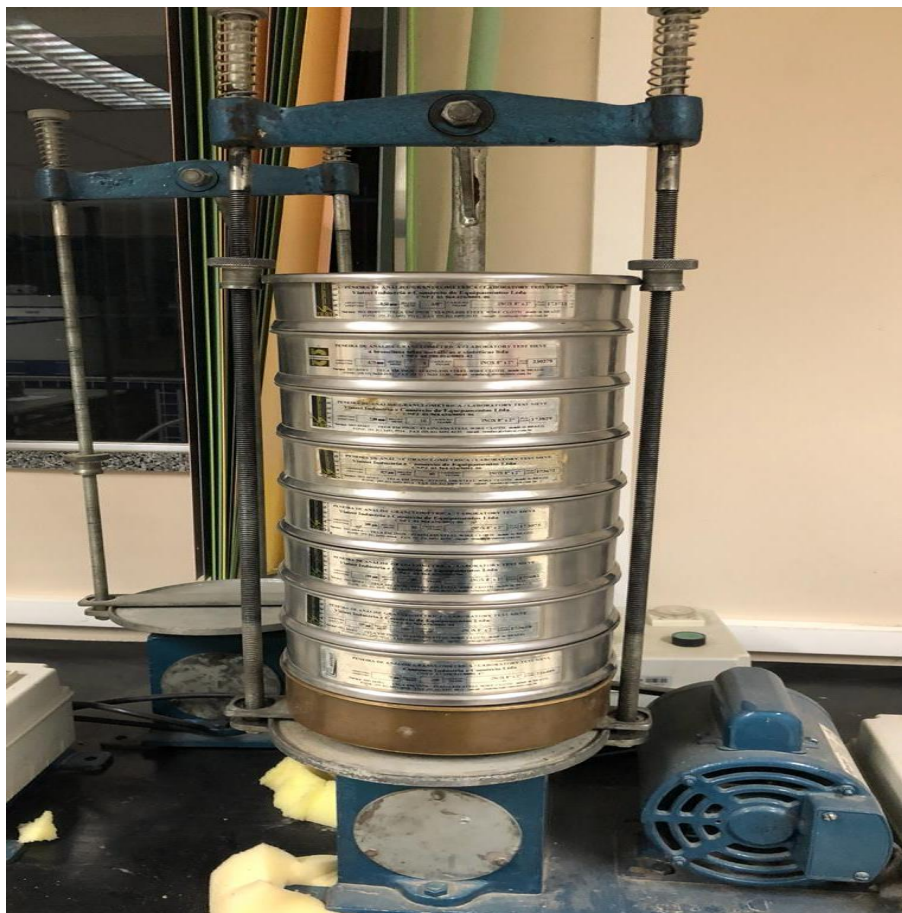


Figura 3 – Conjunto de Peneiras. Fonte: Autoria Própria, 2018.

2.1.1.2. Determinação da Absorção

O ensaio foi realizado de acordo com o procedimento especificado pela NBR NM 30 - Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Primeiramente, retirou-se uma amostra de 1 kg do agregado seco (m) e este foi coberto por água durante 24 horas. Após isso colocou-se a amostra em uma superfície plana secando-a uniformemente até que os agregados não estivessem aderidos entre si.

Inseriu-se o agregado miúdo no molde sem comprimi-lo e aplicou-se 25 golpes com a haste de compactação, em seguida ergueu-se o molde e foi verificado que o material havia tomado a forma do molde. Repetiu-se o procedimento de secagem até que o agregado desmornasse após a retirada do molde, que é o momento em que o material atinge a condição de saturado e de superfície seca (m_s), por fim pesou-se a amostra.

Calcula-se a amostra utilizando a seguinte equação (1)

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

A = absorção da água (%)

m_s = massa na condição saturado e de superfície seca (g)

m = massa da amostra (g)

2.1.1.3. Determinação da Massa Específica

Na determinação da massa específica do agregado utilizou-se a NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Após a determinação da porcentagem de absorção de água retirou-se 500 g do agregado (m_s) inserindo-o dentro de um frasco e pesou-se o conjunto (m_1). Adicionou-se 500 ml de água neste frasco e retirou-se as bolhas de ar presentes. Após 1 hora foi acrescentou-se água até a marca de 500 cm³ e determinou-se a massa (m_2).

Posteriormente retirou-se o agregado do frasco e secou-o na estufa à 110°C e pesou-se a amostra (m). Para a determinação da massa específica aparente do agregado seco utilizou-se a seguinte equação (2).

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a} \quad (2)$$

Onde:

d_1 = massa específica aparente do agregado seco (g/cm³);

V = volume do frasco (cm³);

V_a = volume de água adicionado ao frasco (cm³) determinado pela equação

(3).

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad (3)$$

m_1 = massa do conjunto (frasco + agregado) (g);

m_2 = massa do conjunto (frasco + agregado + água) (g);

ρ_a = massa específica da água (g/cm³).

Para a determinação da massa específica do agregado saturado superfície seca, utilizou-se a seguinte equação (4).

$$d_2 = \frac{m_s}{V - V_a} \quad (4)$$

Onde:

d_2 = massa específica do agregado saturado superfície seca (g/cm^3);

m_s = massa da amostra na condição saturada superfície seca (g);

V = volume do frasco (cm^3);

V_a = volume da água adicionada ao frasco (cm^3).

E para a determinação da massa específica, utilizou-se a seguinte equação

(5).

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{\rho_a}} \quad (5)$$

Onde:

d_3 = massa específica do agregado (g/cm^3);

m = massa da amostra seca na estufa (g);

V = volume do frasco (cm^3);

V_a = volume de água adicionado ao frasco (cm^3);

m_s = massa da amostra na condição saturada superfície seca (g);

ρ_a = massa específica da água (g/cm^3).

2.1.1.4. Determinação da Massa Unitária

Na realização deste ensaio foi necessário o seguimento dos procedimentos expressos na NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Foi utilizado o método C especificado na norma que emprega a verificação da massa unitária do material no estado solto.

Primeiramente determinou-se a massa do recipiente vazio, posteriormente com o auxílio de uma pá e à uma altura de 5 cm acima da borda do recipiente, encheu-se o mesmo até que este trasbordou.



Figura 4 - Ensaio de Massa Unitária. Fonte: Autoria Própria, 2018.

A seguir, nivelou-se a camada superficial e pesou-se o recipiente com a amostra. Repetiu-se o ensaio. Os resultados obtidos foram utilizados na seguinte equação (6).

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (6)$$

Onde:

ρ_{ap} = massa unitária do agregado (kg/m^3);

m_{ar} = massa do recipiente com o agregado (kg);

m_r = massa do recipiente (kg);

V = volume do recipiente (m^3).

2.1.1.5. Determinação do Teor de Material Pulverulento

Nesse ensaio foi necessária utilização da NBR NM 46 - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm , por lavagem. Foi utilizado o procedimento A da norma em que é utilizada apenas a lavagem com água.

Com material previamente seco foi retirado 500 g de amostra, após esse procedimento colocou-se o material em um recipiente, cobriu-o com água e promoveu-se a agitação do agregado até a separação das partículas mais finas, despejou-se a água com o material pulverulento na peneira 75 µm. Este procedimento foi realizado até que a água ficasse clara.

Posteriormente o material retido na peneira foi recolocado sobre a amostra lavada e seca em estufa a 110°C. A massa do material foi determinada na balança de precisão. Os resultados foram inseridos na seguinte equação (7).

$$m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

m = material mais fino que a peneira 75 µm (%).

m_i = massa inicial da amostra seca (g);

m_f = massa da amostra seca após a lavagem (g).

2.2. Caracterização do Cimento e dos Agregados

2.2.1. Cimento

Para a execução do ensaio foi utilizado foi o CP I S 40 da Cemex. Esse tipo de Cimento Portland, diferente do CP I (Cimento Portland Comum) que é 100% composto de clínquer e sulfato de cálcio, possui 5% de adição de pozolana.



Figura 5 – Cimento Portland com Adição de Pozzolana. Fonte: Autoria Própria, 2018.

2.2.1.1. Determinação da Massa Específica

O ensaio para determinação da massa específica é regido pela norma NBR16605/2017 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica, que substituiu antiga norma NBR NM 23/2001.

