



CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

FELIPE VASCONCELOS CAVALCANTE

**ANÁLISE FÍSICO-MECÂNICA DE CONCRETOS
AUTOADENSÁVEIS COM DIFERENTES MATERIAIS INERTES**

FORTALEZA

2020

FELIPE VASCONCELOS CAVALCANTE

**ANÁLISE FÍSICO-MECÂNICA DE CONCRETOS
AUTOADENSÁVEIS COM DIFERENTES MATERIAIS INERTES**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil da Faculdade Ari de Sá.

Orientadora: Profa. Me. Francisca Lilian
Cruz Brasileiro.

FORTALEZA

2020

Folha destinada à inclusão da **Ficha Catalográfica** a ser solicitada à Biblioteca da FAS e posteriormente impressa no verso da Folha de Rosto (folha anterior).

C377a Cavalcante, Felipe.

ANÁLISE FÍSICO-MECÂNICA DE CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS COM DIFERENTES
MATERIAIS INERTES / Felipe Cavalcante. – 2021.

52 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade Ari de Sá, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Me. Francisca Lillian Cruz Brasileiro.

1. Concreto autoadensável. 2. Adições inertes. 3. Resíduos industriais. I. Título.

CDD 620

FELIPE VASCONCELOS CAVALCANTE

**ANÁLISE FÍSICO-MECÂNICA DE CONCRETOS
AUTOADENSÁVEIS COM DIFERENTES MATERIAIS INERTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em engenharia civil da Faculdade Ari de Sá.

Orientador: Prof. Me. Francisca Lílian Brasileiro

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Francisca Lílian Brasileiro
Faculdade Ari de Sá

Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mêsquita
Universidade Federal do Ceará

Prof. Me. Davi Valente Santos Faculdade
Faculdade Ari de Sá

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

Ao meu pai, que participou ativamente na elaboração do presente trabalho com muito suor e dedicação.

À minha mãe, por sempre estar do meu lado para me segurar quando tropessava.

À minha noiva, que me apoiou e ajudou na elaboração do presente trabalho e no decorrer do curso.

Às minhas irmãs, por sempre me ajudarem para o que der e vier.

À tia Telma por acreditar e investir em mim.

À professora Lilian Brasileiro, por ter sido minha orientadora e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

Aos meus amigos que fiz durante desse período, em especial, João Medeiros, George Gomes, Wesley Sousa, Davi Lima e Matheus Silva.

Ao Professor Esequiel Mesquita, por ter me guiado nessa jornada.

E finalmente a todos que fizeram parte dessa fase.

RESUMO

O concreto autoadensável (CAA), com sua importante e principal característica de não precisar do auxílio mecânico para seu adensamento, concede à construção estruturas mais duráveis. Essa tecnologia aplicada ao concreto requer uma grande quantidade de finos em sua composição, para que atenda aos requisitos de trabalhabilidade no estado fresco. Para as formulações do CAA, foi selecionado o resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais (RSRO), resíduo de pedra cariri (RPC) e resíduo de britagem de concreto (RBC). Empregando a metodologia de Gomes (2002) para a dosagem do CAA, realizou-se o estudo da argamassa autoadensável, utilizando os ensaios com o cone Marsh e com o cone de Kantro para atingir o percentual ótimo de superplastificante e a quantidade apropriada de resíduo na composição dos traços, definindo-se posteriormente o melhor empacotamento granulométrico entre os agregados e o teor de pasta necessário para que o concreto seja classificado como CAA. Os teores de adição dos fileres foram de 50% sobre a massa do cimento, compensando as massas específicas, sendo averiguadas as propriedades no estado fresco por meio dos ensaios de espalhamento, anel J, caixa L e funil V. Posteriormente, foram moldados corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 cm x 20 cm os ensaios no estado endurecido, aos 28 dias, sendo: resistência à compressão axial, absorção de água por imersão e absorção de água por capilaridade. Os resultados apontaram o potencial de aplicação dos fileres na produção de concretos autoadensáveis.

Palavras-chave: Concreto autoadensável. Adições inertes. Resíduos industriais.

ABSTRACT

Self-compacting concrete (SCC), with its important and main characteristic of not needing mechanical assistance for its densification, gives the construction more durable structures. This technology applied to concrete requires a large amount of fines in its composition, in order to meet the requirements of workability in the fresh state. For the SCC formulations, the residue from the processing of ornamental rocks (RPOR), the stone residue Cariri (SRC) and the concrete crushing residue (CCR) was selected. Using the methodology of Gomes (2002) for the dosage of SCC, the study of self-compacting mortar was carried out, using the tests with the Marsh cone and the Kantro cone to achieve the optimum percentage of superplasticizer and the appropriate amount of residue in the composition of the strokes, subsequently defining the best granulometric packing between the aggregates and the content of paste necessary for the concrete to be classified as SCC. The contents of addition of the residues were of 50% on the cement mass, being verified the properties in the fresh state through the spreading, ring J, funnel V and L-box tests. Subsequently, cylindrical specimens with dimensions of 10 cm x 20 cm were molded for resistance to axial compression at 28 days. Finally, water absorption tests were carried out by immersion and capillarity. The results showed the potential for application of residues in the production of SCC.

Keyword: Self-compacting concrete. Inert additions. Industrial waste.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 CONCRETO AUTOADENSÁVEL.....	13
3.2 APLICAÇÃO DO CAA	15
3.3 DURABILIDADE	18
3.3.1 Permeabilidade	19
3.4 MATERIAIS	20
3.4.1 Cimento Portland.....	20
3.4.2 Agregados.....	21
3.4.3 Aditivos	22
3.4.4 Água.....	22
3.4.5 Finos	22
3.4.6 Fíler de Resíduo de Serragem de Rochas Ornamentais	24
3.4.7 Fíler de Resíduo de Serragem da Pedra Cariri.....	25
3.4.8 Fíler de Britagem de Concreto	27
4 METODOLOGIA.....	29
4.1 MATRIZ CIMENTÍCIA	30
4.1.1 Ensaio no Cone Marsh.....	30
4.1.2 Ensaio do Cone De Kantro	31
4.2 ARGAMASSA	32
4.3 DETERMINAÇÃO DO ESQUELETO GRANULAR	32
4.4 DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS.....	33
4.5 ENSAIOS DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL NO ESTADO FRESCO	34
4.5.1 Teste de Espalhamento	34
4.5.2 Anel J.....	35
4.5.3 Caixa L	35
4.5.4 Funil V.....	36
4.6 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO	36
4.6.1 Resistência à Compressão Axial.....	36
4.6.2 Absorção de Água por Capilaridade.....	37
4.6.3 Absorção de Água por Imersão	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
5.1 ENSAIO DE TRABALHABILIDADE.....	38
5.2 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO	42

5.2.1 Resistência à compressão axial.....	42
5.2.2 Absorção de Água por Imersão	43
5.2.2 Ensaio de Absorção por Capilaridade.....	44
6 CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS	47

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ensaio de Slump Test em (a) CAA e (b) CCV	14
Figura 2 - Bloco de ancoragem da ponte Akashi Kaikyo	15
Figura 3 - Foto ilustrativa do túnel em Yokohama, no Japão	15
Figura 4 - Edifício Burj Khalifa em Dubai	16
Figura 5 - Pilar pré-moldado em CAA	16
Figura 6 - Utilização do CAA em laje do metrô de São Paulo	17
Figura 7 - Obras estudadas em Fortaleza com aplicação do CAA	17
Figura 8 - Permeabilidade de gases ou líquidos no concreto	20
Figura 9 - Fíler de RSRO	24
Figura 10 - Imagem do filer de RSRO a partir do MEV	25
Figura 11 - Pedreira da Pedra Cariri	26
Figura 12 - Fíler de britagem de concreto	28
Figura 13 - Diagrama que descreve o método de dosagem de Gomes (2002)	29
Figura 14 - Cone de Marsh	30
Figura 15 - Cone de Kantro	31
Figura 16 - Tronco de conde da mesa de consistência	32
Figura 17 - Cone de Abrams	34
Figura 18 - Conjunto de Cone de Abrams mais chapa	34
Figura 19 - Anel J	35
Figura 20 - Caixa L	35
Figura 21 - Funil V	36
Figura 22 - Ensaio de Capilaridade	37
Figura 23 - Ensaio de cone de Abrams t500	38
Figura 24 - Espalhamento máximo	39
Figura 25 - Ensaio de cone de Abrams (espalhamento)	39
Figura 26 - Ensaio de Anel J	40
Figura 27 - Ensaio de Funil V	40
Figura 28 - Ensaio de Caixa L	41
Figura 29 - Ensaio de compressão axial	42
Figura 30 - Gráfico de Absorção	43
Figura 31 - Gráfico de índice de vazios	44
Figura 32 - Absorção por capilaridade	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ensaio no estado fresco do concreto autoadensável	14
Tabela 2 - Custos comparativos CAA x CCV na obra Aquarela.....	18
Tabela 3 - Custos comparativos CAA x CCV na obra Uno Medical & Office.....	18
Tabela 4 - Custos comparativos CAA x CCV na obra Jasmim Residencial	18
Tabela 5 - Composição dos CAA estudados	33
Tabela 6 - Ensaio e características do CAA com resíduo de RSRO, RPC e RBC.....	41

1 INTRODUÇÃO

Os materiais cimentícios podem ser considerados como um dos materiais mais importantes de todas as épocas da civilização humana, por terem suprido as necessidades de edifícios e obras de infraestrutura. A explicação para esta constatação é simples: a natureza fornece matérias-primas abundantes e o homem, pela sua inerente capacidade de elaborar relações de causa-efeito, estabeleceu interações entre as necessidades existentes e as possibilidades de aplicação que esses materiais disponibilizam para solução de seus problemas imediatos (ISAIA, 2005).

O concreto é o material mais utilizado na construção civil e, com o passar dos anos, visando atender necessidades diversas, novas tecnologias foram aplicadas ao dito concreto convencional (CCV). Com isso, atualmente, não se pode considerar somente o estudo do CCV. Para atender ao mercado da construção civil e suas exigências construtivas, foram criados diversos tipos de concretos especiais, como: de alta resistência, pigmentados, reforçados com fibras, autocicatrizantes, autoadensáveis, entre outros.

As propriedades reológicas do concreto autoadensável (CAA) são bem diferentes daquelas inerentes ao CCV. A autoadensabilidade do CAA proporciona ao concreto fluir sem segregar, preencher todos os espaços vazios das fôrmas e se autonivelar com seu próprio peso.

Desde a criação do CAA, diversos estudos voltados para esse concreto buscaram conhecer melhor não só sua reologia, mas também seu estado endurecido, sua durabilidade frente a agentes externos agressivos e, do mesmo modo, novos tipos de adições minerais inertes. O uso de finos no CAA é indispensável à sua dosagem, visto que esses materiais finos, segundo Okamura (1997), são essenciais para sua formação, já que os finos dão à mistura coesão e resistência à segregação.

A adição de materiais finos no CAA melhora diversas propriedades, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Os finos atuam como pontos de nucleação, ou seja, quebram a inércia do sistema, fazendo com que as partículas de cimento reajam mais rapidamente com a água (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Como o CAA é um concreto que aceita diferentes tipos de finos em sua composição, é válido analisar as indústrias que produzem resíduos com granulometria fina. Tanto as indústrias de cortes de rochas como a indústria da construção civil produzem finos que podem ser utilizados na composição do CAA.

É importante que haja uma análise minuciosa de todos os materiais empregados na mistura, desde os materiais básicos, como areia, brita e cimento, até as adições e aditivos

empregados para dosar um concreto autoadensável. Dessa forma, com o intuito de melhorar as propriedades do CAA e diminuir os impactos ambientais que as indústrias de serragem de rochas e a construção civil geram ao meio ambiente, é proposto, por meio do presente trabalho, a dosagem de concretos autoadensáveis com filers provenientes de resíduos de serragem de rochas ornamentais (RSRO), resíduos de serragem da pedra Cariri (RSPC) e resíduo de britagem de concreto (RBC), analisando o comportamento destes materiais no CAA.

