

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS CURITIBA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
TECNOLOGIA EM CONCRETO**

**ADRIANA PADILHA DOS SANTOS
NIVALDO LACHOWSKI JÚNIOR**

**ESTUDO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DA VIABILIDADE DO
EMPREGO DO PÓ DE MÁRMORE PARA A PRODUÇÃO DE
CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA - PR
2012**

**ADRIANA PADILHA DOS SANTOS
NIVALDO LACHOWSKI JÚNIOR**

**ESTUDO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DA VIABILIDADE DO
EMPREGO DO PÓ DE MÁRMORE PARA A PRODUÇÃO DE
CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de
Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em
Concreto do Departamento Acadêmico de Construção
Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná – UTFPR, Campus Curitiba-Paraná, como
requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Professor e Doutor Civil Wellington Mazer
Co-Orientador: Engº Maurício Bianchini

**CURITIBA - PR
2012**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
 Universidade Tecnológica Federal do Paraná
 Campus Curitiba
 Gerência de Ensino e Pesquisa
 Coordenação do Curso de Tecnologia em Concreto

FOLHA DE APROVAÇÃO

ESTUDO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DA VIABILIDADE DO EMPREGO DO PÓ DE MÁRMORE PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL

Por

Adriana Padilha dos Santos
 e
 Nivaldo Lachowski Junior

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Concreto, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 30 de maio de 2012, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. Orientador – Wellington Mazer
 UTFPR

Profa. Helena Akemi Umezawa
 UTFPR

Prof. Rodrigo Kanning
 IFET

UTFPR - Deputado Heitor de Alencar Furtado, 4900 - Curitiba - PR Brasil
www.utfpr.edu.br dacoc-ct@utfpr.edu.br telefone DACOC: (041) 3373-0623

OBS.: O documento assinado encontra-se em posse da coordenação do curso.

ADRIANA PADILHA DOS SANTOS

NIVALDO LACHOWSKI JÚNIOR

ESTUDO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DA VIABILIDADE DO EMPREGO DO PÓ DE MÁRMORE
 PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL. Curitiba, UTFPR, 2012, XX p.

Orientador Professor e Doutor Civil Wellington Mazer.

Co-orientador: Engº Maurício Bianchini.

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Curso de Graduação: Tecnologia em Concreto. Curitiba, 2012.

- 1- Conceito
- 2- Problemas
- 3- Soluções

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus, por estar sempre presente nos momentos mais difíceis desta caminhada.

A nossas famílias, pelo incentivo e compreensão nos momentos de ausências durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas e amigos, pelo companheirismo nos desafios que surgiram durante a jornada.

A todos os professores, especialmente ao professor, doutor civil, Wellington Mazer e a professora, engenheira civil, Elizabete Yukiko Nakanishi, por nos transmitir seus conhecimentos, pela confiança depositada e pelo empenho e grande participação no desenvolvimento deste trabalho.

Ao engenheiro Maurício Bianchini, por nos oferecer apoio e acreditar em nossa capacidade em desenvolver este estudo.

A concreteira Supermix Ltda, por ceder seus laboratórios e insumos, para que pudéssemos realizar os ensaios com qualidade e precisão.

A todos aqueles não mencionados que contribuíram direta e indiretamente para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Grande parte dos processos industriais são fontes geradoras de resíduos, prejudicando o meio ambiental. A utilização de resíduos industriais na Construção Civil apresenta-se como uma excelente alternativa para diminuição do impacto ambiental e contribuindo para o desenvolvimento sustentável, considerando que a Construção Civil é o setor da atividade tecnológica que consome grande volume de recursos naturais e parece ser um dos mais indicados para absorver os resíduos sólidos. O resíduo gerado a partir do beneficiamento de rochas (pó de mármore) é resultante do processo de serragem de blocos de rochas em placas. Na serragem, cerca de 25% a 30% do bloco é transformado em pó, que na maioria dos casos, é depositado nos pátios das empresas ou descartados de maneira clandestinas, como nas margens de estradas. Por esses problemas e devido o alto custo do CAA, foi feito esse experimento para analisar a viabilidade técnica do seu uso em concretos, com substituição em teores de 4% de pó de mármore em relação à massa de cimento. Para os concretos produzidos, foram avaliadas as propriedades do concreto endurecido (resistência à compressão axial), e parâmetros de durabilidade (absorção por imersão). A análise dos resultados permite concluir que o resíduo do corte do granito não apresenta riscos ambientais, que sua utilização como adição em concretos é viável tecnicamente, e que 4% de substituição apresenta melhor desempenho sem nenhuma interferência na resistência do concreto comparando com a sílica ativa.

Palavras-chave: Pó de Mármore para a Produção de Concreto Auto-adensável.

ABSTRACT

Most industrial processes are sources of waste, damaging the environmental. The use of industrial waste in Construction presents itself as an excellent alternative for reducing environmental impact and contributing to sustainable development, considering that the Construction is the sector of technological activity that consumes large volumes of natural resources and seems to be a best suited to absorb the waste. The residue generated from the processing of stone (marble powder) is resulting from the sawing blocks of rock plates, sawdust, about 25% to 30% of the block is transformed into a powder, which in most cases, is deposited in the courtyards of the companies disposed of or clandestine way, as in roadsides. For these problems and because of the high cost of the CAA, this experiment was done to investigate the feasibility of its use in concrete with replacement levels of 4% marble powder on the mass of cement. For the concretes were evaluated properties of hardened concrete (compressive strength) and durability parameters (absorption by immersion). The analysis shows that the residue of cut granite does not present risks that its use as an addition in concrete is technically feasible, and that 4% replacement performs better without any interference by comparing the strength of concrete with silica fume.

Keywords: Marble Powder for the Production of Self-compacting Concrete.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MICROSCOPIA DE PARTÍCULAS DE CIMENTO EM UMA SOLUÇÃO ÁGUA.....	14
FIGURA 2 - MECANISMO DE BLOQUEIO AGREGADO.....	18
FIGURA 3 - ENSAIO DO J-RING TEST EM CONJUNTO COM O SLUMP FLOW TEST.....	22
FIGURA 4 - V-FUNNEL TEST.....	23
FIGURA 5 - MEDIDAS DO U-BOX RECOMENDADAS.....	24
FIGURA 6 – MEDIDAS DO U-SHAPED PIPEL, EM MM, RECOMENDADAS E FORMA APÓS DESFORMA.....	26
FIGURA 7 – ENSAIO DE GRANULOMETRIA AREIA NATURAL.....	43
FIGURA 8 – ENSAIO DE GRANULOMETRIA AREIA ARTIFICIAL.....	43
FIGURA 9 – ENSAIO DE GRANULOMETRIA MESCLA 60% AREIA INDUSTRIAL E 40% DE AREIA NATURAL.....	45
FIGURA 10 – ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA BRITA CLASSIFICAÇÃO ZERO (4,74/12,5).....	46
FIGURA 11 – ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA BRITA CLASSIFICAÇÃO ZERO (4,74/12,5).....	52
FIGURA 12 – VERIFICAÇÃO DO ABATIMENTO ATRAVÉS DO TRONCO DE CONE.....	54
FIGURA 13 – ENSAIO SLUMP FLOW TEST EM ANDAMENTO – 1º TENTATIVA.....	54
FIGURA 14 – ENSAIO SLUMP FLOW TEST EM ANDAMENTO, SEM SEGREGAÇÃO, POREM COM MUITO AGREGADO GRAÚDO.....	55
FIGURA 15 – ENSAIO SLUMP FLOW TEST- VERIFICAÇÃO DE MEDIDAS.....	55
FIGURA 16 – CPS SUBMERSOS NO TANQUE DE ÁGUA.....	58
FIGURA 17 – ENSAIO T500 - MARCAÇÃO DOS CÍRCULOS DE 500mm E 200mm.....	58
FIGURA 18 – ENSAIO T500 - COLOCAÇÃO DO CONCRETO.....	58
FIGURA 19 – ENSAIO T500 - ESPALHAMENTO DO CAA.....	59
FIGURA 20 – MOLDAGEM DOS CPS SEM COMPACTAÇÃO.....	59
FIGURA 21.0 - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DOS CONCRETOS NAS IDADES DE 3 DIAS, 7 DIAS, E 28 DIAS - TRAÇO RICO	63