Para a realização deste ensaio foi necessário a utilização do frasco de Le Chatelier cuja capacidade de aproximadamente 250 cm³. Para a execução do ensaio preencheu-se o frasco com líquido que não reagia quimicamente com o material ensaiado até a marca de 1 cm³, nesse caso foi utilizado o querosene. Para evitar que o material aderisse às paredes do frasco o interior foi seco com papel absorvente, e em seguida o frasco realizou-se a leitura do volume (V_1)

Com a ajuda do funil de haste curta, introduziu-se 60 g do material previamente pesado na balança de precisão, e posteriormente realizou-se a agitação do frasco com rotação na posição inclinada até a retirada de todo o ar presente no recipiente e verificou-se o volume final (V_2). Foi realizada a repetição do ensaio.

Para determinação da massa específica, os resultados encontrados foram aplicados na seguinte equação (8).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (8)$$

Onde:

ρ = massa específica do material (g/cm³)

m = massa do material (g)

V = volume deslocado pela massa do material $V_1 - V_2$ (cm³)

2.2.1.2. Determinação da Finura

O ensaio realizado para determinar a finura do material seguiu a norma NBR 1579 - Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200) que prescreve os métodos de ensaio. Para a realização do ensaio é preciso que a peneira esteja limpa e seca e encaixada no fundo, deve-se colocar 50 g do material e chacoalhar suavemente para evitar desperdícios e espalhar o agregado. É necessário fazer esse processo até que quase todos os grãos mais finos do material passem pela malha.

Após isso colocou-se a tampa, retirou-se o fundo e foi aplicada leve batidas com um bastão para remover o material retido e realizou-se a limpeza do fundo da malha. Inseriu-se o fundo e removeu-se a tampa repetindo o peneiramento em movimentos suaves. Todo o material que passa da peneira #200 foi ser desprezado.

Posteriormente, com a peneira tampada e com o fundo, realizou-se peneiramento de forma mais rápida, após isso recolheu-se todo o material passante com a ajuda do pincel e pesa-o para determinar a massa.

Para finalizar o procedimento, recolheu-se todo o material retido e este material é pesado para de terminar o resíduo (r). Para definir o índice de finura do cimento, utilizou-se a seguinte equação (9).

$$I_F = \frac{r}{m} \times 100 \quad (9)$$

Onde:

I_F = índice de finura do concreto (%)

r = resíduo do cimento na peneira 75 μm (g)

m = massa inicial (g)

2.2.1.3. Determinação do Tempo de Pega

A norma que prescreve os métodos de ensaio para a determinação do tempo de pega é a NBR16607 - Cimento Portland — Determinação dos tempos de pega. Nesse ensaio utilizou-se o material da forma que ele foi recebido e este foi armazenado por tempo suficiente para que estivesse à temperatura ambiente.

Inicialmente pesou-se 500 g de cimento e colocou-o dentro do misturador junto com a água, deixando esta mistura em repouso por 30 s, passado esse tempo misturou-se em velocidade lenta por mais 30 s. Posteriormente, desligou-se o misturador por 60 s onde por 30 s é realizou-se a raspagem das paredes da cuba, na sequência misturou-se durante 60 s em velocidade rápida.



Figura 6 – Misturador. Fonte: Autoria Própria, 2018.

Ajustou-se se o indicador na marca zero e registrou-se a leitura inicial, realizou-se o preenchimento do molde e 30 min depois este foi colocado sob a agulha Vicat. Abaixou-se a agulha até que está entrou em contato com a pasta e soltou-a fazendo com esta penetrasse verticalmente na pasta e após 30 s realizou a leitura da escala e do tempo desde o momento de contato da água com o cimento.

Este procedimento foi realizado em intervalos sucessivos de 10 min e a agulha foi limpa imediatamente após cada penetração. O ensaio de determinação do tempo de pega chegou ao fim quando ficou estacionada a 5 mm da placa-base

Na determinação do fim da pega, substitui-se a agulha e inverteu-se o corpo de prova e realizou-se o mesmo processo de penetração do ensaio de início de pega até que a agulha penetrasse apenas 5 mm .



Figura 7 – Aparelho de Vicat. Fonte: Autoria Própria, 2018.

2.2.2. Agregado Miúdo

Neste trabalho, além da utilização do pó de pedra como agregado miúdo, utilizado a areia natural.

2.2.2.1. Determinação da Composição Granulométrica

O ensaio foi realizado conforme descrito no item 2.1.1.1

2.2.2.2. Determinação da Massa Específica

O ensaio foi realizado conforme descrito no item 2.1.1.3

2.2.2.3. Determinação da Massa Unitária

O ensaio foi realizado conforme descrito no item 2.1.1.4

2.2.2.4. Determinação do Teor de Material Pulverulento

O ensaio foi realizado conforme descrito no item 2.1.1.5

2.2.3. Agregado Graúdo

Para a realização deste trabalho foram usados dois tipos de agregado graúdo a Brita 0 e a Brita 1.

2.2.3.1. Determinação da Composição Granulométrica

O ensaio foi realizado conforme descrito no item 2.1.1.1

2.2.3.2. Determinação das Massas Específicas e da Absorção

O ensaio seguiu as orientações da NBR NM 53 - Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Primeiramente foram pesadas amostras de 2 kg de brita 0 e 4 kg de brita 1 conforme prescrição da norma o material deve estar livre da pó e seco.

Em seguida o material foi submerso na água por 24 h, passado esse período secou-se o agregado superficialmente permanecendo úmido, imediatamente após esse processo pesou-se o material (m_s). Após isso o material foi submerso

novamente em um recipiente e novamente pesado (m_a). Levou-se o agregado á estufa a temperatura de 110°C e determinou-se a massa do agregado seco (m).

Para a determinação da massa específica do agregado seco utilizou-se a seguinte equação (10).

$$d = \frac{m}{m - m_a} \quad (10)$$

Onde:

d = massa específica do agregado seco (g/cm^3);

m = massa da amostra seca (g);

m_a = massa da água da amostra (g).

Para determinação da massa específica do agregado na condição saturado superfície seca, utilizou-se a equação (11).

$$d_s = \frac{m_s}{m_s - m_a} \quad (11)$$

Onde:

d_s = massa específica do agregado na condição saturado superfície seca (g/cm^3);

m_s = massa da amostra na condição saturada superfície seca (g);

m_a = massa da água da amostra (g).

Para determinação da massa específica aparente, utilizou-se a equação (12).

$$d_a = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (12)$$

Onde:

d_a = massa específica aparente do agregado seco (g/cm^3);

m = massa da amostra seca (g);

m_s = massa da amostra na condição saturada superfície seca (g);

m_a = massa da água da amostra (g).

Para determinação da absorção da água utilizou-se a seguinte equação (13)

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \quad (13)$$

Onde:

A = absorção da água (%)

m = massa da amostra seca (g);

m_s = massa da amostra na condição saturada superfície seca (g);

2.2.3.3. Determinação da Massa Unitária

O ensaio foi realizado conforme descrito no item 2.1.1.4

2.2.3.4. Determinação do Teor de Material Pulverulento

O ensaio foi realizado conforme descrito no item 2.1.1.5

2.3. Caracterização dos Aditivos

Os aditivos utilizados para a fabricação dos corpos de prova foram o V-MAR 3 e o Mira Flow 985 da Grace Construction Products que é referência no fornecimento de produtos químicos e materiais na construção civil.

2.3.1. Mira Flow 985

Esse aditivo tem como principal função a melhoria na trabalhabilidade do concreto e trata-se de um aditivo polifuncional. Esse aditivo reduz a quantidade de água e melhora o adensamento do concreto, aumentando sua fluidez e resistência mecânica. Segundo as instruções do fabricante, ele deve ser incorporado ao concreto após a mistura de todos os materiais e a dosagem do ativo deve ser da 0,3% a 1,2% da massa do concreto.

2.3.2. V-MAR 3

Os modificadores de viscosidade são muito utilizados no CAA, pois influenciam em uma das principais características deste tipo de concreto que é a capacidade de espalhamento sem segregação dos componentes, segundo as especificações do fabricante o aditivo deve ser dosado entre 0,01% a 0,06% da

massa do concreto e é recomendado que o seu uso seja feito logo após ao contato do cimento com a água.