2 OBJETIVOS

Os objetivos que orientam o presente estudo são:

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as propriedades dos CAA, nos estados fresco e endurecido, com diferentes tipos de adições inertes: filer proveniente de resíduos de serragem de rochas ornamentais (RSRO), filer proveniente de resíduos de serragem da pedra Cariri (RSPC) e filer proveniente de resíduo de britagem de concreto (RBC).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as propriedades dos CAA no estado fresco, por meio dos ensaios de espalhamento, anel J, caixa L e funil V;
- Avaliar as propriedades do CAA no estado endurecido, por meio dos ensaios de resistência à compressão axial, absorção de água por imersão e absorção de água por capilaridade;
- Classificar os CAA de acordo com os resultados obtidos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CONCRETO AUTOADENSÁVEL

Em meados dos anos 80, no Japão, devido à falta de um bom adensamento mecânico do concreto em fôrmas complexas e com alta taxa de armadura, que eram empregadas em estruturas para resistir aos abalos sísmicos locais existentes, e com os problemas de durabilidade de suas estruturas, foi desenvolvido, pelo professor Okamura, na Universidade de Tokyo, uma tecnologia que aplicada ao concreto permitiria uma alta trabalhabilidade. Em 1988, o primeiro protótipo foi realizado e esse concreto foi denominado de concreto autoadensável.

Entende-se por concreto autoadensável (CAA) o concreto capaz de preencher os espaços vazios das fôrmas e se autoadensar apenas sob o efeito da gravidade. O CAA é caracterizado pela grande capacidade de fluxo sem segregação. O concreto, para ser considerado autoadensável, deve satisfazer determinadas propriedades no estado fresco, tais como: preencher todos os espaços das fôrmas sob o efeito apenas do seu peso próprio; passar entre os obstáculos sem sofrer bloqueio; e manter a estabilidade, sem sofrer segregação e/ou exsudação de seus componentes. (SKARENDAHL; PETERSSON, 2000; EFNARC, GOMES e ROONEY, 2002).

O CAA é descrito como uma grande revolução ocorrida na tecnologia do concreto para a construção nas últimas décadas, já que possibilita vários ganhos, diretos e indiretos, entre os quais (TUTIKIAN, 2004):

- acelera a construção;
- reduz a mão-de-obra no canteiro;
- melhora o acabamento da superfície;
- pode aumentar a durabilidade, por ser mais fácil de adensar;
- permite grande liberdade de formas e dimensões;
- permite concretagens em peças de seções reduzidas;
- elimina o barulho de vibração;
- torna o local de trabalho mais seguro, por diminuir o número de trabalhadores;
- pode obter um ganho ecológico, por poder utilizar resíduos industriais, como a cinza volante;
- pode reduzir o custo final do concreto e/ou da estrutura.

Tutikian e Dal Molin (2008) afirmam que todas as vantagens do uso desse concreto em relação ao CCV são notadas quando a mistura se encontra no seu estado fresco. A Figura 1 traz a comparação do ensaio de consistência do concreto autoadensável (Figura 1a) e do concreto convencional (Figura 1b), onde o mesmo cone de Abrams é utilizado, porém, no CAA mede-se o espalhamento após o tronco de cone ser preenchido sem nenhum adensamento, enquanto no CCV mede-se o abatimento depois de golpes de adensamento.

Figura 1 - Ensaio de Slump Test em (a) CAA e (b) CCV



Fonte: (a) Pereira (2019); (b) Valebeton (2017).

Na dosagem do CAA, buscam-se as características de alta fluidez com grande mobilidade, coesão entre os agregados e uma moderada viscosidade, visto que dessa forma o CAA terá a capacidade de se autoadensar perfeitamente. A alta fluidez desse concreto é obtida com o uso de aditivos superplastificantes e a coesão entre os agregados é obtida com a incorporação ideal de finos, dentre eles destacam-se as adições minerais inertes, os fillers.

Além destas características, em relação ao CCV, o CAA necessita de um volume maior de pasta, além do agregado gráudo possuir uma menor dimensão máxima característica na grande maioria dos casos. Para comprovar se realmente o concreto dosado é um CAA, ensaios prévios devem ser realizados para satisfazer determinadas propriedades no estado fresco, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Ensaio no estado fresco do concreto autoadensável

Ensaio	Unidade	Método de ensaio
Espalhamento	mm	NBR 15823-2 (ABNT, 2017)
t500	s	NBR 15823-2 (ABNT, 2017)
Índice de estabilidade visual	IEV 0 - 3	NBR 15823-2 (ABNT, 2017)
Anel J	mm	NBR 15823-3 (ABNT, 2017)
Caixa L	-	NBR 15823-4 (ABNT, 2017)
Funil V	s	NBR 15823-5 (ABNT, 2017)
Coluna de segregação	%	NBR 15823-6 (ABNT, 2017)

Fonte: NBR 15823-1 (ABNT, 2017).

3.2 APLICAÇÃO DO CAA

Por ser um concreto que se adapta a qualquer forma geométrica, sua praticidade de lançamento é um dos seus melhores pontos positivos. Outro ponto é a velocidade que esse concreto é lançado na estrutura. Uma das grandes obras onde foi utilizado o concreto autoadensável foi a Ponte Akashi Kaikyo (Figura 2), no Japão. O CAA proporcionou a diminuição do prazo de entrega da obra em aproximadamente 3 meses. Para executar os dois blocos de ancoragem da estrutura foram lançados $1900\text{m}^3/\text{dia}$, num total de 500.000 m^3 de CAA utilizados (GOMES, 2002).

Figura 2 - Bloco de ancoragem da ponte Akashi Kaikyo



Fonte: Rigueira (2012).

Outro exemplo de aplicação do CAA foi no túnel construído em Yokohama (Figura 3), no Japão. Com três metros de diâmetro e um quilômetro de comprimento, foram utilizadas duas camadas de aço protendido, preenchidas com CAA, numa aplicação de 40m^3 (TAKEUCHI et. al, 1994 apud GOMES, 2002).

Figura 3 - Foto ilustrativa do túnel em Yokohama, no Japão



Fonte: Cavalcanti (2006).

Outra importante utilização foi no maior arranha-céu já construído pelo homem: Burj Khalifa (Figura 4), localizado em Dubai. O edifício possui 828 metros de altura e teve sua fundação executada com CAA (OLIVEIRA, 2010).

Figura 4 - Edifício Burj Khalifa em Dubai



Fonte: Serra (2015).

Além das várias aplicações citadas, essa tecnologia em concreto também é muito utilizada em recuperação de estruturas antigas, visto que são lugares onde não é aconselhável fazer uso de adensamento, por correr o risco de uma piora no estado da estrutura, ocasionada pela vibração. Um exemplo dessa aplicação é a ponte The Katelbridge, na Holanda, que foi recuperada aos 45 anos de idade, no ano de 2002 (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Outra maneira em que o CAA pode ser empregado é nas estruturas mais corriqueiras ou em elementos pré-fabricados (Figura 5). Esse novo estilo de uso do CAA vem ganhando cada vez mais espaço devido às suas inúmeras vantagens proporcionadas.

Figura 5 - Pilar pré-moldado em CAA



Fonte: PRECON (2018).

Outro exemplo de obra de grande porte, na qual foi utilizado um alto volume de CAA, foi na obra do metrô de São Paulo. O volume de concreto autoadensável utilizado na estação foi de aproximadamente 600 m³ com fck de 35 MPa. A região de utilização do CAA foi no engaste da laje com as paredes dos poços (Figura 6), por possuir uma elevada taxa de armadura. Se o mau adensamento resultasse em falhas, seria muito difícil o acesso para recuperá-las (FARIA, 2008).

Figura 6 - Utilização do CAA em laje do metrô de São Paulo



Fonte: Faria (2008).

Já em Fortaleza/CE, foi feito um estudo comparativo em 2019 por Eduardo Cabral, José Ramalho, Ada Costa, Marcelo Montenegro e Carlos Mourão com parceria do SINDUSCON-CE e INOVACON (CABRAL et al., 2019). As obras estudadas foram: Aquarela Condomínio Club, Uno Medical & Office e Jasmim Residencial (Figura 7).

Figura 7 - Obras estudadas em Fortaleza com aplicação do CAA

	OBRA N° 1	OBRA N° 2	OBRA N° 3
EMPREENDIMENTO	 <p>Aquarela Condomínio Club</p>	 <p>Uno Medical & Office</p>	 <p>Jasmim Residencial</p>

Fonte: Cabral et al (2019).

Nas tabelas 2, 3 e 4, visualiza-se que o uso do CAA diminuiu o custo da mão de obra, comparado ao CCV.

Tabela 2 - Custos comparativos CAA x CCV na obra Aquarela.

Operário	Quantidade de operários		Custo/Tempo (R\$MO/h)	M.O/Tempo (R\$MO/h)		M.O/Volume (R\$MO/m³)	
	CAA	CCV		CAA	CCV	CAA	CCV
Pedreiro	1,25	1,6	33,7	231,39	279,15	14,63	19,56
Servente	8,75	8,9	21,63				
Auxiliar	0	1,3	25,17				

Fonte: Cabral et al. (2019).

Tabela 3 - Custos comparativos CAA x CCV na obra Uno Medical & Office.

Operário	Quantidade de operários		Custo/Tempo (R\$MO/h)	M.O/Tempo (R\$MO/h)		M.O/Volume (R\$MO/m³)	
	CAA	CCV		CAA	CCV	CAA	CCV
Pedreiro	1	2	18,96	73,36	124,96	3,07	7,63
Servente	5	8	10,88				

Fonte: Cabral et al (2019).

Tabela 4 - Custos comparativos CAA x CCV na obra Jasmim Residencial.

Operário	Quantidade de operários		Custo/Tempo (R\$MO/h)	M.O/Tempo (R\$MO/h)		M.O/Volume (R\$MO/m³)	
	CAA	CCV		CAA	CCV	CAA	CCV
Profissional Vibrador	0	1	17	57,48	150,06	3,28	7,92
Servente Vibrador	0	1	13,32				
Servente Carregador de Vibrador	0	2	12,86				
Servente Comum	4,75	7,77	12,1				

Fonte: Cabral et al (2019).

3.3 DURABILIDADE

Durabilidade é a capacidade da estrutura resistir às intempéries do ambiente externo. Todo projeto estrutural deve considerar as influências negativas do ambiente para com a estrutura, de acordo com a classe de agressividade ambiental definida na NBR 6118 (ABNT, 2014).

Em linhas gerais, pode-se dizer que um concreto durável é aquele que apresenta um bom desempenho em serviço, trabalhando sob as condições para as quais foi especificado. Isto significa que um concreto que venha a apresentar um bom comportamento numa região com uma determinada classe de agressividade ambiental ou sob uma determinada condição

climática, pode apresentar comportamentos totalmente adversos, se empregado sob outras condições (BARROS, 2008).

Uma das etapas mais importantes na especificação de um concreto é tentar antecipar as condições do ambiente de serviço, identificando os agentes causadores de deterioração, suas prováveis intensidades e assim prescrever as especificações adequadas, aliadas a um eficiente sistema de controle de qualidade, de forma a garantir que as especificações sejam realmente atendidas quando da confecção do concreto (BARROS, 2008).

De acordo com Su et al. (2001), o CAA pode melhorar a confiabilidade e a durabilidade das estruturas de concreto armado. Além disso, o CAA possui bom desempenho na resistência à compressão e pode atender outras necessidades construtivas, já que considera requisitos do projeto estrutural na sua produção.

Segundo Neville (1997), não é simples atribuir um problema de durabilidade a um fator isoladamente, visto que os diversos processos de deterioração podem atuar sinergicamente. Assim, relacionam-se, na maioria dos casos, os problemas de durabilidade à qualidade do concreto, com especial atenção à permeabilidade, pois todas as influências desfavoráveis decorrem do transporte de fluidos através do concreto, à exceção das ações de natureza mecânica.

3.3.1 Permeabilidade

A natureza do sistema de poros no interior da pasta de cimento hidratado e na região próxima da interface com o agregado é um aspecto importante para a permeabilidade. Ocupando entre um terço e metade do volume total da pasta de cimento hidratada, a interface é o local onde ocorre a microfissuração. Por essa razão, poderia se esperar que a região de interface contribuísse significativamente para a permeabilidade do concreto. No entanto, apesar da maior porosidade da região da interface, a permeabilidade do concreto é controlada pela pasta de cimento hidratada, que é a única fase contínua no concreto (NEVILLE, 1997).