FIGURA 21.1 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO AXIAL DOS CONCRETOS NAS IDADES DE 3 DIAS, 7 DIAS, E 28 DIAS - TRAÇO INTERMEDIÁRIO.....	64
FIGURA 21.2 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DOS CONCRETOS NAS IDADES DE 3 DIAS, 7 DIAS E 28 DIAS – TRAÇO POBRE.....	65
FIGURA 21.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (FCK) EM COMPARAÇÃO COM A RESISTÊNCIA DE DOSAGEM DO CONCRETO (FCJ) EM 28 DIAS.....	66
FIGURA 21.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (FCK) EM COMPARAÇÃO COM A RESISTÊNCIA DE DOSAGEM DO CONCRETO (FCJ) EM 28 DIAS.....	66
FIGURA 21.4 CURVA DE ABRAMS – PÓ DE MÁRMORE.....	67
FIGURA 21.5 CURVA DE ABRAMS – SÍLICA ATIVA.....	68
FIGURA 21.6 - CURVA DE ABRAMS – SOBREPOSTAS.....	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CLASSES DE ESPALHAMENTO DO CAA EM FUNÇÃO DE SUA APLICAÇÃO.....	7
TABELA 2 - COMPONENTE DO CLINQUER, PERCENTUAIS E PROPRIEDADE..	12
TABELA 3 - CLASSIFICAÇÃO DAS ADIÇÕES.....	17
TABELA 4 - FAIXAS DOS PARAMETROS DE AUTO-ADENSAMENTO DO CAA...	27
TABELA 5 - DETERMINAÇÃO DA PROPORÇÃO ENTRE O MATERIAL FINO E O SUBSTITUÍDO.....	37
TABELA 6 - PROPORCIONAMENTO E PARÂMETROS DE DOSAGEM DOS CONCRETOS EXECUTADOS.....	39
TABELA 6.1 - PROPORCIONAMENTO (EM MASSA) E PARÂMETROS DE DOSAGEM DOS CONCRETOS EXECUTADOS.....	40
TABELA 7 – ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA AREIA NATURAL.....	42
TABELA 7.1 - ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA AREIA NATURAL.....	42
TABELA 8 - ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA AREIA ARTIFICIAL.....	43
TABELA 8.1 - ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA AREIA ARTIFICIAL.....	43
TABELA 9 - ANÁLISE DO ÍNDICE DE VAZIOS DA COMPOSIÇÃO DE AREIA.....	44
TABELA 9.1 - ENSAIO DE GRANULOMETRIA MESCLAS DAS AREIAS.....	45
TABELA 10 - ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA BRITA 0 (4,75/12,5).....	46
TABELA 10.1 - ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA BRITA 0 (4,75/12,5).....	47
TABELA 11 - CARACTERÍSTICAS DO CIMENTO EMPREGADO (FONTE: FABRICANTE).....	48
(TABELA 12 - CARACTERÍSTICAS SÍLICA ATIVA FONTE: FABRICANTE).....	49
TABELA 13 - CARACTERÍSTICAS DO RESIDUO.....	53
TABELA 14 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO PÓ DE MÁRMORE E COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	53
TABELA 15 - RESULTADOS T500.....	60
TABELA 16 - CONCRETO ENDURECIDO – PROGRAMA EXPERIMENTAL CONCRETO FRESCO.....	61
TABELA 17 - RESISTENCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO.....	62
TABELA 18 - COMPARAÇÃO DOS TRAÇOS RICOS.....	62
TABELA 19 - COMPARAÇÃO DOS TRAÇOS INTERMEDIÁRIOS.....	63
TABELA 20 - COMPARAÇÃO DOS TRAÇOS POBRES.....	65

TABELA 21 – COMPARAÇÃO DO F_{cj} COM O F_{ck} DO TRAÇO RICO.....	67
TABELA 22 - ABSORÇÃO DE ÁGUA EM CPs	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

µm: micrômetro.

ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland.

ACI: American Concrete Institute.

A/C: Fator Água /Cimento

A/AGL: Água / Aglomerante Baixa.

AM: Adições Minerais.

AMV: Aditivo Modificador de Viscosidade.

APR: Adições Predominantes Reativos.

API: Adições Predominantes Inertes.

CAA: Concreto Auto-Adensável.

CP'S: Corpos de Prova.

CCV: Concreto Convencional.

CADAR: Concreto Auto-Adensável de Alta Resistência.

D.M.C: Dimensao Máxima Característica.

F/C: Finos/Cimento.

Fck: Resistência a Compressão do Concreto Característico.

Fcj: Resistência de Dosagem do Concreto Prevista Em Idade`J` Dias.

EFNARC: Eureka Federation of Specialist Construction Chemicals And Concrete Systems.

NBR: Norma Brasileira Registrada.

RBMG: Resíduo do Beneficiamento de Mármore e Granito.

RS: Relação Quantificada da Segregação.

H₂O: Água.

kg/m³: Kilograma por Metro Cúbico.

M.F: Módulo de Finura

mm: Milímetro

MPa: Mega Pascal.

UTFPR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ZT: Zona de Transição.

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS.....	xi
SUMÁRIO.....	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações Iniciais.....	1
1.2 Justificativa.....	3
1.3 Objetivos	4
1.4 Descrições Sucintas da Monografia	4
2.0 REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS	8
2.1 Definições e Histórico.....	8
2.2 Materiais.....	9
2.2.1 Cimento.....	9
2.2.2 Agregados	10
2.2.3 Água.....	11
2.2.4 Aditivos Químicos.....	11
2.2.4.1 Superplastificantes	12
2.2.4.2 Modificadores de Viscosidade.....	13
2.2.4.3 Adições.....	14
2.3 Propriedades do Concreto Fresco.....	18
2.3.1 Ensaios para Avaliação da Trabalhabilidade do CAA.....	19
2.3.2 Slump Flow Test.....	17
2.3.3 Slump Flow T50 cm Test.....	19
2.3.4 J-ring Test	19
2.3.5 V-funnel Test	20
2.3.6 L-box Test	21
2.3.7 U-box Test.....	22
2.3.8 U-Shaped Pipe Test	23
2.4 Propriedades do Concreto Endurecido	25
2.5 Métodos de Dosagens.....	26

2.5.1 Método de Dosagem Proposto por Okamura	26
2.5.2 Método de Dosagens Proposto por Petersson ET AL (1996).....	27
2.5.3 Método de Dosagens Proposto pela EFNARC (2002)	27
2.5.4 Método de Dosagens Proposto por Araujo (2003)	29
2.5.5 Método de Dosagens Proposto por NAN SU ET AI (2001)	29
2.5.6 Método de Dosagens Proposto por Gomes (2002)	30
2.5.7 Método de Dosagens Proposto por Repette-Melo (2005)	31
2.5.8 Método de Dosagens Proposto por Tutikian (2004)	32
3.0 METODOLOGIA.....	37
3.1 Características do Concreto	37
3.2 Caracterizações dos Materiais	38
3.2.1 Caracterização Agregado Miúdo	39
3.2.2 Determinação da Composição Granulométrica do Agregado Miúdo.....	39
3.2.3 Determinação da Composição Granulométrica do Agregado Graúdo	44
3.2.4 Cimento.....	46
3.2.5 Sílica Ativa.....	47
3.2.6 Aditivos.....	48
3.2.7 Pó de Mármore.....	49
3.2.8 Ensaio com Concreto	51
3.2.9 Desenvolvimento do CAA.....	54
4.0 ANÁLISES E RESULTADOS	58
4.1 Concretos no Estado Fresco	58
4.2 Concretos no Estado Endurecido.....	59
4.3 Determinações de Absorção de Água em Concretos Endurecidos.....	68
5.0 CONCLUSÕES	69

1. INTRODUÇÃO

O concreto auto-adensável (CAA) teve sua origem no Japão. Pesquisadores de universidades japonesas, tais como OKAMURA (1999), pesquisaram um novo tipo de concreto devido à necessidade de se garantir estruturas mais duráveis, em consequência da carência de mão-de-obra qualificada para a execução do adensamento e para atender às exigências das estruturas com elevadas taxas de armadura (OKAMURA e OUCHI, 1999).

Seu primeiro protótipo foi elaborado em 1988 (OKAMURA e OUCHI, 1999). Em 1986 o professor OKAMURA apresenta suas idéias pela primeira vez em público durante uma reunião da associação japonesa de cimento (Japan Cement Association). Ele já tinha a idéia de desenvolver um concreto que não precisasse de nenhuma forma de vibração, ou seja, um concreto auto-adensável (CAA), a partir da tecnologia do concreto submerso que já existia na época (NUNES, 2001 e TAKADA, 2004).