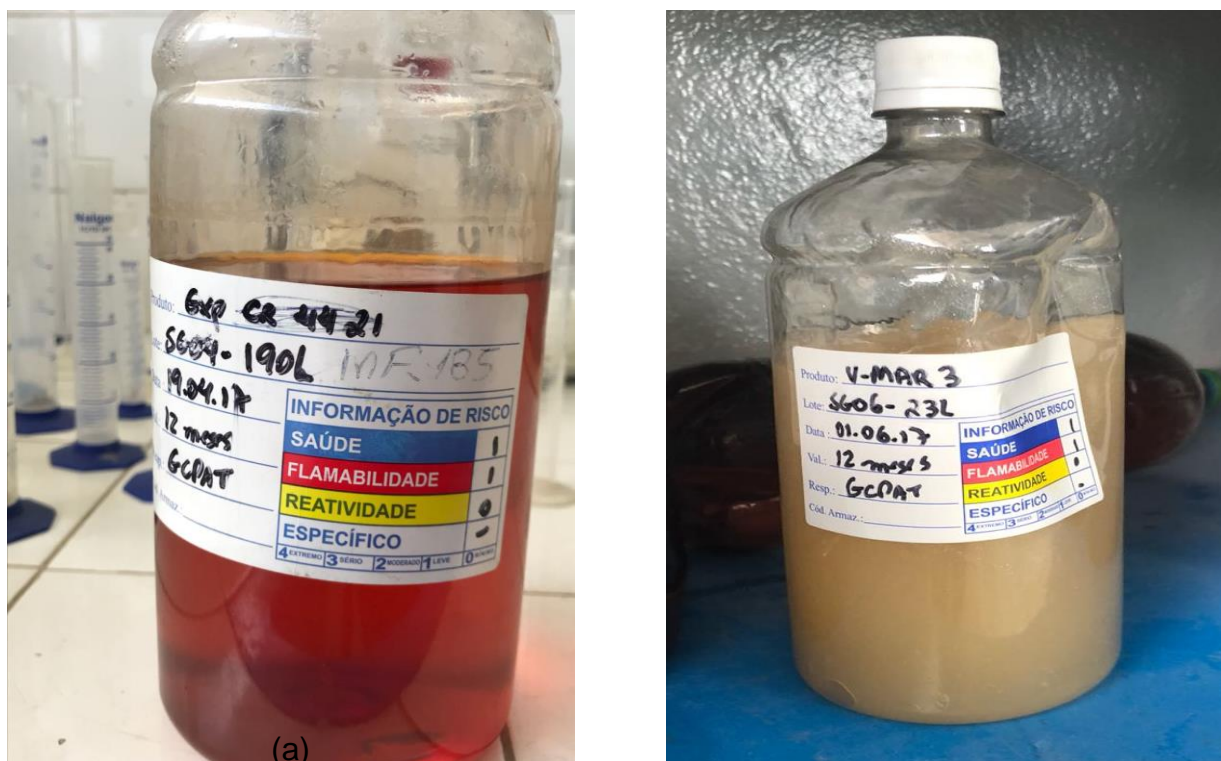


Figura 8 – (a) Superplastificante, (b) Modificador de Viscosidade. Fonte: Autoria Própria, 2018.

2.4. Análise do Comportamento Físico-Mecânico do Concreto

2.4.1. Traço do Concreto

O traço utilizado foi recomendado por uma renomada concreteira de Manaus, local onde foram realizados alguns ensaios com o Slump Flow e o de resistência á compressão. No traço foram utilizados com agregado miúdo a areia natural e a areia artificial (pó de pedra) e a brita 0 e brita 1 como agregado graúdos. Além disso, foram incorporados um aditivo polifuncional redutor de água cuja dosagem foi de 0,3% da massa do concreto. Já para a dosagem do aditivo modificador de viscosidade seguiu-se as recomendações do fabricante e utilizou-se 0,05% na composição do concreto.

Tabela 1 – Composição do Traço

Material	Quantidade
CIMENTO	6,76 kg
PÓ DE PEDRA	5,90 kg
AREIA NATURAL	11,90 kg
BRITA 0	8,50 kg
BRITA 1	8,50 kg
ÁGUA	4,04 l
ADITIVO (SUPERPLASTIFICANTE)	57,46 ml
ADITIVO (MODIFICADOR DE VISCOSIDADE)	10,00 ml

Fonte: Autoria Própria, 2018.

As proporções do traço foi de 1:0,87:1,76:1,25:1,25:0,59 sendo o fator água cimento (a/c) de 0,59 dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBRB 6118 para concretos C25.

2.4.2. Slump Flow Test

Na realização do Slump Flow utilizou-se as especificações da NBR 15823-2 – Concreto autoadensável – Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual – Método do cone de Abrams.

Antes do ensaio realizou-se a limpeza e o umedecimento do molde e colocou-se a placa-base sobre uma superfície nivelada, posicionou-se o molde sobre a placa e iniciou-se o preenchimento do cone sem o adensamento. A desmoldagem foi realizada de forma constante e aguardou-se até que o concreto atingiu o estado de repouso aparente.

Todo o processo, desde o preenchimento do molde até a desmoldagem foi inferior a 1 min como estabelecido pela norma, e em seguida realizou-se as medidas do diâmetro de espalhamento do concreto.

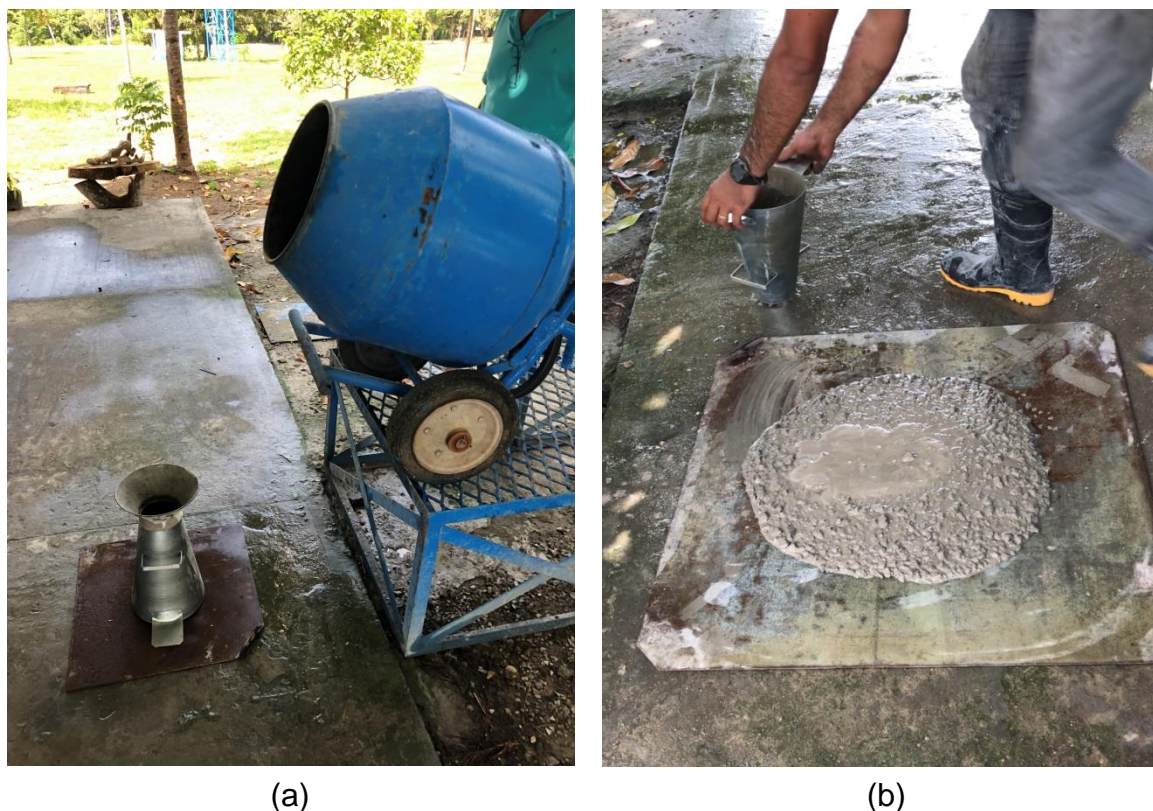


Figura 9 – (a) Cone de Abrams, (b) Slump Flow Test. Fonte: Autoria Própria, 2018.