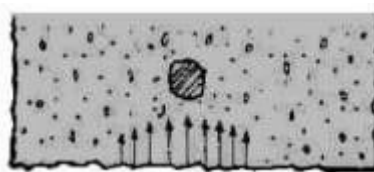
Segundo Neville (1997), os poros que mais influem na permeabilidade são aqueles contínuos, com diâmetro de pelo menos 120 nm ou 160 nm. Na redução da permeabilidade do concreto, pode-se aumentar a durabilidade do concreto armado frente ao ataque de cloretos, sulfatos e do dióxido de carbono.

Hasparryk et al. (2002) afirmam que o concreto contendo finos apresenta uma microestrutura mais fechada. A ação física das adições dos finos traz benefícios quanto às

propriedades do CAA, tais como: trabalhabilidade, exsudação, densidade, permeabilidade e resistência, assim proporcionando um aumento da durabilidade do CAA.

Como finos pode ser entendido as partículas com diâmetro da mesma ordem de grandeza ou com tamanho inferior às partículas do cimento. Onde os aglomerantes hidráulicos e pozolânicos, devido à hidratação, são mais eficientes para preencher o espaço capilar, mas os fileres também podem exercer essa função (Pereira, 2010). A Figura 8 ilustra a permeabilidade de gases ou líquidos no concreto armado.

Figura 8 - Permeabilidade de gases ou líquidos no concreto.



Fonte: Santos (2012).

3.4 MATERIAIS

3.4.1 Cimento Portland

Existem diversos tipos de cimento que são fabricados em território brasileiro. A composição química do cimento muda para cada tipo, de acordo com a necessidade de fornecer ao concreto diferentes características.

O cimento Portland é constituído de silicatos e aluminatos complexos que, ao serem misturados com água, uma vez que o cimento Portland é um aglomerante hidráulico, se hidratam e o composto resultante apresenta elevada resistência mecânica.

O cimento empregado na confecção do CAA é o mesmo conferido aos concretos convencionais, de acordo com as suas atribuições quanto ao uso adequado desse material (SANTOS, 2018). Para Tutikian e Dal Molin (2015), não existem critérios científicos que especifiquem o cimento mais adequado para o CAA.

Os cimentos têm grande influência nos parâmetros reológicos dos CAA, haja vista que estes são controlados, principalmente, pela finura e pela quantidade de C3A presente nos cimentos. Assim sendo, quanto menor for o teor de C3A, mais fácil será o controle reológico do concreto, pois esse composto é responsável pela pega do cimento, ocasionando perda de fluidez e prejudicando a aplicação do CAA (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015). Já no estado

endurecido, as características do cimento têm papel fundamental no ganho de resistência à compressão e na durabilidade do material (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

3.4.2 Agregados

Assim como para os cimentos, os agregados utilizados para confecção do CAA são os mesmos empregados em concretos convencionais, porém, alguns cuidados devem ser levados em consideração. Diante disso, devem-se buscar agregados com módulo de finura menor, como agentes de controle de viscosidade (SANTOS, 2018).

O tamanho e a forma do agregado graúdo influenciam diretamente a fluidez e a habilidade passante do CAA. Quanto mais esféricas as partículas dos agregados, menor a chance de haver “bloqueios” e maior a fluidez da mistura, uma vez que há uma redução do atrito interno da mistura (COUTINHO, 2011). Repette (2011) recomenda o uso de agregados com dimensão máxima de 9,5 mm, com possibilidade de utilização de agregados graúdos de até 19 mm, uma vez conhecida a abertura entre barras.

Os agregados miúdos, de forma geral, utilizados para concretos convencionais também são adequados para concretos autoadensáveis, entre eles estão as areias naturais (depósitos eólicos e beira de rio) e as areias obtidas de processos industriais (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015).

As características desses agregados são fatores importantes para obtenção de um concreto de qualidade. Desta forma, as areias naturais são mais recomendadas para dosagem do CAA, pois são mais arredondadas, lisas e com granulometria contínua, quando comparadas às areias de britagem, que apresentam composição granulométrica com descontinuidades e são mais angulosas e ásperas, o que causa um maior intertravamento das partículas e maior adsorção de água, aumentando a demanda por pasta e aditivos na composição do concreto (SCHANKOSKI, 2017).

Como o CAA é um concreto que necessita de uma alta taxa de finos, quanto mais fino o agregado miúdo for, maior será a superfície de contato com a água, assim melhorando as propriedades de coesão e trabalhabilidade do CAA.

3.4.3 Aditivos

O uso de aditivos no concreto já é bastante difundido em todo o mundo. Diversos são os tipos de aditivos existentes, com composições químicas diferenciadas e, conseqüentemente, produzindo efeitos variados sobre o concreto (SANTOS, 2018).

Para o concreto autoadensável são usados os aditivos superplastificantes. O uso de aditivo superplastificante é essencial para garantir maior fluidez, pela redução da tensão de escoamento. Por vezes, o aditivo modificador de viscosidade também pode ser utilizado para ajudar na estabilidade da mistura (MELO, 2005).

Aditivos superplastificantes são incorporados ao concreto com a finalidade de reduzir a quantidade de água na mistura, mantendo ou aumentando a fluidez. Os Policarboxilatos(PC) são os aditivos mais utilizados para a produção do concreto autoadensável, por serem de alto desempenho e terem caráter de dispersão e desfloculação das partículas do cimento, ocasionando assim uma redução de água na mistura em até 40%, mantendo trabalhabilidade (HARTMANN, 2002).

3.4.4 Água

Os requisitos de quantidade de água para o CAA são os mesmos considerados para o concreto convencional. A água é um dos parâmetros mais importantes no controle das propriedades do concreto fresco e endurecido. A quantidade de água em uma mistura depende de vários fatores, tais como: propriedades dos agregados, tipo de cimento, quantidade total de partículas finas na mistura, uso de adições ou aditivos e outros (GOMES; BARROS, 2009).

Um elevado teor de água pode provocar segregação dos agregados, devido às forças predominantemente gravitacionais que atuam sobre estes, acarretando na redução da homogeneidade e da resistência mecânica (GOMES; BARROS, 2009).

Segundo Tutikian e Dal Molin (2015), o controle de umidade do agregado miúdo deve ser rigoroso, pois a aferição errada deste parâmetro é a principal causa de variação de fluidez da mistura, além de alterar as propriedades mecânicas e de durabilidade do CAA.

3.4.5 Finos

As adições minerais são materiais finamente moídos, geralmente adicionados ao concreto em grandes quantidades, visando a obtenção de características específicas, tais como:

redução de custos, melhora da trabalhabilidade e até mesmo melhora da resistência do concreto à fissuração térmica, à expansão álcali-agregado e ao ataque por sulfatos (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

A adição de filers em busca de se melhorar o desempenho tecnológico de concretos autoadensáveis foi objeto de vários estudos. Através dos estudos de matrizes cimentícias, Soroka e Setter (1997) foram precursores nessas pesquisas. De acordo com suas análises, a granulometria e o teor de adições minerais estão relacionados de maneira direta com o aumento da resistência mecânica dos materiais estudados.

As adições podem ser classificadas como predominantemente inertes (API) ou predominantemente reativas (APR), de acordo com a sua ação no concreto. As APR contribuem para a formação dos hidratos, como as pozolanas: cinza volante, cinza da casca de arroz, cinzas do bagaço da cana de açúcar, sílica ativa e metacaulim. Já as API provocam uma ação física, proporcionando uma estrutura com maior compacidade (CAVALCANTI, 2006).

Com relação à dimensão dos grãos, a NBR 9935 (ABNT, 2011) denomina de finos todo material granular que passa na peneira com abertura de malha de 150 μm e de material pulverulento as partículas com dimensão inferior a 75 μm .

A adição de finos promove melhoria em diversas propriedades do concreto, tanto no estado fresco como no estado endurecido. A grande quantidade de finos é usada para reduzir a frequência de colisão entre as partículas, aumentando a viscosidade da mistura, consequentemente resultando em uma menor segregação (SIDDIQUE; KUNAL, 2015).

O CAA necessita de materiais finos em sua composição, pois esses são responsáveis pela coesão e resistência à segregação do concreto. Diversas adições minerais utilizadas na produção de concretos são subprodutos industriais, gerados em grandes quantidades e descartados em aterros, causando sérios problemas de cunho ambiental. Entretanto, o uso desses resíduos como materiais finos em pastas, argamassas e concretos, em sua grande maioria, proporciona uma melhora nas propriedades do estado fresco e endurecido do CAA (GOMES, 2002).

Os finos atuam como pontos de nucleação, ou seja, quebram a inércia do sistema, fazendo com que as partículas de cimento reajam mais rapidamente com a água. Obtém-se, assim, ganhos de resistência nas primeiras idades, da mesma forma que, ao aumentar o pacote de partículas finas, cresce a compacidade da pasta, melhorando a zona de transição e, como consequência, dificulta a penetração de agentes externos agressivos (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

3.4.6 Fíler De Resíduo De Serragem De Rochas Ornamentais

Assim como a construção civil, que ainda utiliza sistemas construtivos artesanais que impactam a natureza com suas produções excessivas de resíduos, diversas outras indústrias geram seus diferentes tipos de resíduos, que na maioria das vezes não são tratados ou beneficiados de forma adequada para reuso.

Além disso, a preocupação com o uso consciente dos recursos minerais deve englobar todo o processo produtivo, iniciando na extração do recurso nas jazidas e finalizando com a obtenção da matéria prima adequada ao uso. Entretanto, muitas vezes os resíduos gerados durante estes processos produtivos são descartados no meio ambiente, podendo trazer prejuízos à saúde humana e a fauna e flora da região (FERNANDES et al., 2001).

Existem muitas indústrias de cortes de rochas para usos ornamentais nas edificações, como o corte de mármore e granitos. Essas indústrias produzem um resíduo muito fino que pode ser classificado como fíler e ser utilizado na fabricação do CAA, melhorando suas propriedades nos estados fresco e endurecido.

O fíler de resíduos de serragem de rochas ornamentais (RSRO), ilustrado na Figura 9, é um material inerte e com granulometria muito fina, sendo, portanto, uma alternativa para conferir coesão e diminuir a capilaridade e a permeabilidade no CAA.

Figura 9 - Fíler de RSRO



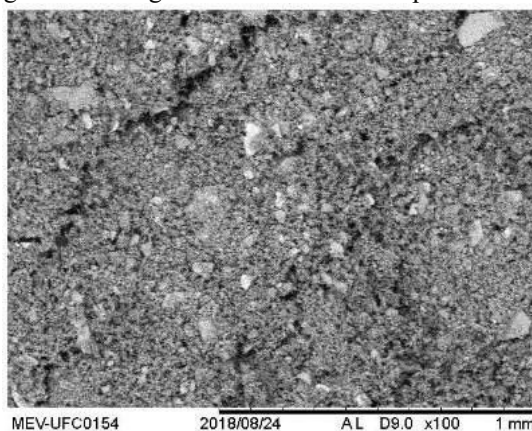
Fonte: Cavalcante, F. et. al (2019).

Segundo Neves (2002), essas indústrias vêm sendo citadas por ambientalistas como fonte de contaminação e/ou poluição ao meio ambiente, devido à enorme quantidade de resíduos gerados e frequentemente lançados diretamente nos ecossistemas sem nenhum processo de tratamento adequado para eliminar ou reduzir os constituintes presentes.

Conforme a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2018), a produção média mensal de RSRO no estado do Ceará foi de aproximadamente 84.400 toneladas. Já no Nordeste, a somatória das produções é de 3.050.000 de toneladas anuais.

De acordo com Cavalcante (2018), ao adicionar o fíler de RSRO na confecção do CAA haverá diminuição dos impactos ambientais promovidos pelo seu mau descarte na natureza. A Figura 9 ilustra este material por meio de microscopia eletrônica de varredura.