O desenvolvimento do concreto auto-adensável marca um grande passo em direção a eficiência e as condições de trabalho nos canteiros de obras e na indústria de pré-moldados (GRUNEWALDG, 2004).

O CAA é capaz de auto nivelar-se dentro da fôrma e isso se deve a sua excelente trabalhabilidade, estabilidade e resistência à segregação. Por isso, estudar as propriedades quer sejam reológicas ou mecânicas se faz necessário para que se possa produzir concretos mais econômicos e mais eficientes.

1.1 Considerações Iniciais

O concreto auto-adensável é um concreto fluído que se adensa sob a ação única do seu peso próprio, eliminando a utilização de vibrador. Um concreto só será considerado auto-adensável, se três propriedades forem alcançadas: a fluidez, a coesão necessária para que a mistura escoe intacta entre barras de aço e resistência a segregação.

Fluidez é a propriedade que caracteriza a capacidade do CAA de fluir dentro da fôrma, passando por entre as armaduras sem obstrução do fluxo ou segregação dos materiais constituintes do CAA (FURNAS, 2004b).

Resistência à segregação é a propriedade que caracteriza a capacidade do CAA de se manter coeso ao fluir dentro das fôrmas, passando ou não por obstáculos (EFNARC, 2002, p.5).

O CAA possui os mesmos componentes dos concretos convencionais, seu diferencial é a elevada quantidade de aditivos superplastificantes e de grande teor de finos e ação coesiva dos modificadores de viscosidade.

Os aditivos superplastificantes permitem que se alcance alta fluidez na mistura, enquanto os aditivos modificadores de viscosidade oferecem um aumento da coesão, prevenindo-se com isto, a exsudação e segregação do concreto.

Sua resistência à segregação aliada à fluidez permite ainda a eliminação de defeitos macro, bolhas de ar e falhas de concretagens, que são diretamente responsáveis pelas perdas no desempenho mecânico do concreto e na durabilidade da estrutura (COPPOLA, 2000).

A adição de finos proporciona melhoria em diversas propriedades, tanto no estado fresco como no estado endurecido. Os finos atuam como pontos de nucleação, isto é, quebram a inércia do sistema fazendo com que as partículas de cimento sofram reação mais rápida com a água, ocasionando ganhos de resistência nas primeiras idades. Atuam ainda no aumento do pacote de finos fazendo com que haja um crescimento na densidade da pasta, dificultando a penetração de agentes agressivos e melhorando a zona de transição (TUTIKIAN, 2004).

Estes finos podem ser adições minerais ou fíleres, como o pó-de-brita, resíduo da britagem de rochas. Devido à grande quantidade de resíduo gerada e tentando contribuir para o desenvolvimento sustentável, o aproveitamento de resíduo de corte de granito na construção civil,

1.2 Justificativa

A necessidade de incorporação de uma nova classe de componente no CAA, responsável pela coesão, estimula a utilização de uma série de materiais, alguns, inclusive, já usados no concreto convencional CCV, como o filler, a sílica ativa e o metacaulim.

Dentre os diversos estudos de viabilidade do uso de materiais no CAA, observa-se a tentativa de vários autores como CALMON et al., (1997), NEVES et al., (1999), LIMA FILHO et al., (2000 – b), em utilizarem resíduos ou materiais que impactem o mínimo possível o ambiente. METHA (2008) esclarece que a tecnologia do concreto, para ser considerada não impactante à natureza, deve seguir três elementos básicos: a conservação da matéria-prima, uma durabilidade maior das estruturas e um planejamento holístico do processo.

O Resíduo de Corte de Mármore (RCM) é gerado em grande escala em muitas partes do Brasil, o mármore, é bastante empregado em edificações, como revestimento, pavimentações, entre outros. A produção dessa rocha é feita a partir da serragem, em chapas, de grandes blocos de pedra, em equipamentos chamados teares¹. Durante a serragem gera-se uma grande quantidade de resíduo, há também a utilização das sobras dos blocos, chamada de costaneira, em pavimentação e paisagismo.

Por isto justifica-se o estudo e análise da viabilidade do uso de um material classificado como um resíduo industrial para a produção de concretos, nesta pesquisa em concreto auto-adensável CAA.

1 Tear : Segundo STELLIN Jr. (1998), equipamento constituído de uma estrutura de sustentação formada por quatro colunas que suportam o quadro porta lâminas, estas são dispostas no sentido longitudinal do maior comprimento do bloco e tensionadas para manter o perfeito nivelamento, alinhamento e paralelismo entre si. O quadro imprime um movimento alternado, responsável pelo atrito entre as lâminas, o elemento abrasivo e o bloco a ser cortado.

1.3 Objetivos

O objetivo desta pesquisa aplicada é o de avaliar a viabilidade do uso do pó de mármore para a produção de concreto auto-adensável, de maneira que se possa avaliar e comparar a sua influência nas propriedades do concreto fresco e endurecido, apresentando resultados que possam nortear a utilização desse novo insumo, com vistas a sua provável aplicação na construção civil.

O objetivo específico desta pesquisa é comparar o CAA produzido com substituição de pó de mármore com o CAA produzido com adição de materiais já consagrados na produção desse concreto, como sílica ativa.

1.4 Descrições Sucintas da Monografia

O objetivo principal deste trabalho é o de avaliar a viabilidade do uso do pó de mármore para a produção de concreto auto-adensável, apresentando resultados que possam nortear a utilização desse novo insumo, com vistas a sua provável aplicação na construção civil.

Para atingir o objetivo, será feita a comparação do CAA com adição de pó de mármore com o CAA com adição de um mineral já consagrado para a produção desse concreto, a sílica ativa.

Os insumos utilizados são os mesmos disponíveis e empregados pelas diversas concreteiras, O pó de mármore será disponibilizado por uma empresa de mármore e granitos da região de Curitiba.

Conforme a etapa de revisão bibliográfica foi definida que o método de dosagem a ser utilizado será o IPT/EPUSP. Definido o método de dosagem e seguindo os objetivos a serem alcançados nesta pesquisa, foi feita a caracterização dos agregados miúdos e graúdos. Para os outros insumos foram utilizados os dados do fabricante para caracterização do cimento CP-IV Votoran, Aditivo Polifuncional da GRACE MIRA 34, para alcançar o slump desejado, e para fluidificar o concreto e torná-lo um auto-adensável foi utilizado o GLENIUN SCC

160 e adição de pó de mármore de uma empresa de corte de mármore e granitos da região de Curitiba.

A caracterização do agregado miúdo compreende os seguintes ensaios:

- a) Composição granulométrica, conforme NBRNM 248/03
- b) Massa específica real, conforme NBRNM 52/06
- c) Massa específica unitária no estado solto, conforme NBRNM 45/06

A caracterização do agregado graúdo compreende os seguintes ensaios:

- a) Composição granulométrica, conforme NBR NM 248/03
- b) Teor de materiais pulverulentos, conforme NBR NM 46/03

Primeiramente será produzido um traço experimental para nortear os parâmetros dos teores de adição (pó de mármore e sílica ativa). Posteriormente a conclusão desta fase será definida as três faixas de resistência (traço rico, médio e pobre) para cada material utilizado (sílica ativa e pó de mármore).

A execução dos traços seguirá o método de experimento fracionado, ou seja, um traço para cada material utilizado para uma mesma faixa de resistência, isto para garantir uma igualdade de condições para uma mesma faixa de resistência.

Os ensaios do CAA no estado endurecido serão: determinação de absorção de água, NBR 9778/05 e resistência à compressão axial, NBR 5739/07. Para estes ensaios serão moldados 2 corpos-de-prova padronizados 100 x 200 mm sem nenhuma compactação, por idade de rompimento, no caso, 3, 7 e 28 dias de idade. Após 24 horas os corpos-de-prova serão armazenados em tanques de cura rompidos em prensa calibrada.

Para os ensaios do CAA no estado fresco cabe salientar que, os ensaios para CAA foram normalizados em 2010.

Conforme cita a ABNT 15823-1/10: Parte 1: Classificação, Controle e Aceitação no Estado Fresco. Como em qualquer outro concreto convencional, foi feito o ensaio de abatimento de tronco de cone regido pela ABNT NBR NM 67,

Ensaio Slump Flow T500 cm Test, nome dado por autores de diferentes métodos de dosagens, hoje este ensaio foi normatizado e se refere à determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – método do cone de Abrans (T500).