Através da realização deste ensaio o concreto pode ser classificado quanto ao espalhamento no estado fresco de acordo com a Tabela 2 presente na NBR 15823-1 - Concreto autoadensável - Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco.

Tabela 2 – Slump Flow

Classe de Espalhamento	Espalhamento (mm)	Aplicação	Exemplo
SF 1	550 a 650	Estruturas que requerem uma curta distância de espalhamento horizontal do concreto autoadensável.	Lajes; Estacas e algumas fundações profundas.
SF 2	660 a 750	Adequada para a maioria das aplicações correntes.	Paredes; Vigas; Pilares e Outros.
SF 3	760 a 850	Estruturas com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa, com o uso de concreto com agregado graúdo de pequenas dimensões (menor que 12,5 mm).	Pilares-Parede; Paredes-Diafragma; Pilares.

Fonte: NBR 15823-1

Além da classificação quanto ao espalhamento, o CAA também pode ser classificado de acordo com o índice de estabilidade visual, cujos critérios de avaliação estão expressos na Tabela 3, presente na NBR15823-2.

Tabela 3 – Índice de Estabilidade Visual (IEV)

Classe	Índice de Estabilidade Visual
IEV 0 (Altamente Estável)	Sem evidência de segregação ou exsudação
IEV 1 (Estável)	Sem evidência de segregação e leve exsudação
IEV 2 (Instável)	Presença de pequena auréola de argamassa (≤ 10 mm) e/ou empilhamento de agregados no centro do concreto
IEV 3 (Altamente Instável)	Segregação claramente evidenciada pela concentração de agregados no centro do concreto ou pela dispersão de argamassa nas extremidades (auréola de argamassa > 10 mm).

Fonte: NBR 15823-2

2.4.3. Moldagem dos Corpos-de-Prova

Para a realização da confecção dos corpos de prova seguiu-se as especificações da NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Primeiramente pesou-se todos os materiais de acordo com o traço preestabelecido (Figura 10a).

Para a execução foi utilizado o molde cilíndrico de 10x20 cm que receberam previamente uma camada de óleo vegetal. Com a utilização da betoneira (Figura 10b) iniciou-se a mistura dos agregados graúdos para os miúdos.

Na moldagem dos corpos de prova realizou-se o lançamento em camadas dispensando a etapa de adensamento como é executado no concreto convencional (Figura 11a) e após isso foi realizado o rasamento da superfície do molde.

Os moldes foram armazenados em local horizontal rígido e longe das intempéries por 24 horas como determinado na norma para moldes cilíndricos. Após a desmoldagem os corpos de prova ficaram submersos no tanque de cura (Figura 11b) pelos períodos de 3, 7 e 28 dias.



(a)



(b)

Figura 10 - (a) Pesagem dos Agregados, (b) Produção mecanizada do concreto com betoneira.

Fonte: Autoria Própria, 2018.



(a)



(b)

Figura 11 - (a) Moldagem dos Corpos de Prova, (b) Cura Submersa do Concreto. Fonte: Autoria Própria, 2018.

2.4.4. Determinação da Resistência à Compressão Axial

O ensaio foi realizado conforme especificações presentes na NBR 5739 – Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos. Os corpos de prova foram rompidos na idade de 3, 7 e 28 dias de cura úmida. Colocou-se cuidadosamente os corpos de prova no prato inferior da máquina de compressão e estes foram submetidos a esse carregamento até que houve-se a queda da força indicando a ruptura do material.



Figura 12 – Rompimento dos Corpos de Prova. Fonte: Autoria Própria, 2018.

A resistência à compressão é calculada através da seguinte equação (14):

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad (14)$$

Onde:

f_c = resistência à compressão (MPa);

F = força máxima alcançada (N);

D = diâmetro do corpo de prova (mm).

3. RESULTADOS

3.1. Pó de Pedra

3.1.1. Granulometria

Na Tabela 4, encontra-se a determinação da granulometria do pó de pedra. A ilustração da curva granulométrica pode ser vista na Figura 13.

Tabela 4 - Composição Granulométrica do Pó de Pedra

Composição granulométrica		
Peneira ABNT Abertura nominal (mm)	Pó de Pedra	
	Individual	Acumulada
9,5	0 %	0 %
6,3	2 %	2 %
4,75	2 %	4 %
2,36	26 %	30 %
1,18	25 %	55 %
0,6	15 %	70 %
0,3	11 %	81 %
0,15	7 %	88 %
< 0,15	12 %	100 %
Total	100 %	100%
Dim. Máxima (mm)	4,75	
Módulo de Finura	3,28	

Fonte: Autoria Própria, 2018.

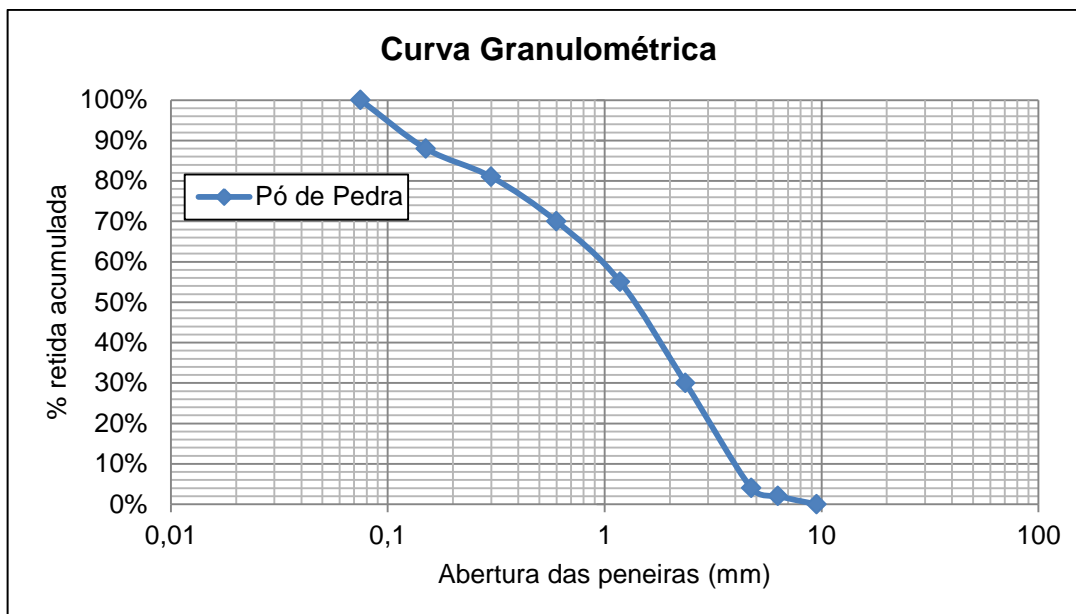


Figura 13 – Curva Granulométrica do Pó de Pedra. Fonte: Autoria Própria, 2018.

3.1.2. Absorção da Água

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para a absorção de água do agregado miúdo.

Tabela 5 – Absorção de Água do Pó de Pedra.

Agregado	Massa da Amostra (g)	Massa na Condição Saturado Superfície Seca (g)	Absorção da Água (%)
Pó de Pedra	1000,0	1010,0	1,0

Fonte: Autoria Própria, 2018.

3.1.3. Massa Específica

Os resultados obtidos através do ensaio de massa específica estão expressos na Tabela 6.

Tabela 6 – Massas Específicas Aparente, Saturada e Real do Pó de Pedra.

Massa Específica (kg/m ³)	Aparente	2640,0
	Saturada	2670,0
	Real	2710,0

Fonte: Autoria Própria, 2018.

3.1.4. Massa Unitária

Os resultados obtidos através do ensaio de massa unitária estão expressos na Tabela 7.

Tabela 7 – Massa Unitária do Pó de Pedra.

Determinação	Amostra 1	Amostra 2
Massa do Recipiente (g)	385,5	385,5
Massa do Recipiente com Agregado (g)	2869,79	2876,38
Volume do Recipiente (cm ³)	1647,41	1647,41
Massa Unitária (g/cm ³)	1,508	1,512
Massa Unitária (kg/m ³)	1508	1512
Média (kg/m ³)	1510	

Fonte: Autoria Própria, 2018.