Figura 10 - Imagem do fíler de RSRO a partir do MEV



Fonte: Cavalcante, F. et. al (2019).

34.7 Fíler De Resíduo De Serragem Da Pedra Cariri

A denominação Pedra Cariri refere-se à rocha ornamental obtida a partir da laminação do calcário calcítico, cujas peças normalmente são aplicadas com suas superfícies naturais sem passarem por processos de polimento. Logo, é adquirida por delaminação mecânica e esquadreamento de placas (MELLO et al., 2011).

Devido ao seu ambiente geologicamente propício, o Ceará ocupa a segunda posição em termos de produção de rochas ornamentais da região Nordeste. A maior parte da extensão territorial do estado, cerca de 75%, é formada por embasamento cristalino, nos quais destacam-se a exploração de granito. No restante do território do estado, cerca de 25%, os terrenos possuem características sedimentares e, portanto, servem como base para a exploração de minerais carbonáticos como a Pedra Cariri (ADECE, 2013), conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Pedreira da Pedra Cariri



Fonte: Hasui et al (2012).

Segundo Vidal et al. (2005), o processo produtivo da Pedra Cariri possui um elevado percentual de perdas, devido aos métodos de extração e beneficiamento rudimentares. O referido autor fez um estudo que estimou a quantidade de resíduos gerados apenas no processo de extração das lajotas de Pedra Cariri em um milhão de metros cúbicos anuais. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2018), a produção da pedra Cariri foi de 0,4 Mt no ano de 2018.

Durante a extração e beneficiamento da Pedra Cariri, o percentual de perda é estimado em 70% do total extraído, gerando um significativo volume de resíduos gerados (VIDAL; PADILHA, 2003).

Os vultosos índices de perda no processo de produção da Pedra Cariri são decorrentes de métodos rudimentares utilizados em sua lavra e beneficiamento. Tais rejeitos impactam diretamente no meio ambiente, bem como na saúde da população local, tornando este fato um problema a ser administrado por todos os setores que fazem parte deste processo produtivo (CAMPOS et al., 2009).

De acordo com Mendes Filho (2009), a Fundação Núcleo Tecnológico Industrial do Ceará (NUTEC) desenvolveu em 1998 um maquinário responsável por cortes, com discos diamantados, de placas de Pedra Cariri. Portanto, o processo passou a ocorrer de maneira semimecanizada.

Com alguns incentivos tecnológicos, o segmento industrial de rochas ornamentais do Ceará passou a apresentar um parque relativamente moderno, com produção mensal aproximada de 94.000 m² de rochas laminadas. Entretanto, devido à demanda de mercado, este segmento é focado no beneficiamento de materiais graníticos (FERNANDES, 2004).

Segundo Alves (2008) e Moura (2013), por não apresentarem atividades pozolânicas, os resíduos de rochas ornamentais apenas podem substituir o cimento Portland em quantidades

não superiores a 10%. Por conta disso, a alternativa de aplicabilidade de tais resíduos não seria capaz de absorver os volumes gerados nos processos de mineração. Entretanto, alguns resíduos possuem características semelhantes aos agregados naturais, podendo substituí-los na produção de concretos e argamassas, ou mesmo serem utilizados como adição mineral inerte no CAA, como é o caso do Resíduo de Serragem da Pedra Cariri (RSPC).

3.4.8 Fíler De Britagem De Concreto

No Brasil, é incipiente a quantidade de empresas de construção civil que fazem a gestão de resíduos em canteiros de obras e desenvolvem ações planejadas para a redução de sua geração. A segregação, acondicionamento e disposição final dos resíduos ainda não são realizados de forma adequada e integrada às atividades produtivas dos canteiros, vindo a interferir em questões relacionadas à competitividade sustentável (FIEB, 2013).

A gestão dos resíduos de construção e demolição (RCD) tem como objetivo a melhoria da limpeza urbana, redução dos custos, facilidade de disposição de pequenos volumes gerados e os descartes dos grandes volumes gerados, preservação ambiental, incentivo às parcerias e à redução da geração de resíduos nas atividades construtivas, bem como na preservação do sistema de aterros para a sustentação do desenvolvimento (SANTOS, 2008).

Zordan (1997) afirma que o grande consumo de matéria-prima está diretamente ligado ao grande desperdício de material que ocorre nos empreendimentos, à vida útil das estruturas construídas e devido às obras de reparo e adaptação das edificações existentes.

Mesmo conhecendo a necessidade de se reduzir a geração de resíduos, percebe-se ainda uma tímida reação, tanto por parte do setor público como do setor privado, no sentido de buscar saídas eficazes para solucionar o problema. Há dificuldade por parte das empresas e governos municipais em criar mecanismos de gerenciamento eficazes capazes de nortear um uso mais inteligente dos materiais nas frentes de trabalho, visando com isso uma redução no volume de material a ser descartado mais tarde (OLIVEIRA; MENDES, 2008).

Segundo Araújo (2007), o desenvolvimento do CAA com resíduos sólidos é uma contribuição positiva à sustentabilidade de tecnologia do concreto. O uso de resíduos em forma de pó, inertes ou pozolânicos, podem contribuir na dosagem deste concreto, reduzindo a demanda de cimento, da fração de finos dos agregados e de areia, que são requeridos em grandes quantidades no CAA.

A indústria de concreto pré-fabricado tem elevado o uso de CAA para a confecção de elementos estruturais em todo o mundo, inclusive no Brasil. Na Holanda e na França, estima-se que mais de 50% do concreto empregado nessas empresas já sejam autoadensáveis (REPETTE, 2011).

Uma das aplicações possíveis e eficientes para esse material é seu emprego como promotor de viscosidade em CAA, que necessita de uma grande parcela de finos na sua constituição (cerca de 200 litros de finos por m³ de concreto produzido) (EFNARC, 2005; FELEKOGU, 2007). A Figura 12 mostra o fíler oriundo de britagem de concreto.

Figura 12 - Fíler de britagem de concreto.



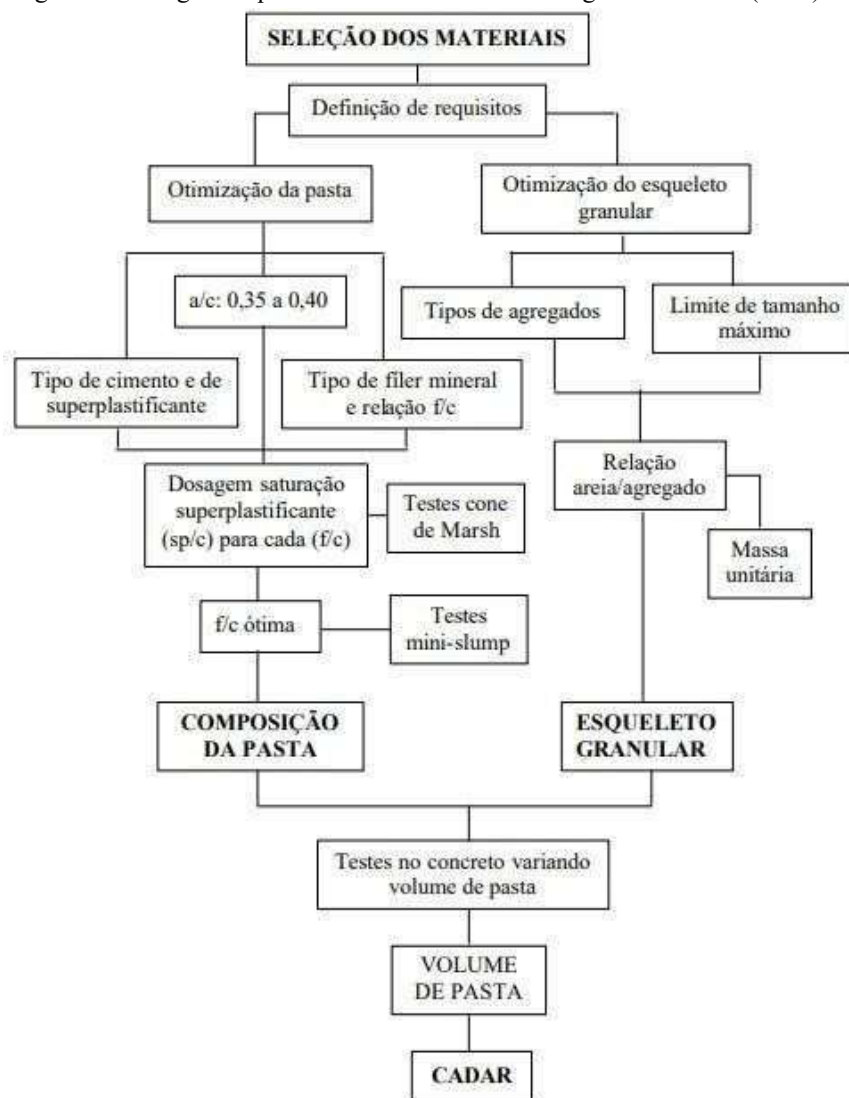
Fonte: Da Silva (2016).

4 METODOLOGIA

A dosagem dos CAA estudados no presente trabalho foi realizada de acordo com o método proposto por Gomes (2002), que é fundamentado na otimização da composição da pasta separada do esqueleto granular de agregados.

Segundo Gomes (2002), a pasta é constituída por cimento, filer, água e superplastificante, enquanto o esqueleto granular é definido pela relação ótima entre agregado miúdo e agregado graúdo, que proporcione uma máxima densidade em seco e sem compactação. A Figura 13 mostra a seqüência do método de dosagem de Gomes (2002) para o concreto autoadensável de alta resistência (CADAR).

Figura 13 - Diagrama que descreve o método de dosagem de Gomes (2002).



Fonte: Monteiro (2004).

4.1 MATRIZ CIMENTÍCIA

Os ensaios com o Cone de Marsh e com o Cone de Kantro foram aplicados nas matrizes cimentícias para estudar o seu comportamento de fluxo.

4.1.1 Ensaio no Cone Marsh

Devido à importante função do superplastificante no concreto, a seleção e os critérios de dosagem do superplastificante são fundamentais para determinar a composição do CAA. Do ponto de vista prático, o melhor é determinar esses parâmetros no concreto, e nas condições locais das construções. Porém, isso implica em significativa mão de obra, material e tempo. Por outro lado, tais testes não explicam a fundamental ação do superplastificante com respeito às interações físicas e químicas. Com essa razão, vários métodos baseados em testes de pasta e argamassa têm sido desenvolvidos para determinar a dosagem ótima de superplastificante no concreto. Todavia, ajustes finais no concreto são necessários após os testes em pasta e em argamassa (GOMES, 2002).

Por meio do ensaio com o Cone de Marsh, representado na Figura 14, avalia-se a fluidez das matrizes cimentícias. Com esse ensaio obtém-se o ponto de saturação, ou seja, o limite do aditivo superplastificante que deve ser utilizado na mistura. A partir deste ponto, existe a possibilidade de segregação da mistura. O equipamento possui uma abertura superior de 155 mm e inferior de 8 mm.

Figura 14 - Cone de Marsh



Fonte: Cavalcante (2018).

O ensaio da fluidez através do Cone de Marsh consiste na produção de 1000 ml de pasta, que é introduzida no Cone com o orifício inferior obstruído, e com o auxílio de um cronometro é medido o tempo, em segundos, que a pasta atinge a marca de 500 ml na proveta graduada.

Para cada pasta, obtêm-se uma curva de tempo de fluxo, onde a variável é o percentual de superplastificante sólido. Esta curva é usada para determinação da dosagem ótima do superplastificante. Esta dosagem, conhecida como ponto de saturação, é definida como a dosagem de superplastificante além da qual o tempo de fluxo não diminui consideravelmente (DE LARRARD, 1990; AGULLÓ et al., 1999). Essa curva deve apresentar o ponto ótimo da dosagem de superplastificante bem definido, com ângulo interno da curva no ponto de saturação dentro do estabelecido por Gomes (2002), $140^\circ \pm 10^\circ$.