Este ensaio é utilizado para medir a capacidade do CAA de fluir livremente sem segregar. A medida de sua fluidez é obtida pelo diâmetro do círculo formado pelo concreto de ensaio. Os equipamentos utilizados para a realização do teste são os mesmos do cone de Abrans, Diferença está na marcação de três círculos centralizado na base da placa metálica, o primeiro de 100 mm, segundo de 200 mm e o terceiro de 500 mm, para marcar o tempo um cronômetro.

O resultado do ensaio T500 é o espalhamento da massa de concreto, sem segregar, obtido pela média aritmética de duas medidas perpendiculares do diâmetro em milímetros e o tempo de escoamento não deve ser superior a 5 s, e é marcado a partir da marca de diâmetro de 200 mm que ultrapassa a marca de 500 mm segundo a tabela de classificação de espalhamento da ABNT 15823-1/10, que difere os diâmetros conforme cada aplicação do concreto.

TABELA 1 – CLASSES DE ESPALHAMENTO DO CAA EM FUNÇÃO DE SUA APLICAÇÃO.

Classes de espalhamento	Espalhamento mm	Aplicação	Exemplo
SF1	550 a 650	Estruturas não armada ou com baixas taxa de armadura e embutidos, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto com deslocamento livre. Concreto auto-adensável bombeado Estruturas que exigem uma curta distância de espalhamento horizontal do concreto auto-adensável.	Lajes Revestimento de túneis Estacas e certas fundações profundas

SF2	660 a 750	Adequada para a maioria das aplicações correntes	Paredes, vigas, pilares e outras.
SF3	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: ABNT NBR 15823 -1; 10

Foram normatizados outros ensaios como o ensaio do Anel J, ABNT NBR 15823-3 e a caixa L, ABNT NBR 15823-4, que mede a habilidade do concreto por passar por obstáculos, estes ensaios seriam pertinentes serem feitos, mas devido a contratempos deixaremos para trabalhos futuros.

O ensaio do funil V, ABNT NBR 15823-5 mede a viscosidade plástica, e se preocupa com a aparência superficial do concreto, seu acabamento final, Utilizado em concretos que ficam expostos, Como não é a preocupação deste trabalho, apenas estamos citando para conhecimento.

2.0 REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS

Neste capítulo será apresentada a definição de Concreto Auto-adensável e a relevância do estudo da incorporação de finos, a utilização de resíduo de corte de mármore e granito, a tecnologia empregada na obtenção do CAA, histórico, definição e materiais utilizados.

2.1 Definições e Histórico

Concreto Auto-Adensável é o concreto que possui a capacidade de se moldar nas fôrmas, preenchendo todos os vazios através da ação do seu peso próprio, sem a utilização de qualquer tipo de vibração.

A auto-adensabilidade do concreto no estado fresco é descrita como a habilidade de todo material preencher espaços e envolver as barras de aço e outros obstáculos, através e exclusivamente da ação da força da gravidade, mantendo uma homogeneidade adequada sem que ocorra a segregação (BOSILJKOV, 2003).

Segundo Noguchi et al. (1999), a habilidade do concreto fresco passar através de espaços estreitos ou obstáculos, é um dos principais fatores que influenciam na qualidade final do concreto endurecido, seja ele convencional ou auto-adensável.

Para a produção de concretos auto-adesáveis é necessária à utilização de superplastificantes para aumentar a fluidez, eventualmente há o uso de adições minerais (AM) e aditivos modificadores de viscosidade (AMV), para aumentar a coesão e a viscosidade da mistura.

Podem-se destacar os seguintes itens como vantagens do CAA:

- a) Reduz a mão-de-obra no canteiro;
- b) Melhora o acabamento final da superfície;
- c) Permite concretagens em peças de seções reduzidas;
- d) Pode obter um ganho ecológico, por pode utilizar resíduos industriais;

- e) Permite grande liberdade de formas e dimensões;
- f) Acelera a construção;
- g) Pode reduzir o custo final do concreto e/ou da estrutura.

Uma das desvantagens do concreto auto-adensável é o incremento no custo para a sua produção, quando comparado com um concreto convencional. As grandes causas para este acréscimo de custo são: a necessidade de controle rigoroso dos materiais componentes do concreto e a necessidade de um sistema de fôrmas extremamente estanques para não perder material na concretagem no período de fluidez deste concreto.

2.2 Materiais

Para a fabricação do CAA, são utilizados os mesmos insumos dos concretos convencionais.

2.2.1 Cimento

Cimento Portland é um aglomerante hidráulico, resultante da moagem do clínquer com pequena quantidade de sulfato de cálcio hidratado.

A adsorção do aditivo superplastificante pelas partículas de cimento ocorre preferencialmente nos aluminatos (Aluminato tricalcio C3A e ferro aluminato tetracálcio C4AF).

Porem a quantidade destes compostos deve ser moderado sob pena de ocorrência de uma adsorção não uniforme. O teor de C3A em massa deve ser inferior a 10 % da massa total do cimento (EFNARC. 2002). No Brasil, o cimento mais facilmente encontrado é o Cimento Portland Composto (CP II). Este é o mais comumente utilizado nas misturas de CAA, apresentando em sua composição o limite máximo de C3A é em torno de 8 % (ABCP, 2002).

O concreto auto-adensável possui um alto volume de pasta, necessitando de uma maior quantidade de cimento, em pesquisas já realizadas o consumo de

cimento varia entre 350 kg/m^3 e 550 kg/m^3 (EFNARC, 2002; GOMES, 2002; LISBOA, 2004; CAVALCANTI, 2006).

Para amenizar os efeitos colaterais provocados pelo alto teor de consumo de cimento, como a elevada temperatura interna do concreto, são utilizadas adições minerais reativas ou inertes, ou adaptado por modificações na composição dos compostos do cimento, como exemplo, a elevação do teor de belita forma impura do C₂S, que quando utilizado em maiores proporções diminui o calor de hidratação (GOMES, 2002).

TABELA 2 - COMPONENTE DO CLÍQUER, PERCENTUAIS E PROPRIEDADES

NOME	FÓRMULA	ABREVIATURA	% NO CLÍQUER	PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS
Silicato Tricálcico (Alita)	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₃ S	25 – 60	Endurecimento rápido Alto calor de hidratação Alta resistência inicial
Silicato Bicálcico (Belita)	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₂ S	15 – 20	Endurecimento lento Baixo calor de hidratação Baixa resistência inicial
Aluminato Tricálcico (Aluminato)	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C ₃ A	4 – 12	Pega muito rápida Alto calor de hidratação Baixa resistência inicial Alta retração
Ferro Aluminato Tetracálcico (Ferrita)	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C ₄ AF	8 – 12	Endurecimento lento Não contribui para a Resistência Cor escura
Cal Livre	CaO	C	5 – 8	Aceitável em pequenas Quantidades Maiores quantidades causam aumento de volume e fissura

Fonte: BATTAGIN e ESPER (1988)

2.2.2 Agregados

Para obtenção das propriedades de auto-adensabilidade do CAA exige misturas com elevado volume de pasta e reduzido volume e dimensão máxima característica do agregado graúdo. O tipo de agregado utilizado é similar àquele utilizado na maioria dos concretos convencionais.

Para o agregado miúdo, todas as areias podem ser utilizadas, contanto que isentas de agentes nocivos e impuros.

É importante salientar a necessidade de se fazer um rigoroso controle de umidade dos agregados para a obtenção do CAA (EFNARC, 2002).

Os agregados devem atender as mesmas exigências normativas de quando são usadas no concreto convencional.

Partículas menores que 0,125 mm devem ser considerados como fazendo parte do conteúdo de finos da mistura, pois influenciam no comportamento reológico do CAA.

Além da dimensão máxima do agregado, a forma e a distribuição granulométrica são bastante importantes e afetam a compactação e o índice de vazios do concreto.

2.2.3 Água

Elevada quantidade de água pode provocar a segregação da mistura além de prejudicar na resistência do concreto, para o CAA, parte da água pode ser substituída pelo aditivo superplastificante.

Dependendo do método de dosagem utilizado, a relação de água/finos pode apresentar valores diferenciados, esses concretos dependem mais da relação água/finos do que a relação água/aglomerante.

O tipo de superplastificante influencia no fator água/aglomerante e água/finos, pois são responsáveis por reduzir a quantidade de água, mantendo a mesma trabalhabilidade.