3.1.5. Material Pulverulento

Os resultados encontrados na determinação do teor de material pulverulento do agregado encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 – Teor de Material Pulverulento do Pó de Pedra.

Determinação	Amostra 1
Massa da Amostra Seca (g)	500,00
Massa da Amostra Seca após Lavagem (g)	441,50
Teor de Material Pulverulento (%)	11,70

Fonte: Autoria Própria, 2018.

3.2. Cimento

3.2.1. Massa Específica

A determinação dos resultados da massa específica do cimento encontra-se expressa na Tabela 9.

Tabela 9 – Massa Específica do Cimento.

Determinação	Amostra 1	Amostra 2
Massa (g)	60	60
Volume Inicial (cm ³)	0,70	0,70
Volume Final (cm ³)	20,10	20,19
Massa Específica (g/cm ³)	3,09	3,08
Massa Específica (kg/m ³)	3092,78	3078,50
Média (kg/m ³)	3085,64	

Fonte: Autoria Própria, 2018.

3.2.2. Finura

Na Tabela 10 encontra-se os valores resultantes índice de finura do cimento.

Tabela 10 – Índice de Finura do Cimento.

Determinação	Amostra 1
Massa Inicial(g)	50
Massa Retida (g)	1,25
Finura (%)	2,50

Fonte: Autoria Própria, 2018.

3.2.3. Tempo de Pega

Os tempos de início e fim de pega do cimento encontram-se listados na Tabela 11.

Tabela 11 – Tempos de Início e Fim de Pega do Cimento.

Horário	Tempo entre as leituras (min)	Penetração da Agulha Vicat (mm)
14h15min	30	50
14h25min	40	50
14h35min	50	50
14h45min	60	50
14h55min	70	50
15h05min	80	50
15h15min	90	50
15h25min	100	50
15h35min	110	50
15h45min	120	50
15h55min	130	49
16h05min	140	47
16h15min	150	45
16h25min	160	41
16h35min	170	38
16h45min	180	32
16h55min	190	27
17h05min	200	24
17h15min	210	19
17h25min	220	13
17h35min	230	9
17h45min	240	5
17h55min	250	3
18h05min	260	1
18h15min	270	0
18h25min	280	0
18h35min	290	0

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Na Figura 14 mostra a representação gráfica dos tempos de pega do cimento.

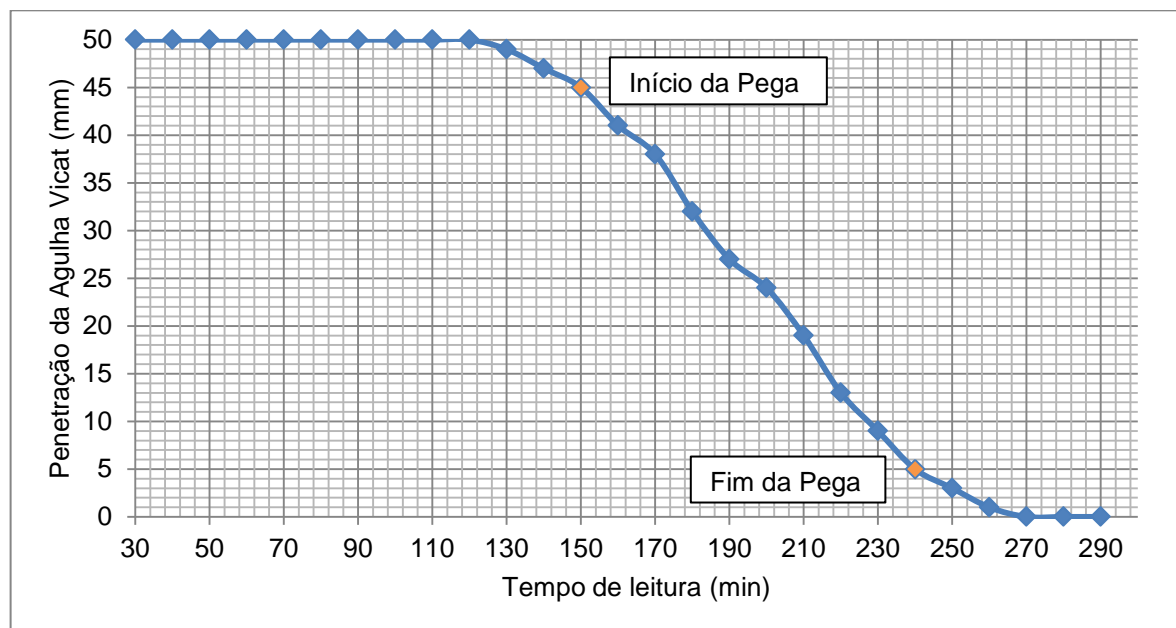


Figura 14 – Evolução do Tempo de Pega. Fonte: Autoria Própria, 2018.

3.3. Agregado Miúdo

3.3.1. Granulometria

Os resultados da composição granulométrica da areia natural estão representados na Tabela 12.

Tabela 12 – Composição Granulométrica da Areia Natural.

Composição granulométrica		
Peneira ABNT Abertura nominal (mm)	Areia Natural	
	Individual	Acumulada
9,5	0%	0%
6,3	0%	0%
4,75	0%	0%
2,36	1%	1%
1,18	4%	5%
0,6	24%	29%
0,3	56%	85%
0,15	13%	98%
< 0,15	2%	100%
Total	100%	100%
Dim. Máxima (mm)	0,3	
Módulo de Finura	2,18	

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A Figura 15 apresenta a representação gráfica da curva granulométrica do agregado miúdo.

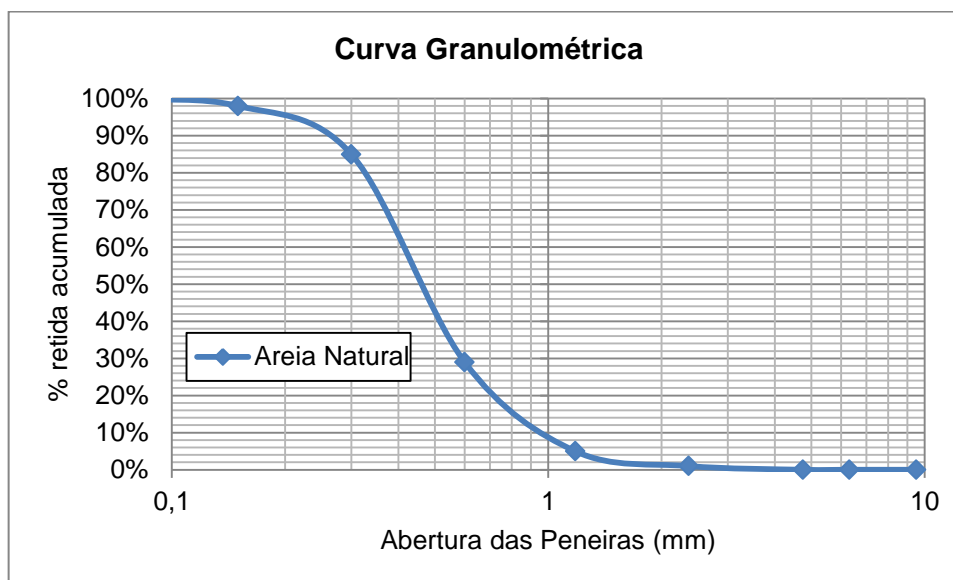


Figura 15 – Curva Granulométrica da Areia Natural. Fonte: Autoria Própria, 2018.

3.3.2. Massa Específica

A Tabela 13 demonstra os resultados obtidos no ensaio de determinação da massa específica aparente, saturada e real da areia natural.

Tabela 13 – Massas Específicas Aparente, Saturada e Real da Areia Natural.

Massa Específica (kg/m³)	Aparente	2650,0
	Saturada	2720,0
	Real	2760,0

Fonte: Autoria Própria, 2018.

3.3.3. Massa Unitária

A Tabela 14 demonstra os resultados obtidos no ensaio de determinação da massa unitária da areia natural.

Tabela 14 – Massa Unitária da Areia Natural.