4.1.2 Ensaio Do Cone De Kantro

O procedimento descrito por Kantro (1980), permite a avaliação da fluidez pelo espalhamento máximo e coesão da pasta. Para a realização do ensaio se faz necessária a utilização de uma mesa nivelada, uma placa de vidro de superfície lisa e um cronômetro. O ensaio consiste no preenchimento total do Cone de Kantro com pasta. Depois levanta-se o Cone, obtendo um ângulo de 90 graus com a mesa, de acordo com a Figura 15. Com o cronometro é medido o tempo que a pasta alcança a marca de 115 mm, chamado T_{115} . Em seguida mede-se o espalhamento máximo da pasta e observa-se se há pontos de segregação.

Figura 15 - Cone de Kantro.



Fonte: Monte (2003).

Para Gomes (2002), o T_{115} ideal é de 2 segundos a 3,5 segundos e o espalhamento mais indicado é de 180 ± 10 mm.

4.2 ARGAMASSA

O estudo da argamassa é feito por intermédio de ensaios no Cone de Marsh, já apresentado na Figura 14, e no Tronco de cone da mesa de consistência (Figura 16).

Figura 16 - Tronco de cone da mesa de consistência



Fonte: Autor (2020).

Para a argamassa, o diâmetro do orifício do bocal inferior do cone de Marsh passa a ser de 12 mm. Os ensaios no Cone de Marsh com argamassas, da mesma forma que nas pastas, têm a finalidade de determinar o ponto de saturação do superplastificante, utilizando os mesmos procedimentos de execução do ensaio.

Os ensaios da argamassa no Tronco de cone da mesa de consistência têm a finalidade de verificar a capacidade de fluir da argamassa, medindo os diâmetros de espalhamento (LISBÔA, 2004). Também pode se verificar se há pontos de segregação na argamassa. O método de ensaio é o mesmo apresentado para o Cone de Kantro, utilizando-se a própria mesa de consistência como base para o molde troncocônico. Gomes (2002) indica que o diâmetro ótimo de espalhamento deve estar entre 200 mm e 300 mm.

4.3 DETERMINAÇÃO DO ESQUELETO GRANULAR

A combinação ótima entre os agregados é obtida através de vários procedimentos de mistura, sem nenhum tipo de compactação, no sentido de se obter o ponto de maior massa unitária da mistura e o menor volume de vazios entre eles (GOMES, 2002). Para isso, varia-se a proporção entre os agregados e determina-se o índice de volume de vazios de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006).

Para a composição do esqueleto granular, foi utilizada uma brita de origem granítica, com dimensão máxima característica igual a 12,5 mm e massa específica igual a 2,7 g/cm³, e uma areia lavada de rio, com módulo de finura igual a 2,45 e massa específica igual a 2,62 g/cm³. Assim, a melhor proporção entre os agregados foi de 60% de brita e 40% de areia.

4.4 DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS

A partir dos ensaios em pastas e argamassas, determinou-se uma relação superplastificante sólido/cimento igual a 1,2%. Para as misturas, além dos agregados citados anteriormente, foram utilizados os seguintes materiais: cimento CP II F 32, com massa específica igual a 3,11 g/cm³; aditivo químico superplastificante tipo II, com massa específica igual a 1,09 g/cm³ e teor de sólidos igual a 32%.; filer RSRO, com massa específica igual a 2,82 g/cm³; filer RPC, com massa específica igual a 2,65 g/cm³; filer RBC, com massa específica igual a 2,45 g/cm³; água do sistema de abastecimento público, com massa específica igual a 1,0 g/cm³.

Após a produção de concretos-teste e realização dos ensaios no estado fresco, o volume de pasta obtido foi de 40%. A Tabela 5 traz os traços obtidos para cada CAA, juntamente com os consumos de cada material, em kg/m³.

Tabela 5 - Composição dos CAA estudados

	Cimento	Filer RSRO	Filer RPC	Filer RBC	Areia	Brita	Água	Aditivo
Traço RSRO	1	0,5	-	-	1,35	2,03	0,39	0,0375
Consumo (kg/m ³)	462,15	231,07	-	-	621,76	939,6	179,94	17,33
Traço RPC	1	-	0,5	-	1,36	2,06	0,39	0,0375
Consumo (kg/m ³)	456,44	-	228,22	-	621,76	939,6	177,8	17,12
Traço RBC	1	-	-	0,5	1,38	2,09	0,39	0,0375
Consumo (kg/m ³)	448,93	-	-	224,46	621,76	939,6	174,99	16,83

Fonte: Autor (2020).

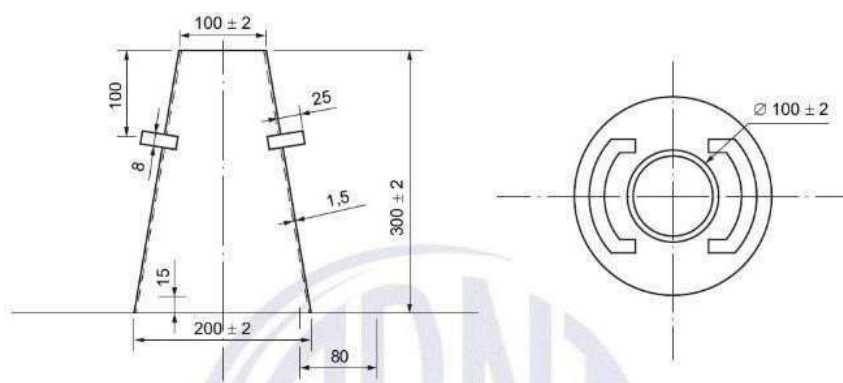
4.5 ENSAIOS DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL NO ESTADO FRESCO

Para o estudo e determinação das propriedades do CAA no estado fresco, foram realizados os seguintes ensaios: Teste de espalhamento, Anel J, Funil V e Caixa L.

4.5.1 Teste de espalhamento.

Este método avalia o grau de deformação do CAA fresco, através do espalhamento da amostra deformada sob o efeito do seu próprio peso. O Cone de Abrams deve ser conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998), de acordo com a Figura 17.

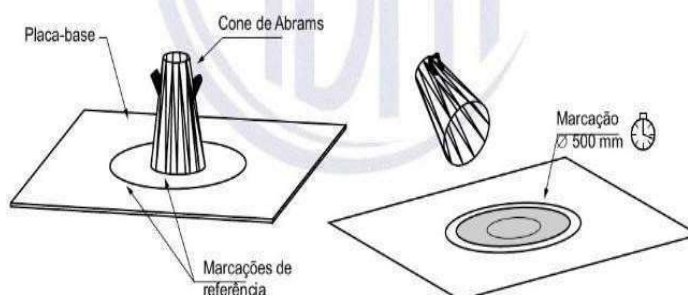
Figura 17 - Cone de Abrams



Fonte: NBR 15823-2 (ABNT, 2017).

Deve conter também uma chapa metálica quadrada com no mínimo 900 mm de lado. A placa deve ter marcações de 200 mm e 500 mm a partir do centro da chapa para cronometrar o tempo de espalhamento de 500 mm (t_{500}), de acordo com a Figura 17. Além disso, após cessar o espalhamento, analisa-se o índice de estabilidade visual de mistura. Todos esses procedimentos são preconizados pela NBR 15823-2 (ABNT, 2017).

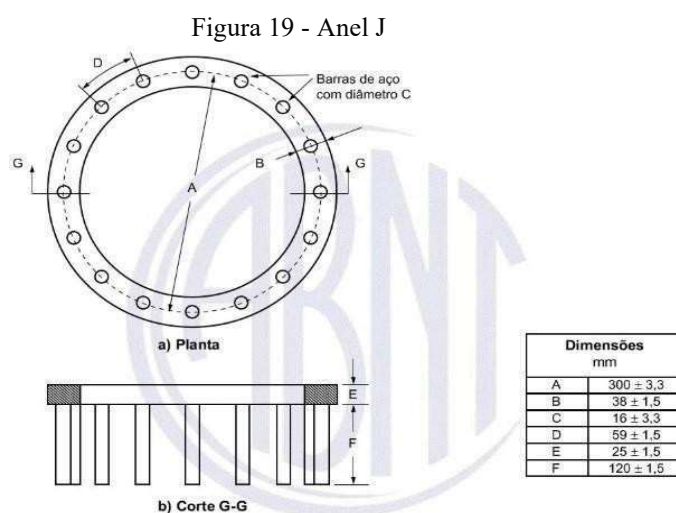
Figura 18 - Conjunto do Cone de Abrams, mais chapa.



Fonte: NBR 15823-2 (ABNT, 2017).

4.5.2 Anel J

De acordo com a NBR 15823-3 (ABNT, 2017), o anel J deve ser metálico, com 300 mm de diâmetro e altura de 120 mm. Os espaçamentos entre as barras do anel devem ser de 59 mm, de acordo com a Figura 19.



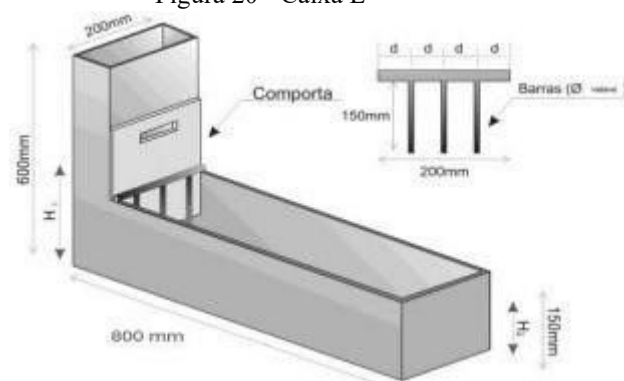
Fonte: NBR 15823-3 (ABNT, 2017).

Segundo a ABNT 15823-3 (NBR, 2017), o ensaio consiste em realizar o ensaio de escoamento no tronco de cone posicionando o anel J como obstrução. Após o concreto ter cessado de escoar, mede-se a abertura média do espalhamento. A diferença de abertura no espalhamento devida à restrição do anel J indica a resistência do concreto ao bloqueio e é o principal resultado obtido pelo ensaio.

4.5.3 Caixa L

O teste é usado para a avaliação da propriedade no estado fresco de capacidade de passagem do CAA entre as aberturas das armaduras (GOMES, 2002). A Figura 20 ilustra o equipamento. Os procedimentos são de acordo com o especificado na NBR 15823-4 (ABNT, 2017).

Figura 20 - Caixa L

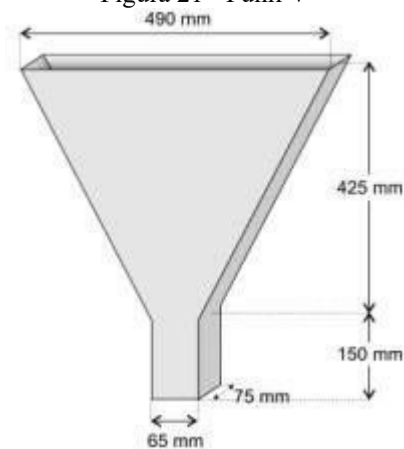


Fonte: Adaptada da NBR 15823-4 (ABNT, 2017).

4.5.4 Funil V

Consiste em medir o tempo para um certo volume de concreto (aproximadamente 10 litros), fluir totalmente por um funil, de acordo com a NBR 15823-5 (ABNT, 2017). A Figura 20 mostra o equipamento.

Figura 21 - Funil V



Fonte: Adaptada da NBR 15823-5 (ABNT, 2017).

4.6 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

4.6.1 Resistência À Compressão Axial

O ensaio foi executado conforme descrito pela NBR 5739 (ABNT, 2018), para determinação da resistência à compressão de corpos de prova de concreto, com dimensões 10

x 20 cm, aos 28 dias. Foram utilizadas duas amostras para cada idade de ensaio, adotando a de maior valor, conforme recomendação da NBR 12655 (ABNT, 2015).

4.6.2 Absorção De Água Por Capilaridade

Avaliou-se o índice de absorção de água por capilaridade dos concretos (Figura 22), conforme a NBR 9779 (ABNT, 2012).

Figura 22 - Ensaio de Capilaridade



Fonte: Autor (2020).