2.2.4 Aditivos Químicos

Segundo NEVILLE (1997), embora não sejam de uso obrigatório, assim como o cimento, os agregados e a água, os aditivos são um componente importante usados amplamente e de forma crescente. Em grande parte dos países industrializados, considera-se uma exceção um concreto que não faz uso de aditivos.

O grande crescimento no uso de aditivos se deve às melhorias físicas e econômicas que esse material proporciona ao concreto, melhorias estas que

possibilitam o uso do concreto em condições nas quais se tornaria impossível o uso do concreto sem aditivos. No CAA, os aditivos químicos mais largamente utilizados são os superplastificantes e os modificadores de viscosidade.

2.2.4.1 Superplastificantes

São aditivos conhecidos como redutores de água de alta eficiência, por serem capazes de reduzir o teor de água quatro vezes mais para uma mistura, quando comparados com aditivos plastificantes.

São tensoativos, quer dizer, diminuem a tensão superficial, de cadeia longa, massa molecular elevada, e um grande número de grupos polares na cadeia do hidrocarboneto (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Pode ser incorporado até 1% de superplastificantes em relação à massa de cimento, sem causar exsudação excessiva e retardamento de tempo de pega, apesar de a consistência ser da ordem de 200 a 250 mm de abatimento. É a dimensão coloidal das partículas de cadeia longa do aditivo, que provavelmente, obstruem os canais de fluxo de água de exsudação do concreto, de modo que a segregação não é observada em concretos com esse aditivo.

A excelente dispersão das partículas de cimento na água (Figura 1) parece acelerar a taxa de hidratação, assim é comum ocorrer aceleração da pega e do endurecimento (CAVALCANTI, 2006).

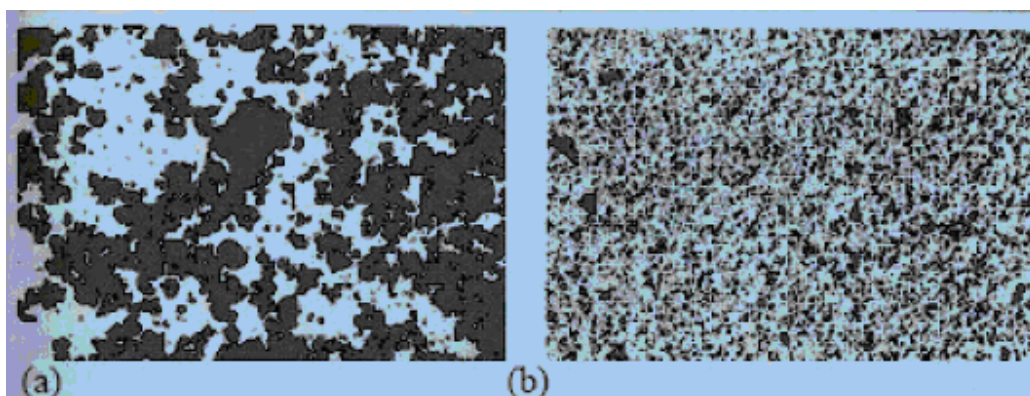


Figura 1 – Microscopia de partículas de cimento em uma solução água/cimento. (a) aditivo superplastificante (b) com aditivo superplastificante (MEHTA&MONTEIRO, 1994).

Os aditivos superplastificantes podem ser de 2º geração e de 3º geração. Os de 2º geração são constituídos de polímeros sintéticos sulfenados e os de 3º geração são os policarboxilatos, também conhecidos como poliacrilatos, são capazes de promover um efeito bastante eficiente na repulsão dos grãos de cimento.

Para Nunes (2001), os superplastificantes mais recomendados para a produção do CAA, são os de 3º geração, pois permite uma maior redução de água, maiores resistências iniciais e manutenção de fluidez por um tempo prolongado.

A adição de superplastificantes em pastas, argamassas e concretos alteram as propriedades e características das misturas, como maior fluidez, menor tempo de pega, diminui a retração e a segregação, regula a exsudação, morfologia dos hidratos, hidratação, diminui a porosidade (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Porém a utilização desses aditivos sem controle e conhecimento pode trazer conseqüências negativas ao concreto. Para que os efeitos provocados pela adição do superplastificante sejam satisfatórios, devem ser feito um estudo prévio de compatibilização e uma adequada caracterização dos materiais empregados (RONCERO, 2000).

2.2.4.2 Modificadores de Viscosidade

Aditivos modificadores de viscosidade (AMV) são os aditivos usados para aumentar à coesão e estabilidade de compostos a base de cimentos (argamassas, grautes e concretos); características estas conseguidas através do aumento da viscosidade da água da mistura e da capacidade da pasta de cimento em manter seus constituintes em suspensão.

É comum encontrar na literatura de referência os AMV, como sendo polissacarídeos solúveis em água (LACHEMI et al. 2004).

Os AMV's são utilizados associados com outros aditivos, como os redutores de água de alta eficiência ou plastificantes para que se possa obter

concretos fluidos, porém coesos. O AMV interage com a mistura evitando a sua segregação (SARIC-CORAC et al.2003).

Os vários tipos de AMV's solúveis em água, formam soluções viscosas que ligam quimicamente com uma certa quantidade de água na pasta de cimento fresco, aumentando dessa forma a viscosidade e a tensão de escoamento de compostos a base de cimento.

A amplitude do aumento da viscosidade da água depende do tipo e da concentração do AMV, bem como da taxa de cisalhamento aplicada (KHAYAT, 1998).

Aumentando a dosagem de AMV, resulta no aumento da viscosidade. Compostos modificadores com AMV exibem um comportamento de afinamento de cisalhamento, onde a viscosidade aparente decresce rapidamente com o aumento da taxa de cisalhamento.

2.2.4.3 Adições

Adições inertes e reativas são comumente usadas para melhorar a coesão e resistência à segregação. As adições também regulam a quantidade de cimento para reduzir o calor de hidratação e retração (EFNARC, 2005).

Segundo Cavalcanti (2006), as adições podem ser classificadas como predominante inerte (API), ou predominantemente reativo (APR), de acordo com a sua ação no concreto.

As APRs contribuem para a formação dos hidratos, como a cinza volante, cinza de arroz, escória de alto forno, sílica ativa e metacaulim.

As APIs provocam uma ação física proporcionando uma estrutura com maior compacidade, como os fileres de calcário quartzo e o resíduo do beneficiamento de mármore e granito (RBMG).

De acordo com EFNARC (2005), as adições são classificadas de acordo com suas capacidades reativas com a água, conforme tabela abaixo:

TABELA 3 - CLASSIFICAÇÃO DAS ADIÇÕES (EFNARC, 2005) ADAPTADA		
Tipo I	Inertes ou Semi-inertes	Fileres de agregados (calcários, dolomíticos ou gramilíticos) Pigmentos
Tipo I	Pozolamicas	Cinza Volante, conforme a EM 450-1
		Silica ativa, conforme a EM 13263-1
Tipo I	Hidráulicas	Escória de Alto Forno

No caso do CAA, os materiais finos podem ser diversos e devem ser escolhidos após uma análise técnica e econômica, pois existem vários materiais, que são resíduos de indústrias, de mais baixo custo e que teriam de ser tratados respeitando legislações ambientais.

A incorporação de adições minerais no concreto em geral resulta na produção de materiais cimentícios com melhores características técnicas, já que modificam a estrutura interna da pasta de cimento hidratada. Essas adições reduzem a porosidade capilar do concreto, responsável pelas trocas de umidades, íons e gases com o meio, e segundo Monteiro (1993); as adições melhoram a interface pasta-agregado e conseqüentemente reforçam a zona preferencial de ruptura.

A colocação de adições finamente divididas no concreto interfere na movimentação das partículas de água em relação aos sólidos da mistura, reduzindo ou eliminando o acúmulo de água livre que fica retido sob os agregados e diminuem a espessura da zona de transição pela redução da exsudação, as adições preenchem os vazios deixados pelas partículas de cimento próximo a superfície do agregado.

Todas essas propriedades fornecem uma melhora significativa na zona de transição oferecendo um aumento de desempenho do concreto sob o ponto de vista mecânico como o de durabilidade.

2.3 Propriedades do Concreto Fresco

Os concretos auto-adensáveis quando fresco, devem apresentar uma elevada fluidez, moderada viscosidade e coesão entre os componentes, a fim de garantir um fluxo contínuo e uniforme de toda a mistura; preenchendo toda fôrma sem apresentar segregação e sem que se produza bloqueio entre as armaduras ao passar por algum obstáculo.