Determinação	Amostra 1	Amostra 2
Massa do Recipiente (g)	385,5	385,5
Massa do Recipiente com Agregado (g)	2807,19	2938,99
Volume do Recipiente (cm³)	1647,41	1647,41
Massa Unitária (g/cm³)	1,47	1,55
Massa Unitária (kg/m³)	1470	1550
Média (kg/m³)	1510	

Fonte: Autoria Própria, 2018.

3.3.4. Material Pulverulento

A Tabela 15 demonstra os resultados obtidos no ensaio de determinação do teor de material pulverulento da areia natural.

Tabela 15 – Teor de Material Pulverulento da Areia Natural.

Determinação	Amostra 1
Massa da Amostra Seca (g)	500,00
Massa da Amostra Seca após Lavagem (g)	495,00
Teor de Material Pulverulento (%)	1,00

Fonte: Autoria Própria, 2018.

3.4. Agregado Graúdo

3.4.1. Granulometria

Os resultados encontrados na determinação da composição granulométrica da Brita 0 estão expressos na Tabela 16.

Tabela 16 – Composição Granulométrica da Brita 0.

Composição granulométrica		
Peneira ABNT Abertura nominal (mm)	Brita 0	
	Individual	Acumulada
25	0%	0 %
19	0%	0 %
12,5	5%	5%
9,5	41%	46%
6,3	39%	85%
4,75	13%	98%
2,36	2%	100%
1,18	0%	100%
0,6	0%	100%
0,3	0%	100%
0,15	0%	100%
< 0,15	0%	100%
Total	100%	100%
Dim. Máxima (mm)	9,5	
Módulo de Finura	6,41	

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A figura 16 apresenta a representação gráfica da curva granulométrica da Brita 0.

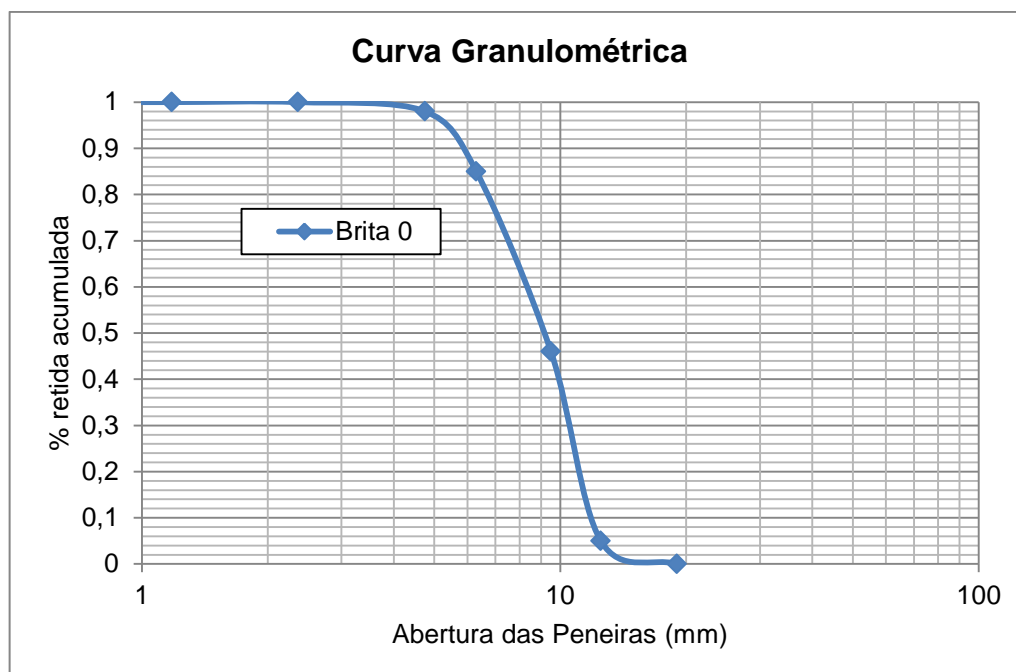


Figura 16 – Curva Granulométrica da Brita 0. Fonte: Autoria Própria, 2018.

Os resultados encontrados na determinação da composição granulométrica da Brita 1 estão expressos na Tabela 17.

Tabela 17 – Composição Granulométrica da Brita 1.

Composição granulométrica		
Peneira ABNT Abertura nominal (mm)	Brita 1	
	Individual	Acumulada
25	0%	0%
19	13%	13%
12,5	78%	91%
9,5	8%	99%
6,3	1%	100%
4,75	0%	100%
2,36	0%	100%
1,18	0%	100%
0,6	0%	100%
0,3	0%	100%
0,15	0%	100%
< 0,15	0%	100%
Total	100%	100%
Dim. Máxima (mm)	12,5	
Módulo de Finura	7,12	

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A figura 17 apresenta a representação gráfica da curva granulométrica da Brita 1.

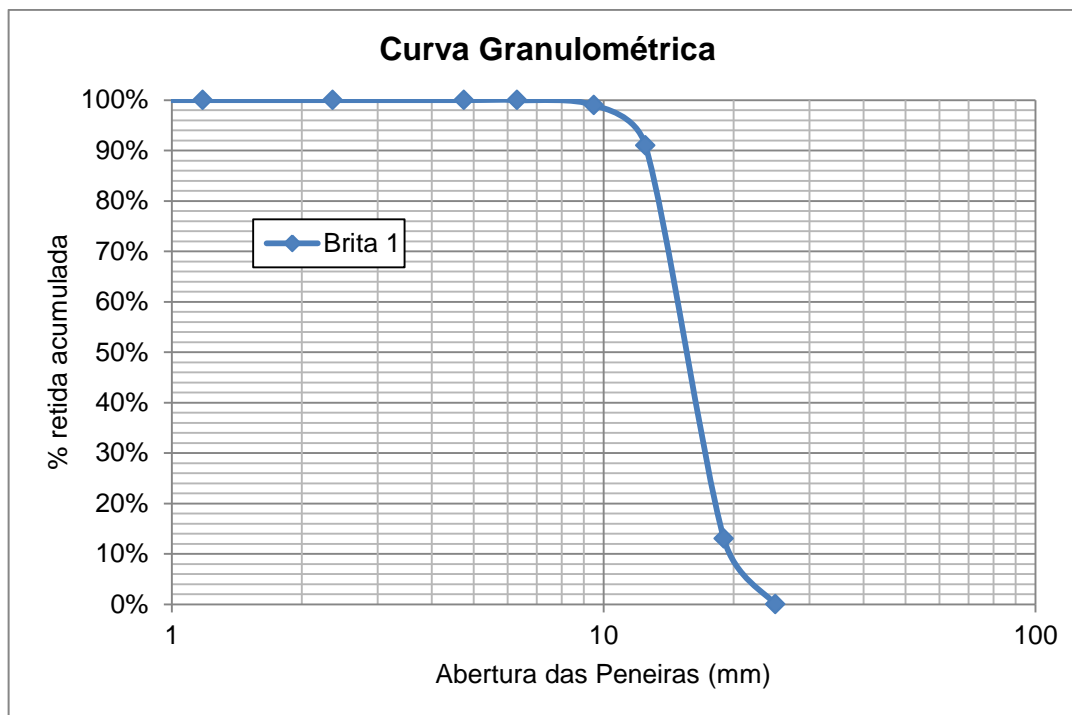


Figura 17 – Curva Granulométrica da Brita 1. Fonte: Autoria Própria, 2018.

3.4.2. Massa Específica e Absorção

A Tabela 18 apresenta os resultados encontrados através do ensaio de massa específica da Brita 0.

Tabela 18 – Massa Específica da Brita 0.

Massa Específica (kg/m³)	Aparente	2740,0
	Saturada	2760,0
	Real	2800,0

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A Tabela 19 apresenta os resultados encontrados através do ensaio de massa específica da Brita 1.

Tabela 19 – Massa Específica da Brita 1.

Massa Específica (kg/m³)	Aparente	2750,0
	Saturada	2760,0
	Real	2780,0

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A Tabela 20 apresenta os resultados encontrados através do ensaio de absorção da Brita 0 e Brita 1 respectivamente.

Tabela 20 – Teor de Absorção de Água dos Agregados Graúdos.

Agregado	Massa da Amostra (g)	Massa na Condição Saturado Superfície Seca (g)	Absorção da Água (%)
Brita 0	2000,0	2016,0	0,80
Brita 1	4000,0	4020,0	0,50

Fonte: Autoria Própria, 2018.