4.6.3 Absorção De Água Por Imersão

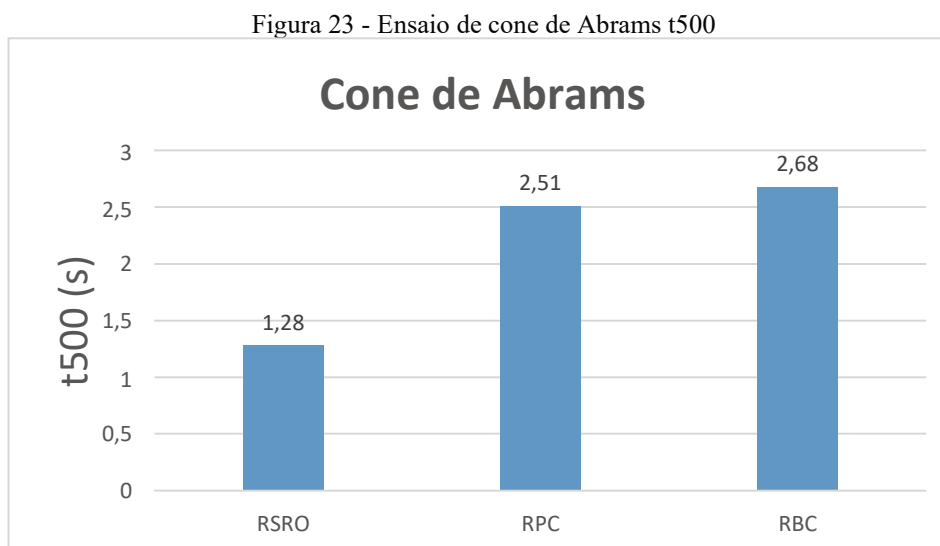
A NBR 9778 (ABNT, 2012) rege esse ensaio e descreve como deve ser feita a determinação da absorção de água por imersão. A absorção de água por imersão é o procedimento que faz com que a água tenda a se conduzir para os poros permeáveis de determinado corpo poroso com o intuito de preenchê-los. Já o índice de vazios corresponde à relação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios realizados no estado fresco dos CAA mostraram resultados satisfatórios. Observa-se também que, para a mesma quantidade de filer utilizado em cada traço, obtiveram-se resultados distintos.

5.1 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

Visualiza-se, segundo a Figura 23, o resultado do ensaio t500 com o cone de Abrams.

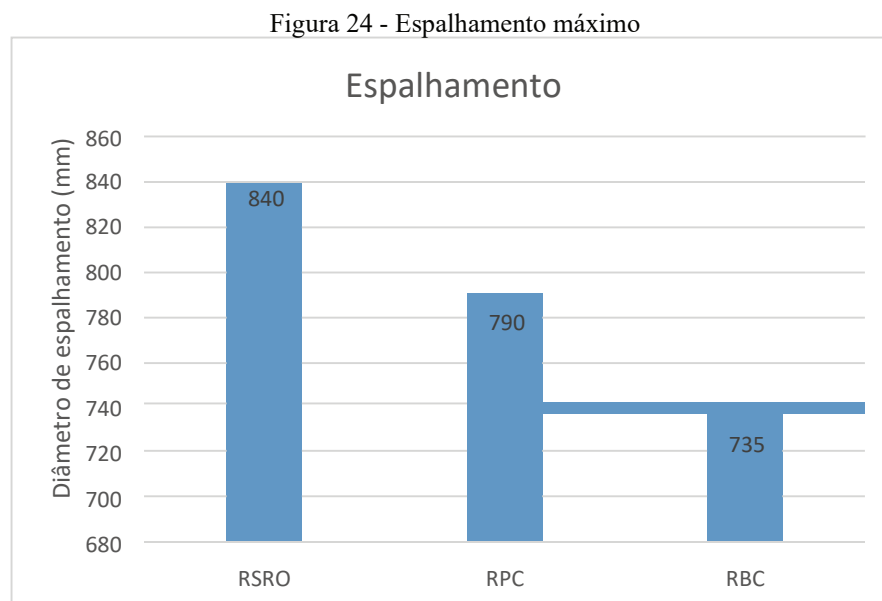


Fonte: Autor (2020).

A Figura 23 mostra que o menor tempo de ensaio pertence ao filer de serragem de rochas ornamentais (RSRO), com duração de ensaio de 1,28 segundos. Assim, de acordo com a NBR 15823-1 (ABNT, 2017), a classe de viscosidade plástica do CAA com resíduos de serragem de rochas ornamentais (RSRO) é VS 1, onde, por norma, o concreto com essa classificação pode ser aplicado em elementos estruturais com alta densidade de armadura.

Como os CAA de resíduos de pedra Cariri (RPC) e resíduos de britagem de concreto (RBC) tiveram tempos maiores que 2 segundos, suas classes de viscosidade plástica são VS 2, que podem ser empregados em quaisquer elementos, contudo esse concreto com essa classificação pode apresentar falhas no seu acabamento final.

Os espalhamentos obtidos podem ser visualizados na Figura 24.



Fonte: Autor (2020).

Analisando as classes de espalhamento, classifica-se o CAA com RSRO e o CAA com RPC como pertencentes à classe SF 3, onde, por norma, essa classificação permite que o concreto seja aplicado em estruturas com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa. Já o CAA com RBC pertence à classe SF 2, podendo ser adequado para a maioria das aplicações, como pilares e vigas.

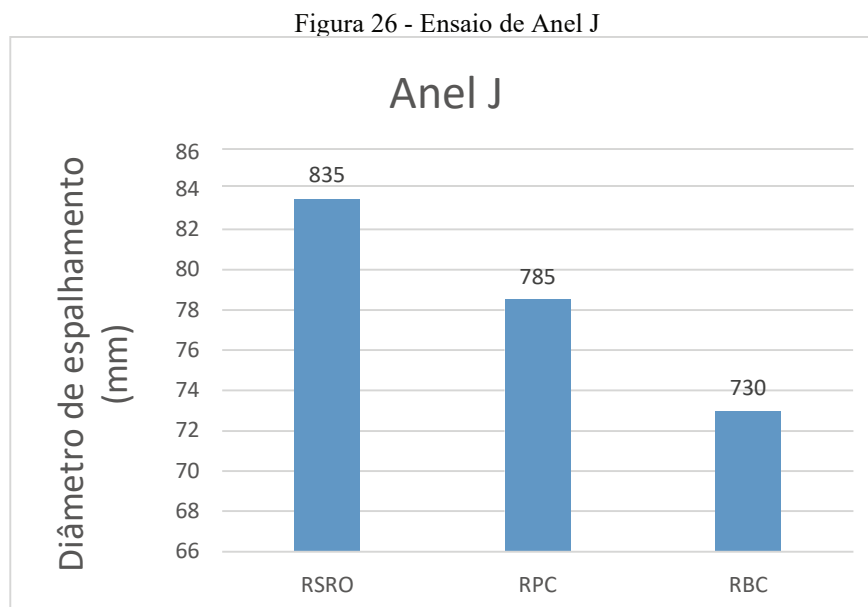
Para analisar o índice de estabilidade visual (sob fluxo livre), é observado se o CAA apresenta segregação, exsudação ou ambas. A Figura 25(a), 25(b) e 25(c) corresponde respectivamente aos CAA de RSRO, RPC e RBC, no qual a classificação do índice de estabilidade visual (sob fluxo livre) foi IEV 1, onde não apresenta evidência de segregação e leve exsudação.

Figura 25 - Ensaio de cone de Abrams (espalhamento)



Fonte: Autor (2020).

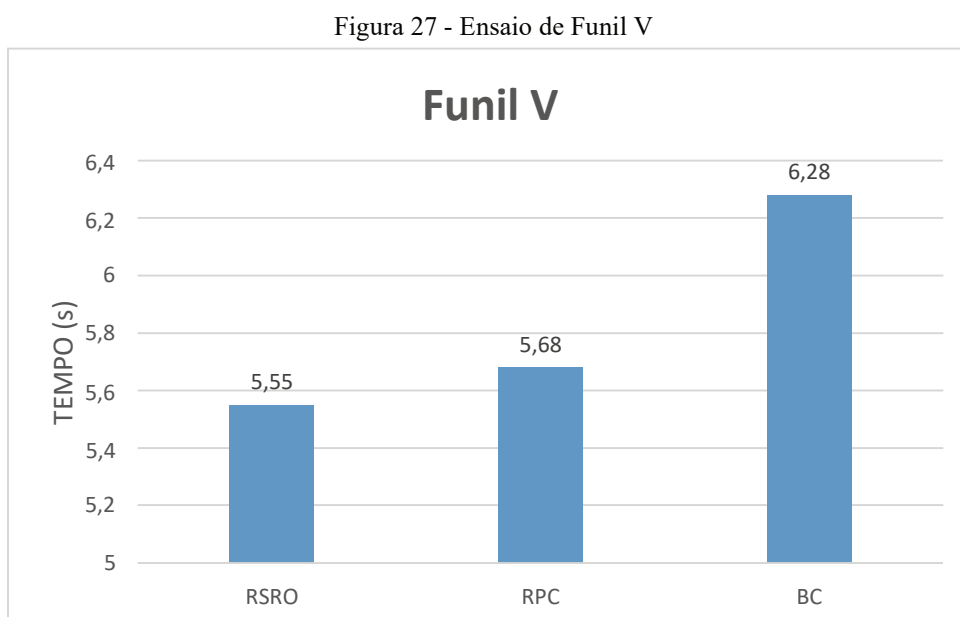
Visualiza-se, na Figura 26, os resultados do ensaio de Anel J.



Fonte: Autor (2020).

Após calcular a classe de habilidade passante pelo anel J, foi contestado que todos os CAA apresentaram classe PJ1, visto que o limite dessa classe é de 0 a 25 mm. Segundo a norma 15823-1 (ABNT, 2017), esse concreto é adequado para a maioria das aplicações estruturais como: vigas, pilares, tirantes, etc.

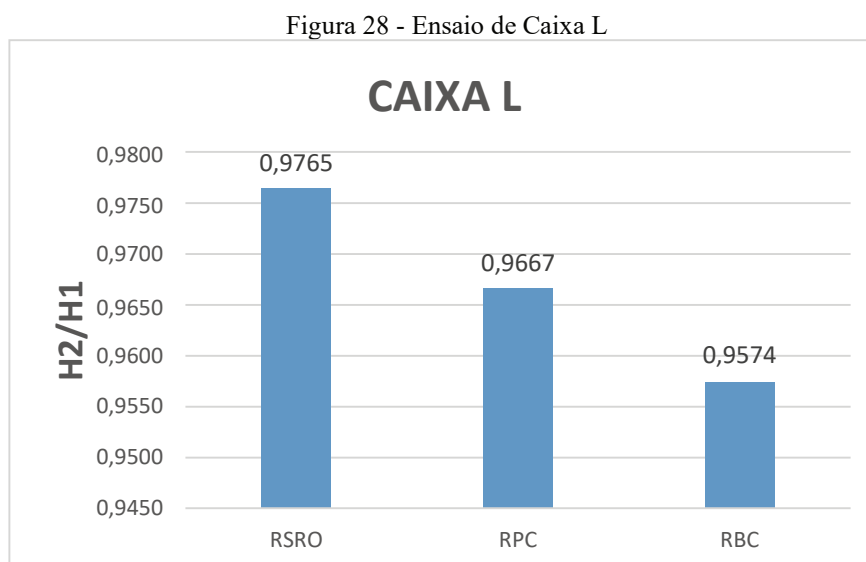
Os resultados obtidos no ensaio com o funil V estão expostos na Figura 27



Fonte: Autor (2020).

Percebe-se que os CAA de RSRO e RPC são bem semelhantes quanto ao ensaio com o funil V. Já o CAA com RBC apresentou um tempo 13% maior do que o RSRO e 11% maior do que o RPC. A classificação da viscosidade plástica aparente dos CAA no Funil V foi VF 1, visto que todos os CAA ficaram com o tempo menor do que 9 segundos.

Os resultados obtidos no ensaio com a caixa L estão apresentados na Figura 28.



Fonte: Autor (2020).

O tempo de execução do ensaio da caixa L se mostrou mais favorável para os CAA de RSRO e RPC. Contudo, classificando a habilidade passante pela caixa L, todos os CAA são classificados como PL 2, pois todos os cálculos apresentam valores superiores a 0,8 com três barras de aço.