Qualquer mudança no trajeto do agregado em torno de um obstáculo pode resultar na formação de um arco estável de agregados, bloqueando a fluidez do restante do concreto.

O arqueamento acontece quando existem grande quantidade de agregado graúdo e sua forma afasta-se da esférica.

Na figura 2, apresenta o mecanismo de bloqueio do agregado graúdo através de um modelo ilustrativo bidimensional.

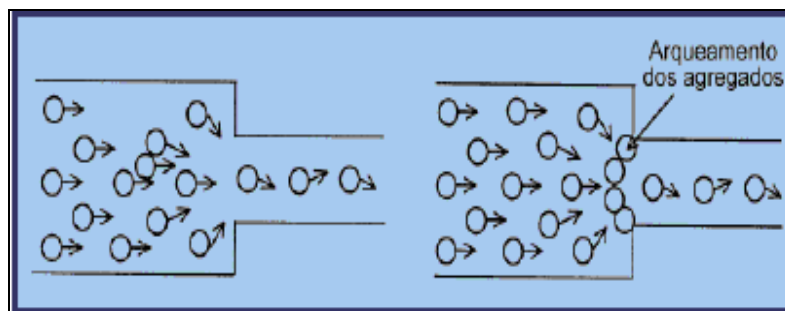


Figura 2 – Mecanismo de Bloqueio do Agregado

(Fonte: TAKADA&TANGTERMSIRIKUL, 2000, adaptado).

Segundo Gomes (2002), a estabilidade ou resistência à segregação é a propriedade que caracteriza a capacidade do CAA de evitar a segregação de seus componentes, como o agregado graúdo. Essa propriedade melhora a uniformidade da mistura durante o transporte e lançamento e término da concretagem.

2.3.1 Ensaio para Avaliação da Trabalhabilidade do CAA

Para avaliação da trabalhabilidade do CAA foram desenvolvidos ensaios seguindo as seguintes normas: NBR 15823-1, NBR 15823-2, NBR 15823-3, NBR 15823-4, NBR 15823-5, NBR 15823-6.

Existem várias divergências no meio técnico quanto às especificações e medidas, pois o mesmo aparelho pode apresentar diferenças entre uma publicação e outra, a grande maioria dos autores utiliza os mesmos testes, porém com medidas e intervalos diferentes, como será mostrado na descrição de cada um.

EFNARC (2002) enumera alguns pontos que devem ser levados em consideração na avaliação da trabalhabilidade do CAA:

Uma das dificuldades de utilizar estes testes é a dificuldade que se tem de medir as três propriedades requeridas no CAA, e nenhum teste é capaz de medir isoladamente todos os três itens;

a) Não existe uma relação clara entre os resultados experimentais e o canteiro de obras;

b) Os testes e limites são previstos para concretos com agregado graúdo de diâmetro Máximo de 20 mm caso seja necessário diâmetro maior, os equipamentos devem ser ajustados;

c) Não se considera o tipo de elemento em que o concreto será lançado – se em estruturas horizontais ou em verticais;

d) Da mesma forma, os equipamentos devem ser ajustados caso as armaduras sejam muito densas.

e) Muitos desses pontos são discutíveis ou pode ser solucionado, apenas um aparelho não é capaz de medir todas as propriedades já demonstradas, e como as dimensões dos aparelhos não são grandes podem-se realizar dois ou três testes, tanto no laboratório como no canteiro de obras.

2.3.2 Slump Flow Test

Este tipo de ensaio é utilizado para medir a capacidade do CAA de fluir livremente sem segregar, foi desenvolvido para avaliar os concretos submersos. A medida de sua fluidez é obtida pelo diâmetro do círculo formado pelo concreto de ensaio.

Nos concretos convencionais a trabalhabilidade é medida pelo tronco de cone (NBR NM 67) ou pela determinação da consistência pelo espalhamento da mesa de Graff (NBR NM 68), a qual é aplicável para misturas que atinjam o espalhamento mínimo de 350 mm limitado no seu tamanho da mesa, 700 mm.

Pode-se afirmar, que o slump flow test é uma adaptação destes dois ensaios para um concreto excessivamente fluido.

O slump flow test pode ser executado por uma pessoa e exige poucos materiais, podendo ser realizado também em canteiros de obras não somente em laboratórios. Para realização desse ensaio é necessária uma placa quadrada metálica de 1000x1000 mm, a placa deve ser de material que não absorva água e nem provoque atrito com o concreto, e por um tronco de cone com as mesmas características da base.

Sobre o centro da base deve-se marcar um círculo de diâmetro interno menor de 100 mm e diâmetro maior de 200 mm para a colocação do tronco cone, que deve ser de 300 mm de altura, diâmetro o interno menor de 100 mm e diâmetro maior de 200 mm, fazem-se necessário uma espátula, uma concha côncava e uma trena para medir o espalhamento do concreto.

Durante a realização do ensaio deve ser observado se houve ou não a segregação, um espalhamento muito baixo indica que o concreto está pouco fluido, devendo o material ser fluidificado com água ou aditivos, se a medida estiver elevada deve-se tornar o concreto mais coeso.

Essas adições devem ser feitas em cima do traço estipulado e adicionado apenas o volume necessário para o acerto do mesmo.

2.3.3 Slump Flow T50 cm Test

Este tipo de ensaio é uma variação do slump flow test, pois os equipamentos utilizados para a realização do teste são os mesmos. A única diferenciação é a marcação do círculo de 500 mm de diâmetro centralizado na base da placa, e a utilização de um cronômetro para marcar o tempo e duas pessoas para a execução do mesmo.

O slump flow T50 é realizado simultaneamente com o slump flow test, assim que o cone é erguido verticalmente, o segundo operador deve acionar o cronômetro e marcar o tempo em que o concreto alcança a marca dos 500 mm. Se o tempo for abaixo, indica que o concreto está muito fluido, se o tempo for alto, indica que o concreto está muito coeso e deve em ambos os casos ser corrigido.

2.3.4 J-ring Test

O j-ring test é uma complementação do slump flow test, do orimet test ou até mesmo do v-funnel test, porque esses testes tentam simular as armaduras de uma estrutura real como mostra a figura 3.

Este teste é constituído por um anel de barras de aço espaçadas conforme a armadura real que se deseja simular, normalmente o diâmetro é de 300 mm, a altura é de 100 mm e o espaçamento entre barras deve ser maior que três vezes o diâmetro Máximo do agregado graúdo.

Para executar esse teste são necessários dois operadores, o anel metálico, o tronco de cone e base do slump flow test, um cronômetro, uma trena, uma concha côncava e uma espátula.

Durante esse ensaio é possível verificar visualmente a segregação, pois o graúdo se desprende da argamassa quando flui as extremidades ou quando passar pelo j-ring significa que a mistura não está coesa o suficiente, necessitando de ajustes, o valor do ensaio é a diferença de altura entre o concreto imediatamente interior e imediatamente exterior ao anel, e não pode exceder 10 mm (EFENAC, 2002).

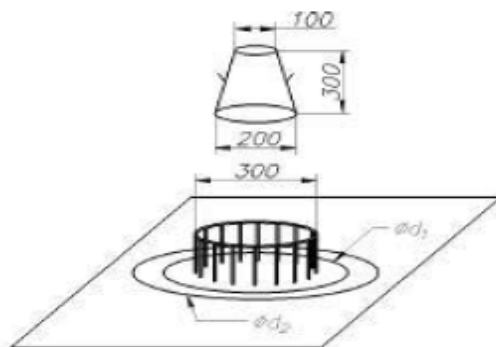


Figura 3 – Ensaio do J-ring Test em conjunto com o Slump Flow Test (Fonte: EFENAC, 2002)

2.3.5 V-funnel Test

Desenvolvido por Ozawa, este equipamento mede a fluidez do concreto, sendo apropriado para agregados graúdos de diâmetro máximo de 20 mm assim como o slump flow test e o slump flow T50cm test. A figura 5, adaptada de Gomes (2002), mostra duas possibilidades do aparelho, enquanto a fig. ilustra um dos equipamentos utilizados no laboratório. O equipamento retangular deve existir uma porta, que pode ser deslizante ou de dobradiça para que mantenha o concreto no interior do aparelho e seja aberta para iniciar o ensaio. A medida é o tempo que o material leva para escoar do funil (GOMES, 2002).

Pode-se preencher o funil novamente e esperar 5 minutos para a repetição do procedimento, para que se teste à resistência a segregação, sendo que se o CAA estiver segregando, o tempo de escoamento aumentará significativamente, deve-se levar em conta que o aparelho é muito simples e não se sabe se tem alguma influencia provocada pelo ângulo interno e as paredes do aparelho e se isso interfere na fluidez do concreto.