3.4.3. Massa Unitária

A Tabela 21 apresenta os resultados encontrados através do ensaio de massa unitária da Brita 0.

Tabela 21 – Massa Unitária da Brita 0.

Determinação	Amostra 1	Amostra 2
Massa do Recipiente (g)	385,5	385,5
Massa do Recipiente com Agregado (g)	2741,30	2873,09
Volume do Recipiente (cm³)	1647,41	1647,41
Massa Unitária (g/cm³)	1,43	1,51
Massa Unitária (kg/m³)	1430	1510
Média (kg/m³)	1470	

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A Tabela 22 apresenta os resultados encontrados através do ensaio de massa unitária da Brita 1.

Tabela 22 - Massa Unitária da Brita 1.

Determinação	Amostra 1	Amostra 2
Massa do Recipiente (g)	385,5	385,5
Massa do Recipiente com Agregado (g)	2840,14	2774,24
Volume do Recipiente (cm³)	1647,41	1647,41
Massa Unitária (g/cm³)	1,49	1,45
Massa Unitária (kg/m³)	1490	1450
Média (kg/m³)	1470	

Fonte: Autoria Própria, 2018.

3.4.4. Pulverulento

Os resultados do teor de material pulverulento das Brita 0 e Brita 1 estão representados nas Tabelas 23 e 24 respectivamente.

Tabela 23 – Teor de Material Pulverulento da Brita 0.

Determinação	Amostra 1
Massa da Amostra Seca (g)	500,00
Massa da Amostra Seca após Lavagem (g)	495,50
Teor de Material Pulverulento (%)	0,90

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Tabela 24 - Teor de Material Pulverulento da Brita 1.

Determinação	Amostra 1
Massa da Amostra Seca (g)	500,00
Massa da Amostra Seca após Lavagem (g)	498,00
Teor de Material Pulverulento (%)	0,40

Fonte: Autoria Própria, 2018.

3.5. Comportamento Físico-Mecânico

3.5.1. Slump Flow Test

A Tabela 25 apresenta os resultados obtidos relacionados ao Slump Flow Test e o Índice de Estabilidade Visual.

Tabela 25 – Propriedades Físicas do Concreto.

Slump Flow (mm)	640	SF 1
Índice de Estabilidade Visual	Estável	IEV 1

Fonte: Autoria Própria, 2018.

3.5.2. Resistência a Compressão Axial

A Tabela 26 apresenta os resultados obtidos para a resistência à compressão axial.

Tabela 26 – Resistência à Compressão Axial.

Amostra	3 dias	7 dias	28 dias
Carga de Ruptura (N)	114300,06	173530,80	199608,97
	133303,83	174501,80	199470,25
Resistência à Compressão (MPa)	14,55	22,09	25,42
	16,97	22,22	25,40
Média (MPa)	15,76	22,16	25,41

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A Figura 18 abaixo representa a resistência à compressão do concreto.

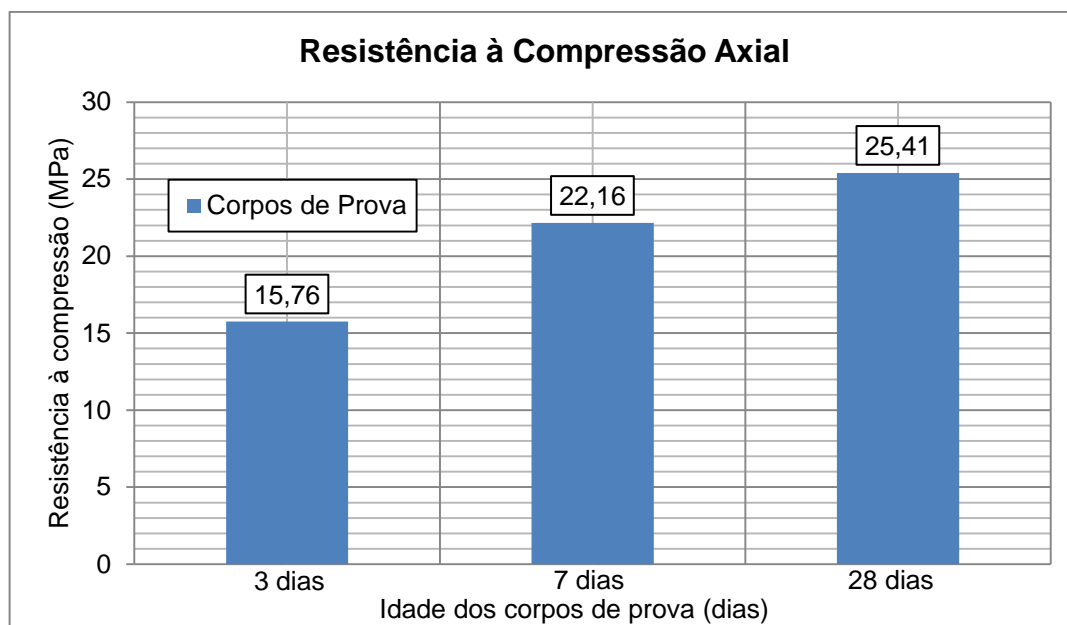


Figura 18 – Gráfico da resistência à compressão do CAA.

4. DISCUSSÃO

O CAA representa uma grande evolução na tecnologia do concreto, porém diferentemente do concreto convencional ainda necessita de estudo das suas propriedades. Segundo (CAVALCANTI apud KLUG et al., 2003) “já existe uma larga experiência adquirida ao longo dos anos com relação às propriedades mecânica do concreto convencional. Em contrapartida das propriedades mecânicas do CAA ainda se apresentam com resultados bastante restritos e controversos”.

O pó de pedra apresenta módulo de finura (Tabela 4) semelhante ao utilizado por MENOSSI (2004) onde são recomendados que, para o uso geral em concreto, que o agregado deve se enquadrar na classificação de agregado médio. De acordo com MOREIRA et al. (2006) o teor de absorção de água (Tabela 5) está similar ao resultado encontrado 0,76%, fator esse que está diretamente relacionado com a trabalhabilidade do concreto e no fator água/cimento. A massa específica real representada na Tabela 6 está aproximada ao resultado descrito por (Ribeiro et al. 2016) cujo resultado foi de 2750 kg/m³ essa propriedade do agregado influencia no consumo de cimento.

Segundo SILVA et al. (2005) as características físicas apresentadas pelo pó de pedra como a massa unitária de 1592 kg/m³ foi similar ao resultado demonstrado na Tabela 7, ainda de acordo com este mesmo autor o teor de material pulverulento deste agregado foi de 6,00% havendo divergência com o valor representado na

Tabela 8, porém a NBR 7211 - Agregado para concreto – Especificação, item 5.2.2 estabelece que se a origem do agregado é totalmente proveniente da ação de britagem das rochas os limites podem ser alterados para 5% para 12% em concretos protegidos do desgaste superficial.

Em relação aos resultados na caracterização física do cimento CP I S 40 houve similaridade com os encontrados por BARBOSA (2017) que utilizou o mesmo tipo de cimento e mesma marca. Com relação à massa específica do cimento o resultado da Tabela 9 apresentou-se inferior, porém com pouca variação em comparação com o valor de referência de 3100,96 kg/m³. As mesmas divergências ocorreram para o índice de finura e o tempo de pega, porém ambos estão dentro dos limites estabelecidos pela NBR 16697 que estabelece que a porcentagem de resíduo na peneira 75 µm deve ser menor ou igual 12% enquanto que para início e fim de pega deve ser ≥ 60 min e ≥ 600 min respectivamente.

O módulo de finura, massa específica real, massa unitária e teor de material pulverulento da areia natural apresentados nas Tabelas 12, 13 14 e 15 respectivamente apresentam similaridade com os resultados encontrados por SILVA et al. (2005) cujos resultados foram de 2,17 de módulo de, 2618 kg/m³ de massa específica, massa unitária de 1578 kg/m³ e de teor de material pulverulento de 1,00%, entretanto o resultado da dimensão máxima do agregado houve divergências de resultados relacionado com a encontrado pelo autor.