A Tabela 6 mostra o resumo dos resultados unitários dos ensaios de trabalhabilidade para cada adição inerte estudada.

Tabela 6 - Ensaio e características do CAA com resíduos de RSRO, RPC e RBC.

Ensaio	RSRO	RPC	RBC
Espalhamento (mm)	840	790	735
T500 (s)	1,28	2,51	2,68
Funil V (s)	5,55	5,58	6,28
Anel J (mm)	0,5	0,5	0,5
Caixa L	0,9765	0,9667	0,9574

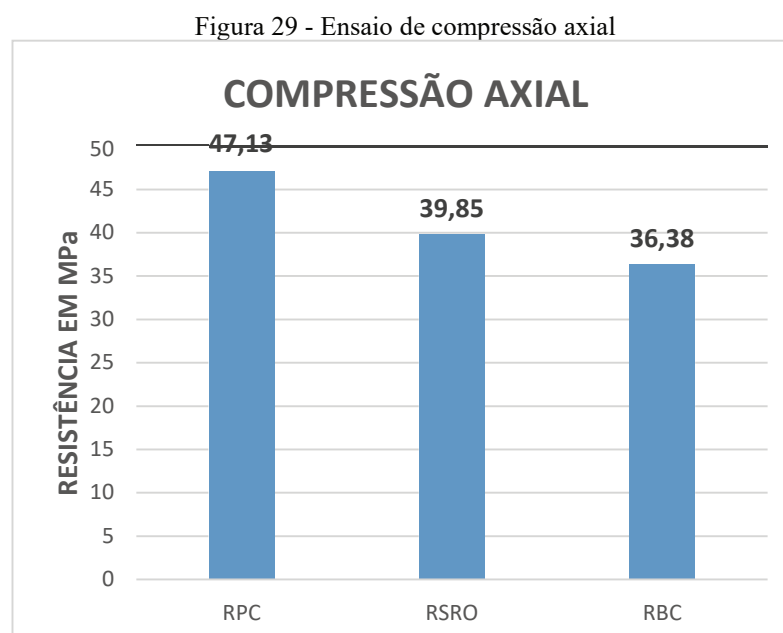
Fonte: autor

Visualiza-se na Tabela 6 que o resíduo que melhor se adequou no quesito trabalhabilidade foi o de RSRO, visto que obteve maior espalhamento com o menor tempo. Isso se repete em todos os outros ensaios de trabalhabilidade.

5.2 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

5.2.1 Resistência à compressão axial

Os resultados obtidos aos 28 dias no ensaio de resistência à compressão axial são mostrados na Figura 29.



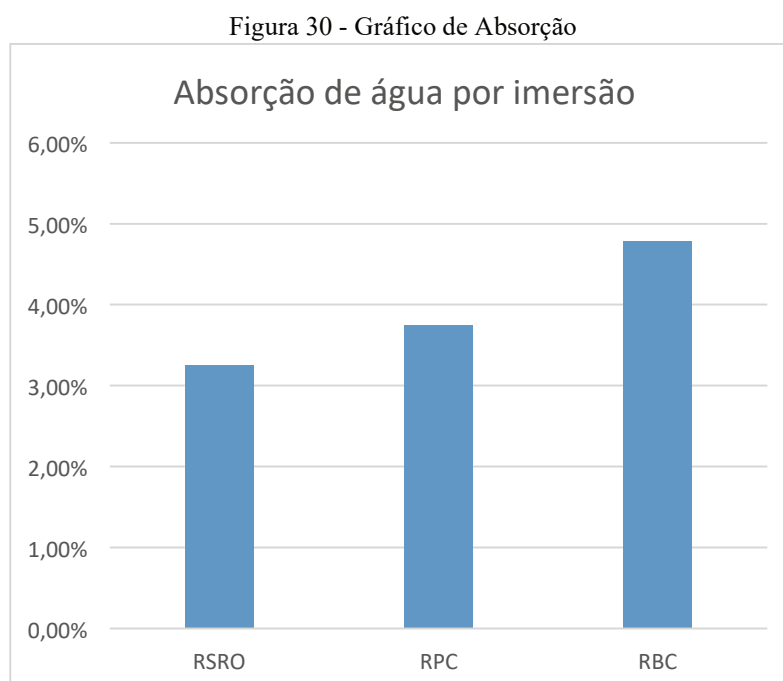
Fonte: Autor (2020).

A produção dos CAA com resíduos atingiram seus objetivos de obter concretos com resistências acima de 35 MPa. Observou-se que com a incorporação de RPC houve um aumento na resistência à compressão axial de 18,3% em relação ao de RSRO e de 29,5% em relação ao de RBC.

Era esperado que o CAA com incorporação de RBC apresentasse resistências inferiores aos demais concretos, visto que o resíduo de britagem de concreto tem uma superfície que não permite uma maior aderência à matriz cimentícia como a dos outros resíduos. Devido à porosidade do RPC, esta aderência foi melhor, resultando em resistências maiores.

5.2.2 Absorção De Água Por Imersão

A partir dos resultados do ensaio de absorção por imersão, apresentados na Figura 30, pode ser verificado que o CAA com incorporação de RSRO apresentou a menor taxa de absorção de água, com 3,25%, enquanto o CAA com adição de RPC ficou com 3,75% e o de RBC com 4,78%. Isso significa que o CAA com adição de RBC e RPC pode ter uma durabilidade menor em relação ao de RSRO, uma vez que grande parcela dos agentes causadores de degradação permeiam o concreto por meio de solução aquosa. No entanto, essas diferenças são pequenas.

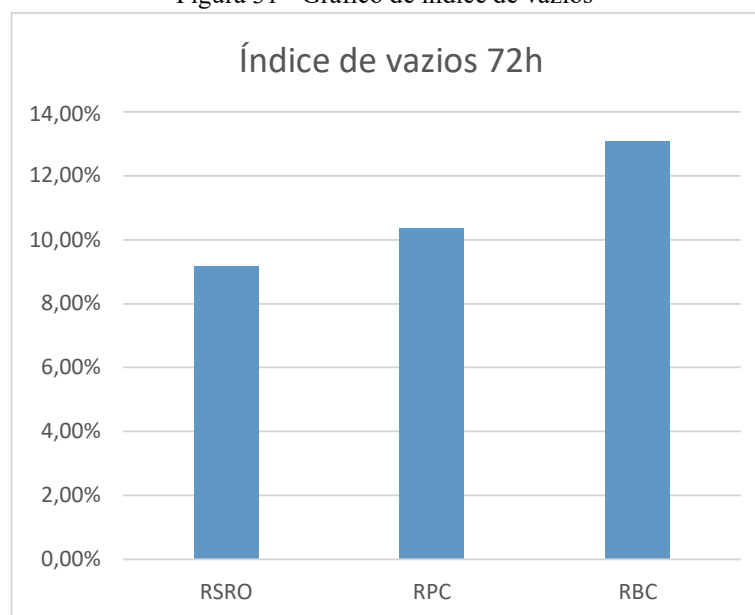


Fonte: Autor (2020).

Helene (1993) relaciona a durabilidade do concreto com a absorção da água: menor que 4,2%, classificando como duráveis; de 4,2% a 6,3% classificando como normais e, para valores maiores que 6,3% os concretos são considerados deficientes.

O CAA com menor absorção foi o de RSRO, com 3,25%, seguido do de RPC, com 3,75%, ambos sendo classificados, segundo Helene (1993) como duráveis. Já o CAA com incorporação de RBC apresentou absorção de 4,78%, sendo classificado como normal segundo Helene (1993). A Figura 31 traz os resultados de índice de vazios para os CAA.

Figura 31 - Gráfico de índice de vazios



Fonte: Autor (2020).

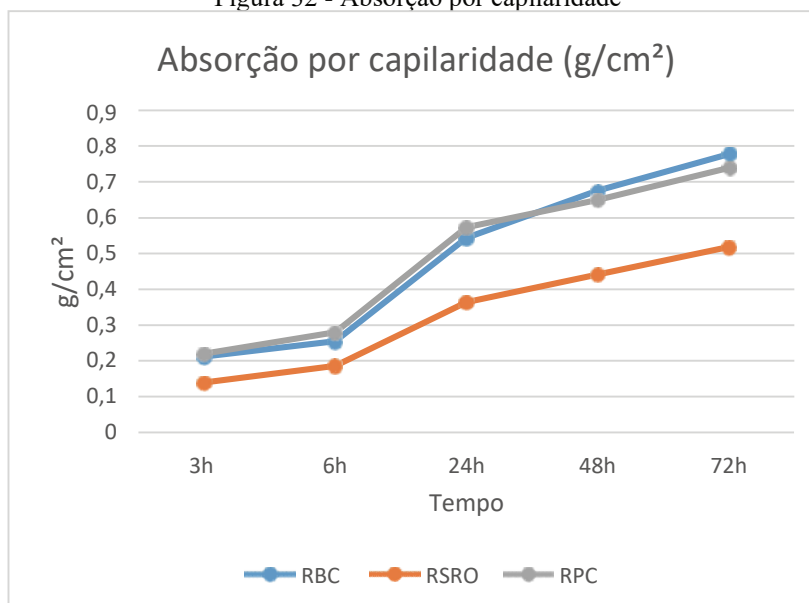
Observa-se que os CAA com incorporação de RSRO e RPC possuem índices de vazios de 9,17% e 10,35%, respectivamente. O concreto com incorporação de RBC apresentou um índice de vazios mais elevado, com 13,07%. Isso mostra que o CAA com incorporação de RBC pode ter uma menor durabilidade comparado aos demais, visto que quanto maior o índice de vazios na estrutura, maior pode ser a ação das intempéries e dos agentes agressivos.

5.2.3 Ensaio De Absorção Por Capilaridade

Os resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade, expostos na Figura 32, mostram que o CAA com adição de RSRO tem uma estrutura de poros mais fechada, fazendo com que este tenha um índice de absorção de água menor do que os CAA com adição de RBC e RPC, que apresentam um índice de vazios maior, afetando sua durabilidade.

Uma vez que grande parte das deteriorações ocorridas no concreto se dão por meio de soluções aquosas, pode-se concluir que a estrutura de poros do CAA com adição de RSRO pode oferecer uma durabilidade mais favorável ao concreto em relação aos CAA com incorporação de RBC e RPC, que apresentaram similaridade entre si.

Figura 32 - Absorção por capilaridade



Fonte: Autor (2020).

Como os capilares são os espaços ainda não preenchidos pelos compostos hidratados do aglomerante, a permeabilidade depende do prosseguimento da hidratação ao longo do tempo, sendo que quanto maior o seu grau de endurecimento, menor será sua permeabilidade.

Segundo Ferreira (2000), os poros do concreto apresentam uma grande variedade de dimensões, desde nanométricas até micrométricas. Quando estes poros entram em contato com uma fase líquida, o líquido é absorvido pelas forças capilares presentes em cada poro. A força capilar local é inversamente proporcional ao diâmetro dos poros, desta forma, os poros menores exercem uma maior força capilar (apesar da velocidade de ingressos nos poros menores ser inferior à dos poros maiores).

Analisar a estrutura dos poros permite fazer uma previsão da durabilidade do concreto, visto que se torna possível conhecer como acontece a penetração de agentes agressivos no seu interior.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho possibilitou estudar a incorporação de diferentes resíduos provenientes do estado do Ceará. Com a execução do programa experimental, foram avaliadas as propriedades físico-mecânicas dos CAA com as incorporações de RSRO, RPC e RBC, pelas quais pode-se estabelecer as seguintes conclusões:

- Comparando os dados dos ensaios de trabalhabilidade dos CAA, pode-se afirmar que o resíduo que mais se destacou por melhorar essa propriedade foi o fíler de RSRO. Tanto nos ensaios de cone de Abrams, Anel J, Caixa L e Funil V, o tempo de execução dos ensaios foi menor do que os demais. Contudo, o CAA com incorporação de RSRO apresentou uma pequena exsudação após três minutos do ensaio de cone de Abrams.

- Os CAA produzidos com os três tipos de adições inertes estudadas ficaram de acordo com os quesitos de trabalhabilidade da NBR 15823 (ABNT, 2017), sendo passíveis de utilização prática.