Para desenvolvimento do ensaio é necessário um funil, uma espátula, uma concha côncava e um cronômetro. Como é do procedimento acionar o cronômetro no exato momento em que a porta do aparelho é aberta, fazem se necessário dois operadores, assim como uma base para deixar o equipamento suspenso.

O tempo que o concreto leva para esvaziar completamente o funil é o resultado desse ensaio.

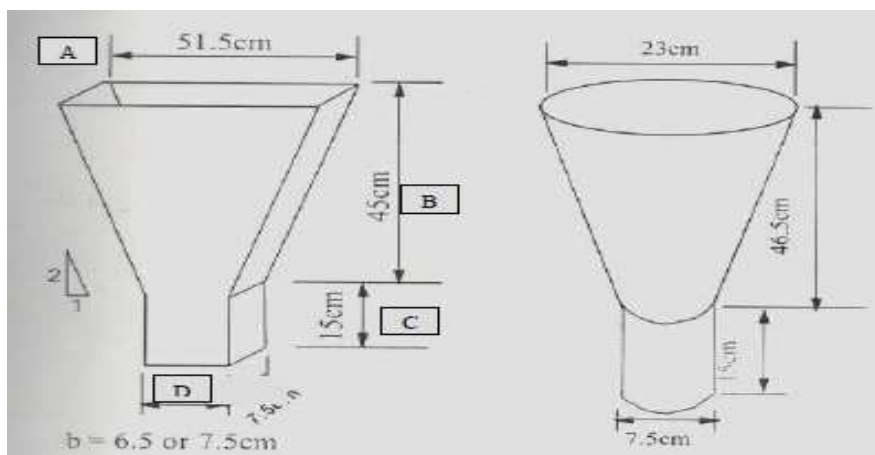


Figura 4 – V-funnel Test (fonte: GOMES, 2002)

2.3.6 L-box Test

O ensaio do L-box mede a fluidez do concreto e a capacidade de passar por obstáculos e permanecer coeso. Este equipamento é uma caixa em forma de "L" com porta móvel separando a parte vertical da horizontal e junto com a divisória, barra de aço que simulam a armadura real da estrutura, criando um obstáculo a passagem do concreto, sendo que o espaçamento e a bitola das barras de aço dependem das condições reais de onde o concreto será aplicado (GOMES, 2002).

Muitos autores afirmam que o ideal seria que as armaduras fossem escolhidas para cada situação e que a única parte fixa do equipamento fosse padronizada.

Além da caixa em "L" é necessária uma espátula, uma pá côncava, uma trena e se desejado um cronômetro para medição do tempo em que o concreto chega aos 20 cm e aos 40 cm, que devem ser marcados no aparelho. Nem sempre se faz necessário a cronometragem do tempo sendo que, o período é pequeno e de difícil marcação, devido às dimensões e características é recomendado seu uso em laboratório, devido à dificuldade de execução desse ensaio.

2.3.7 U-box Test

Desenvolvido pela Technology Research Centre of the Taise Corporation in Japan, o U-box, também serve para medir a fluidez do concreto e a sua capacidade de ultrapassar obstáculos sem segregar. Na figura 7, ilustra dois compartimentos separados por um portão móvel e barras de aço com diâmetro de 12,5 mm espaçadas entre si em 40 mm. Como no L-box as armaduras também devem ser projetadas conforme as necessidades reais de aplicação (EFNARC (2002, p.27 e 28).

Quando o concreto passa de um compartimento para outro, sofre uma resistência ao movimento e quanto mais íntegro e coeso passar sem se segregar mais auto-adensável se mostrará.

Esse equipamento é de difícil confecção e depois de pronto muito frágil, dependendo do material usado, dificultando sua utilização em canteiros de obras.

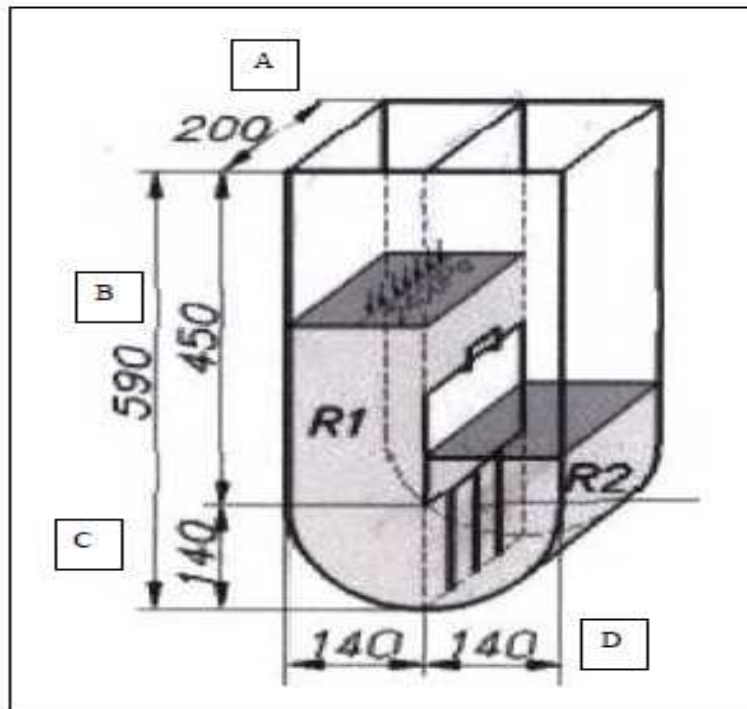


Figura 5 – Medidas do U-box recomendadas (Fonte: EFNARC, 2002).

2.3.8 U-Shaped Pipe Test

Este procedimento foi desenvolvido por GOMES (2002) para mensurar a segregação de um CAA. Um concreto é resistente à segregação quando a distribuição dos agregados graúdos se faça de maneira uniforme em todos os lugares e níveis, ou seja, ele não pode segregar nem há vertical e nem na horizontal (GOMES, 2002).

Uma das vantagens desse método é que é muito simples e fácil de construir, mas apenas concretos fluidos podem ser analisados nesse equipamento, e o tempo de duração depende do início de pega do aglomerante.

O equipamento é composto por três tubos de pvc de diâmetro interno de 150 mm, conforme figura 6, o primeiro e o terceiro tubo medem 570 mm de comprimento, e o segundo mede 800 mm, todos são serrados ao meio e presos com braçadeiras metálicas para que possam ser abertos sem danificar o concreto que está no interior, aproximadamente 32 litros da mistura são necessários para o teste, que é a comparação entre três corpos de prova retirados de três locais diferentes do “U”.

São necessários pelo menos dois operadores, o equipamento de pvc, uma base de madeira para firmar os tubos, uma trena, uma pá côncava, uma serra, uma balança e uma peneira de 5 mm. Deve-se colocar o concreto até o topo, acredita-se que esse caminho representa as condições reais que podem ocorrer em uma obra.

Após o preenchimento dos tubos, espera-se cerca de três horas, tempo necessário para não desmanchar, caso não ocorra pega total – e coloca-se o equipamento na horizontal para separar as duas partes do tubo.

Assim retiram-se as três amostras de 10 cm de comprimento e, na peneira de 5 mm, lavam-se as amostras para que ocorra a segregação dos constituintes e seja possível obter o agregado graúdo limpo. Deve-se usar papel toalha para secar a superfície das amostras para que a massa seja determinada.

Se a relação R_s for menor que 90%, significa que o concreto está segregando, sendo necessário à adição de materiais finos ou aditivo modificador de viscosidade para dar maior coesão à mistura.

Após a extração dos exemplares, pode-se deixar o restante do concreto endurecer para dividir os pedaços ao meio e analisar visualmente a segregação, porque o bom CAA partido ao meio deve ter os agregados graúdos distribuídos uniformemente.