A Brita 1 utilizada no ensaio apresentava massa específica e absorção um pouco abaixo com as demonstradas por Campos et al. (2012) que obteve o resultado de 2870 kg/m³. Segundo Quaresma (p. 6, 2009) se enquadram no controle de granulometria estabelecido pelo Ministério de Minas e Energia que determina que a Brita 0 deve ter granulometria variando de 4,8 mm a 9,5 mm enquanto que a Brita 1 deve apresentar granulometria entre 9,5 mm e 19,0 mm.

A Brita 0 utilizada possui características similares as utilizadas por Oliveira e Oliveira (p. 55, 2018) a dimensão máxima característica foi a mesma obtida no ensaio conforme a Tabela 16, de 9,5 mm. Entretanto o valor do módulo de finura encontrado pelas autoras apresentou divergência sendo este de 5,49, um pouco menor do que o determinada na pesquisa. Segundo Neville (p. 63, 2013) um valor alto de módulo de finura indica um agregado mais grosso. Com relação a massa específica da Brita 0 houve similaridade de resultados com os de Oliveira e Oliveira (p. 56, 2018) porém com nenhuma diferença significativa.

Os aditivos utilizados nas confecções dos corpos de prova foram utilizados seguindo as orientações do fabricante com relação à dosagem, mostraram resultados satisfatórios no que diz respeito à melhoria na trabalhabilidade do CAA, e melhorando a coesão dos agregados evitando assim exsudação excessiva do concreto e segregação dos materiais que compõem o concreto.

O traço utilizado foi o sugerido pela concreteira na proporção 1:0,87;1,25;0,66 e determinou-se que a relação água/cimento se enquadra nos padrões estabelecidos pela NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto que estabelece nas Tabelas 6.1 e 7.1 de acordo com a classe de agressividade do ambiente o fator a/c da massa deve ser menor ou igual à 0,60 obtendo-se desta forma uma fator aceitável.

O Slump Flow reapresentado por Oliveira e Oliveira (p. 70, 2018) apresentou resultado de 50 mm de espelhamento, resultado inferior ao demonstrado na Tabela 25, o resultado nesse teste demonstra a capacidade de autoadensamento do concreto e sua trabalhabilidade do CAA, tornando sua aplicação viável segundo a NBR 15823-1 em lajes e estruturas cuja a armadura é pouco densa que necessite de baixo deslocamento horizontal.

Em relação aos resultados obtidos nos ensaios de compressão axial os corpos de prova apresentaram uma evolução significativa de resistência à compressão, sendo esta uma das características de maior importância relacionada ao concreto. Vale salientar que todos os corpos de prova tiveram resultados semelhantes entre si e estão de acordo com os parâmetros estabelecidos pela NBR 6118 de resistência de acordo tomando como base a classificação através classe de agressividade do ambiente.

O CAA com 3 dias de cura atingiu 62% da sua resistência ao vigésimo oitavo dia, sétimo dia de cura o aumento na resistência foi de 25% com relação ao resultado anterior, representando 87% da resistência final e na ensaio com 28 dias houve um aumento de mais 13% na resistência do concreto alcançando assim a resistência desejada. Com a substituição 33% da areia natural por pó de pedra obteve-se o resultado esperado de se produzir um CAA com resistência maior que 25 MPa no período de 28 dias de cura que é quando o concreto atinge sua resistência máxima.

5. CONCLUSÃO

- Os resultados obtidos na caracterização das propriedades mecânicas do pó de pedra foram similares às valores encontrados em estudos que já incorporaram este tipo de agregado, tornando-o assim uma alternativa de substituição da areia natural.

- As propriedades físicas do pó de pedra estão de acordo com os parâmetros adotados e com as referências estabelecidas pelas normas regulamentadoras, apresentando assim bons resultados.

- O cimento utilizado na confecção dos corpos de prova está de acordo com os padrões das normas e com resultados obtidos em outras fontes de estudo em que houve a utilização do mesmo material sendo este um componente viável para a fabricação de CAA.

- Os resultados obtidos na areia natural satisfizeram os parâmetros utilizados tornando sua utilização possível na composição do CAA, uma vez que possui um bom módulo de finura fator este que interfere diretamente na trabalhabilidade do concreto.

- As massas específicas dos agregados graúdos interferem diretamente na quantidade de cimento que será utilizado na fabricação do concreto, portanto os valores obtidos foram satisfatórios.

- A granulometria dos agregados graúdos se enquadrou nos índices estabelecidos pelas normas regulamentadoras tornando viável a incorporação destes agregados na fabricação do concreto.

- O traço sugerido pela concreteira mostrou-se satisfatório no que diz respeito ao atendimento dos parâmetros estabelecido pela NBR 6118 de acordo com a classe de agressividade do ambiente.

- O aumento da resistência a compressão no primeiro rompimento do corpo de prova foi de 62% da resistência no vigésimo oitavo dia, e conseguiu atingir o resultado esperado de 25 MPa.

- Apesar do aumento do teor de finos na execução do concreto, fator este característico do CAA, pois influencia diretamente na viscosidade do compósito, não houve aumento no fator a/c que é uma das consequências do uso de quantidade maior de finos.

- Os resultados satisfatórios obtidos no ensaio de resistência à compressão demonstram que há viabilidade técnica da utilização de pó de pedra na fabricação do CAA, sem este alterar o fator a/c e a trabalhabilidade do concreto.
- Para que seja uma melhor análise da influência da utilização do pó de pedra no CAA são necessárias a realização dos ensaios de tração por compressão e de absorção de água que não foram realizados nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. NBR NM 248 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica.

_____. NBR NM 30 - Agregado miúdo - Determinação da absorção de água.

_____. NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente.

_____. NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.

_____. NBR NM 46 - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem.

_____. NBR16605/2017 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica

_____. NBR 1579 - Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200) que prescreve os métodos de ensaio.

_____. NBR16607 - Cimento Portland — Determinação dos tempos de pega.

_____. NBR NM 53 - Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.

_____. NBR 15823-2 – Concreto autoadensável – Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual – Método do cone de Abrams.

_____. NBR 15823-1 - Concreto autoadensável - Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco.

_____. NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

_____. NBR 5739 – Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos.

_____. NBR 7211 - Agregado para concreto – Especificação.

_____. NBR 16697 - Cimento Portland – Requisitos.

KLEIN, Soares Nayara. **Influência da Substituição da Areia Natural pela Areia de Britagem no Comportamento do Concreto Auto-Adensável**. 2008. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Paraná, 2008.

AZEVEDO, Felipe Fernandes AGREGADOS MIÚDOS: A Importância dos Agregados Miúdos no Controle Tecnológico do Concreto. 2017. **Rev. Conexão Eletrônica**, Três Lagoas – MS. Volume 14, Número 1, Ano 2017

OLIVEIRA, Adriane Cardoso Gonçalves de. **ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL**. 2018. 85 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - UNIEVANGÉLICA, Anápolis, Goiânia. 2018.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Método para Dosagem de Concretos Auto-adensáveis**. 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004.

OLIVEIRA, Ana Luiza Alves de. **A INFLUÊNCIA DO ADITIVO CRISTALIZANTE NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO E ENDURECIDO**. 2014. 74 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – UniCEUB, Centro Universitário de Brasília, Brasília. 2014.

BAKHTIARIAN, Amir Hosein. **Application of Self-Compacting Concrete, Worldwide Experiences**. 2014. 9 f. Islamic Azad University, Hamedan Branch. 2014.

MENEZES, Christiane Mylena Tavares de. **Concreto Auto-adensável Utilizando Metacaulim e Pó de Pedra como Adições Minerais**. 2006. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

CAVALCANTI, Diogo Jatobá de Holanda. **Contribuição ao Estudo de Concreto Auto-adensável visando sua Aplicação em Elementos Estruturais**. 2006. 141 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2006.

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, São Paulo. 2004.

SILVA, Narciso G.; BUEST, Guilherme; CAMPITELI, Vicente C. **Argamassas com Areia Britada: Influência dos Finos e da Forma das Partículas**. 2005. 11 f. Florianópolis, 2005.

MARQUES, Ana Carolina. **Concreto Auto-adensável: Caracterização da Evolução das Propriedades Mecânicas e Estudo da sua Deformabilidade por Solicitação Mecânica, Retração e Fluência**. 2011. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.

IURES, Liana. **The Future Concrete: Self-compacting Concrete**. 2010. 9 f. Universitatea Tehnica Gheorghe Asachi. 2010.