- No quesito resistência à compressão axial, o fíler que mais se destacou foi o de RPC, que teve o maior valor, com 47,13 MPa. Apesar da metodologia de Gomes propor concretos autoadensáveis de alta resistência, o RBC se mostrou o menos favorável nesse quesito.

- O ensaio de absorção de água por imersão mostrou que o CAA com incorporação de RBC teve os maiores índices de absorção e índice de vazios, mostrando que a sua durabilidade pode ser inferior aos demais. O CAA com incorporação de RSRO apresentou melhores resultados nesse ensaio.

- O desenvolvimento do ensaio de absorção por capilaridade mostrou que o CAA com RSRO apresenta um índice de absorção de água menor que os demais concretos.

Portanto, com os resultados obtidos, a confecção de concretos autoadensáveis com incorporação de resíduos de serragens de rochas ornamentais, resíduos de pedra Cariri e resíduo de britagem de concreto é possível, visto que estes conferem ao CAA uma boa coesão e trabalhabilidade, além de resistências mecânicas elevadas e baixos valores de absorção de água.

Dentre todos os resíduos estudados, destaca-se o de RSRO quanto à permeabilidade e o de RPC quanto à resistência à compressão axial. O resíduo de RBC se mostrou menos favorável, porém, sua aplicação pode ser interessante a depender das solicitações da obra. Em relação ao estado fresco, todas as adições se mostraram favoráveis.

REFERÊNCIAS

ABIROCHAS, Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. 2017. Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2016.

ADECE – AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ S. A. Atlas da mineração 2013. Disponível em: <http://www.adece.ce.gov.br/index.php/mineracao>. Acesso em 12 de janeiro de 2016.

ALVES, M. S. Estudo das características e da viabilidade do uso de resíduos gerados no polimento de rochas graníticas como adição em concretos. 2008, 133f. Dissertação (Mestrado em Construção civil) – Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779 – Absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. ABNT: Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9779: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por capilaridade – Método de ensaio. ABNT: Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276/2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211/2005. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados: determinação da composição granulométrica. ABNT: Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9935: Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-1: Concreto autoadensável – Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. ABNT: Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-2: Concreto autoadensável – Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método de cone de Abrams. ABNT: Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-4: Concreto autoadensável – Parte 4: Determinação da habilidade passante – Método da caixa L. ABNT: Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-5: Concreto autoadensável – Parte 5: Determinação da viscosidade – Método do funil V. ABNT: Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217/82. Determinação da Composição Granulométrica dos Agregados. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7220/87. Determinação de Impurezas Orgânicas Húmicas em Agregado Miúdo. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7218/87. Determinação do Teor de Argila em Torrões nos Agregados. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7219/82. Determinação do Teor de Materiais Pulverulentos nos Agregados. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Procedimento para moldagem e cura de corpos-deprova. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118/2014, Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (Design of concrete structures – Procedure) ICS 91.08.40

BARROS, P.G.S. Avaliação das propriedades de durabilidade do concreto auto-adensável obtido com resíduo de corte de mármore e granito. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

BAUER, L. A. F. Materiais de construção. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2008.

BERTOLINI, Luca. Materiais de construção: Patologia, reabilitação, prevenção. São Paulo: Oficina de Texto, 2010.

BERTOLINI, Luca. Materiais de construção: Patologia, reabilitação, prevenção. São Paulo: Oficina de Texto, 2010.

BENACHOUR, Y; DAVY, C. A.; HOUARI, H.; SKOCZYLAS, F. Effect of a high calcite filler addition upon microstructure and freeze/thawing resistance of a mortar. Creep, Shrinkage and Durability Mechanics of Concrete and Concrete Structures, v. 2, p.993 - 998, 2008.

BILLBERG, P. (1999) Self-Compacting Concrete for Civil Engineering Structures – The Swedish Experience. In: S. C. C. R. I. 1-77. Stockholm.

CAMPOS, A. R.; CASTRO, N. F.; VIDAL, F. W. H.; BORLINI, M. C. Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais e de revestimento, visando mitigação de impacto ambiental. IN: Simpósio de Geologia do Nordeste, 23, 2009, Fortaleza, CE. Anais... Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2009. p.16-25.

CASCUDO, OSWALDO. Inspeção e Diagnóstico de estrutura de concreto com problemas de corrosão de armadura, Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações, IBRACON, Cap. 35, p.1071

– 1108, V. 2, ed. Geraldo C. Isaia, São Paulo. 2005

CAVALCANTI, D.J.H. Contribuição ao Estudo de Propriedades do Concreto Auto-adensável visando sua aplicação em elementos estruturais. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFAL. Maceió, 2006.

CHOUDHARY, A.; SHAH, V.; BISHNOI, S. Effect of low cost fillers on cement hydration, *Construction and Building Materials*, Volume 124, October 2016, Pages 533-543.

COUTINHO, B. S. Propriedades e Comportamento Estrutural do Concreto AutoAdensável. Dissertação de Mestrado– UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro 2011.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DA BAHIA. Gestão de Resíduos na Construção Civil: Redução, Reutilização e Reciclagem. Projeto Competir. 2013.

FELEKOGLU, B. Effects of PSD and surface morphology of microaggregates on admixture requirement and mechanical performance of micro-concrete, *Cement and Concrete Composites*, Volume 29, Issue 6, 2007, Pg 481-489. FELEKOGLU, B. A new.

FERNANDES, J. V. G; GONÇALVES, E.; ANDRADE, J. C. S; KIPERSTOK, A. Introduzindo práticas de produção mais limpa em sistemas de gestão ambiental certificáveis: uma proposta prática. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 06, n. 03, jul/dez. Rio de Janeiro, 2001. p. 157-164.

FERNANDES, T. W. G. Diagnóstico da cadeia produtiva de rochas ornamentais e de revestimento do Estado do Ceará: mineração, serrarias, marmorarias e desafios do setor. 2004, 121f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

GRANATO, José E. Patologia das construções. São Paulo: AEA Cursos, 2012.
HELENE, P. Proposta apresentada em reunião da comissão de revisão da NBR 6118. 2P, 1993.

HARTMANN, C. T. Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland. Dissertação (mestrado) - Pós-Graduação em Engenharia Civil - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002. p. 234.
GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. Métodos de dosagem de concreto autoadensável. São Paulo, Pini, 2009.

HASPARYK, N.P.; SILVEIRA, A.L.Z.; ARMELIN, J.L.; FONTOURA, J.T.F.; GUIMARÃES, E.M.; LENHARO, S.L.R. Investigação de deterioração em testemunhos de concreto contendo agregado de natureza granítica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA E ENGENHARIA AMBIENTAL, 10., 2002, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto, 2002, p.1-13.

ISAIA, G.C. O concreto: da are clássica à contemporânea. In: *Concreto: ensaio, pesquisa e realizações*. Ed: G.C. ISAIA. São Paulo, volume 1 capítulo 1, p1-43, 2005.

OKAMURA, H. Self-compacting high performance concrete. *Concrete international*, v. 19, n.7, p. 50-54, July 1997.

KANTRO, D. L. (1980) Influence of Water Reducing Admixtures on Properties of Cement Pastes – A miniature slump test. *Cement Concrete Aggregates*, v. 2, p. 95-102.

LISBÔA, E. M. Obtenção do concreto autoadensável utilizando resíduo do beneficiamento do mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas. 2004. 144 f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2004.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. 2ª Edição. São Paulo. IBRACON, 2014. 728 p.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. 1ª. Ed. São Paulo: PINI. 573 p. 1994.

MOURA, W. A. Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

MELLO, I. S. de C.; CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D. K. *Atlas de rochas ornamentais da Amazônia brasileira*. CPRM, 2011, 292P.

MELO, K. A. Proposição de método de dosagem de concreto auto-adensável com adição de fíler calcáreo. Dissertação de Mestrado, UFSC, 2005.

MENDES FILHO, E. Uma Avaliação do Programa de Apoio ao Arranjo Produtivo Local da Pedra Cariri–Ceará. 2009, 103f. Dissertação (Mestrado Profissional em Economia do Setor Público) – Programa de Pós-graduação em Economia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

NEVES, G. de A. Reciclagem de Resíduos da Serragem de Granitos para uso como Matéria-Prima Cerâmica. Tese – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Processos. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.

NEVILLE, A. M. *Propriedades do Concreto*. 2ª. edição. Editora Pini. São Paulo, 1997.

OKAMURA, H. Self-compacting high performance concrete. *Concrete International*, v. 19, n. 7, p. 50-54, jul. 1997.

OLIVEIRA, E. G.; MENDES, O. Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: Estudo de caso da Resolução 307 do CONAMA. Universidade Católica de Goiás, Goiás, 2008.

OLIVEIRA, R. M. *Obras Interessantes na Construção Civil*. Projeto Final, Publicação ENC. PF-147/2011, Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, 92p. 2010.

- PEREIRA, T. Concreto autoadensável, de alta resistência, com baixo consumo de cimento Portland e com adições de fibras de lã de rocha ou poliamida. Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Carlos, 2010.
- REPETTE, W. L. Concreto autoadensável. São Paulo. In: IBRACON - Concreto: Ciência e Tecnologia. n. 48, p. 1169-1806, 2011.
- REPETTE, W. L. Concreto Autoadensável. Concreto: Ciência e Tecnologia. Vol. 2, 1a ed. São Paulo, IBRACON, 2011.
- SANTOS, Almai do Nascimento. Diagnóstico da situação dos resíduos de construção e demolição (RCD) no município de Petrolina (PE). Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Católica de Pernambuco ao curso de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.
- SANTOS, I. L. Uso de finos de resíduos de construção e demolição em concreto autoadensável. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Rio Alagoas, Maceió, 2008.
- SCHANKOSKI, R. A. Estudo de concreto auto-adensável contendo filer de britagem: características das partículas, floculação e reologia. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- SIDDIQUE, R.; KUNAL, E. Design and development of self-compacting concrete made with coal bottom ash. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 2015. v. 373, October, p.113. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21650373.2015.1004138>>.
- SKARENDAHL, A; PETERSSON, O. Self-compacting concrete State-of-the Art. In: Reporto f RILEM Technical Committee 174-SCC Self- Compacting Concrete. RILEM Publications, 2000.
- SOROKA, I.; SETTER, N. The Effect of Fillers on Strength of Cement Mortars. *Cement and Concrete Research*, v. 7 Issue4 pg. 449–456, 1977.
- SU, N.; HSU, K.C.; CHAI, H.W. A simple mix design method for self-compacting concrete. In: *Cement and Concrete Research*, n. 31, p. 1799-1807, 2001.
- TAKEUCHI, H.; HIGUCHI, M.; NANNI, A. Application of Flowable Concrete in a Tunnel Lining. *Concrete International*, v.16, n. 4, 1994, p.26-29.
- TÉCHNE REVISTA. Solução fluida. In: Revista Técnica, edição 132, ano 16, março de 2008.
- TUTIKIAN, B.F. DALMOLIN, D.C. Concreto auto-adensável, São Paulo, PINI, 2008.
- GOMES, P.C.C. Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete. 2002. 139p. Tese – Escola Técnica Superior D’Enginyers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, 2002.

TUTIKIAN, B. F. DAL MOLIN, Denise C. Concreto auto adensável. 1º ed. São Paulo:PINI,2008.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. Concreto autoadensável. 2ª ed. São Paulo. PINI, 2015.

TUTIKIAN, B. F. Método para dosagem de concreto Auto-adensáveis. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre. 2004.p.148.

VIDAL, F. W. H.; PADILHA, M. W. M. A indústria extrativa da Pedra Cariri no estado do Ceará: problemas x soluções. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4, Fortaleza, 2003, Anais... Rio de Janeiro: CETEM/SBG, 2003.

VIDAL, F. W. H.; PADILHA, W. M.; OLIVEIRA, R. R. Aspectos geológicos da bacia do Araripe e do aproveitamento dos rejeitos da Pedra Cariri–Ceará. IN:SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5. Anais..., p. 31-36, 2005.

ZORDAN, Sérgio Eduardo. A Utilização do Entulho como Agregado na Confeção do Concreto. Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Saneamento e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.