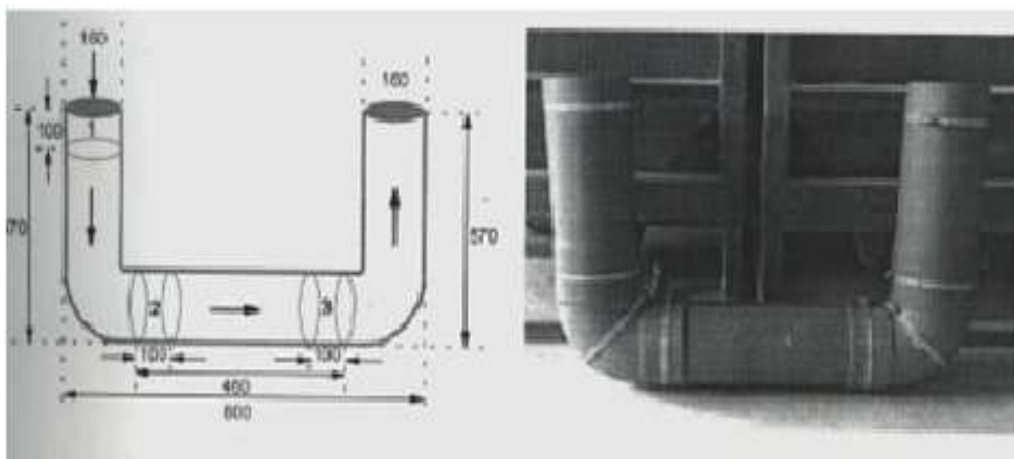


Figura 6 – Medidas do U-shaped pipel, em mm, recomendadas e forma após desforma. (Fonte: GOMES, 2002).

Na tabela 4 apresentam alguns parâmetros que asseguram o auto-adensamento do concreto que devem ser seguidos.

TABELA 4 - FAIXAS DOS PARAMETROS DE AUTO-ADENSAMENTO DO CAA			
Propriedades	Ensaio	Parametros	Faixa Ideal
Capacidade de preenchimento	Teste de espalhamento	D_F	60 a 75 cm
		T_{50}	3 a 7 s
	Funil V	T_V	6 a 13 s
	Orimet	T_O	0 a 5 s
Capacidade de passagem	Caixa-L	T_{L20}	≤ 2 s
		T_{L40}	≤ 4 s
		$RB = H_2 / H_1$	$\geq 0,80$
	J-Ring Test	BS_J	0 a 10 mm
	Caixa-U	$R_1 - R_2$	0 a 30 mm
Estabilidade à segregação	Tubo-U	$RS = M_1 / M_2$	$\geq 0,90$
	Funil-V após 5 minutos	$T_V, 5$ mm	> 3 s

2.4 Propriedades do Concreto Endurecido

O concreto auto-adensável se for dosado com alto teor de cimento, apresentará fissuração, alto calor de hidratação e terá sua pega inicial retardada se o teor do aditivo superplastificante for excessivo.

Resultando em um módulo de elasticidade baixa e uma alta probabilidade de retração plástica e se for dosado com baixo consumo de agregado graúdo.

O resultado do valor do módulo de elasticidade do CAA é menor, comparado com o CCV, o módulo de elasticidade do CAA, pode ser 20% menor comparado ao concreto CCV, de mesma resistência à compressão e feito dos mesmos agregados.

No concreto convencional temos que nos preocupar com seu adensamento ou compactação para termos um concreto de boa qualidade.

Neville (1982) afirma que a qualidade do concreto é quase sempre posta em prova, especialmente no que diz respeito à permeabilidade.

Além dos poros da pasta de cimento e dos agregados, o concreto possui vazios causados por adensamento incompleto como por exsudação.

Esses vazios ocupam de 1 a 10 % do seu volume, sendo que misturas com valores de 10 % são as que têm muitas falhas e suas resistências muito baixas.

O lançamento do CAA é o que requer menos habilidade ou mão de obra especializada para que o concreto apresente-se de maneira uniforme e denso, devido à melhor qualidade de lançamento do CAA, normalmente as propriedades no estado endurecido são similares ou superiores aos dos CCVs equivalentes.

Podemos dizer que o adensamento e a durabilidade do concreto são muito mais garantidos com a utilização do CAA, uma vez que reduz o potencial de erro humano durante o adensamento. O CAA apresenta resistências similares ao do CCV, quando utilizados os mesmos materiais e relações água/cimento. A resistência à tração é também similar a da mesma classe de resistência de um CCV, assim como a retração por secagem (GOO-DIER, 2003) para consumos de cimento e de agregados graúdos equivalentes.

2.5 Métodos de Dosagens

Um dos pontos críticos no desenvolvimento do CAA são os métodos de dosagens utilizados, alguns já defasados por terem sido propostos antes que se iniciasse a utilização de aditivos superplastificantes a base de policarboxilatos e baseados em conceitos duvidosos.

O resultado é que as primeiras misturas de CAA e as atuais que ainda utilizam esses métodos eram antieconômicas e também apresentavam uma série de problemas, como os baixos valores de módulos de elasticidade (TUTIKIAN & DAL MOLIN, 2007).

Em 2004, foi proposto um novo método conhecido como Método TUTIKIAN (2004), este método foi testado e utilizado em aplicações reais e constatou-se que alguns pontos poderiam ser melhorados, e um novo método surgiu e ficou conhecido pelo método de TUTIKIAN & MOLIM (2007), com tais métodos e outros propostos como GOMES (2002) e MELO-REPPETE (2005), constatou-se que teríamos materiais suficientes para se dosar um CAA econômico e com propriedades satisfatórias no estado endurecido.

Veremos a seguir alguns métodos já utilizados em tempos passados e o método TUTIKIAN (2004), no qual se baseia esta pesquisa.

2.5.1 Método de Dosagem Proposto por Okamura

Acredita-se que este método foi um dos primeiros métodos a surgirem para o concreto auto-adensável, onde se limita na quantidade de agregados, baixa relação água/cimento e altas dosagens de aditivos superplastificantes.

Neste método considera-se que o concreto se divida em duas etapas: argamassa e agregado graúdo, onde o volume de agregado foi limitado em 50 % do volume total do concreto e a quantidade de miúdo foi limitada em 40% do volume total do concreto.

A dosagem do superplastificante e a relação a/c são obtidas através de testes de argamassa, onde a capacidade de fluir e a viscosidade exigida para a

argamassa são alcançadas pela variação do consumo de superplastificantes e da relação a/c.

A dosagem de aditivo superplastificantes e a relação a/c não foi quantificada, OKAMURA (1997) apenas especifica que a relação a/c deve se situar entre 0,90 e 1,00 em volume dependendo das propriedades dos finos, enquanto o aditivo é determinado experimentalmente, ate apresentar características esperadas.

Para OKAMURA verificar a auto-adensabilidade do CAA, ele utilizou os ensaios de u-box, v-funil e o slump flow, e caso a mistura precisasse de ajustes, os testes para a medição das propriedades da argamassa e caracterização dos materiais deveriam ser feitos no slump flow e o v-funil em escalas reduzidas.

Estes ensaios testam à deformidade e a viscosidade do concreto e da argamassa.

2.5.2 Método de Dosagens Proposto por Petersson ET AL (1996)

Este método baseia se no método de OKAMURA, no qual consiste na determinação de um esqueleto granular e um volume mínimo de pasta que garanta boa capacidade de passar no L-box.

O fino utilizado são partículas menores do que 250 μm e o conteúdo de água e de superplastificantes são ajustados para alcançar a resistência à compressão desejada, obter a viscosidade suficiente e produzir baixa pressão.

2.5.3 Método de Dosagens Proposto pela EFNARC (2002)

Utiliza-se do método de dosagem proposto por OKAMURA (1995), estabelece as seguintes etapas:

- Fixação de um teor de ar incorporado
- Determinação do volume de agregado graúdo.
- Determinação do consumo de areia.

- Composição da areia.
- Determinação da relação ótima água/finos e teor de apresentados para verificar se o concreto obtido apresenta as propriedades de preenchimento, de escoamento e adequada resistência à segregação.

Para EFNARC a composição da CAA deve seguir os seguintes parâmetros:

- Finos são todas as partículas inferiores a 0,125mm, cimento, adições e finos da areia. Recomenda-se que o volume total de finos seja de 160 a 240 dm^3/m^3 .
- Agregado Graúdo ou pedra é a parcela de agregado de dimensão superior a quatro mm, e recomenda-se que o volume total de pasta seja no mínimo 400 dm^3/m^3 .
- A argamassa é a pasta mais areia.
- O consumo de cimento esta entre 350 e 450 kg/m^3 .
- A relação volumétrica água finos, esta entre 0,80 e 1,10.
- O volume total de água não excede 200 L/m^3 .
- A relação volumétrica areia/pasta é de no máximo 0,5.
- A relação volumétrica de ar incorporado pode ser estabelecida em 2%, ou seja, o volume de ar pode ser igual a 20 dm^3/m^3 .
- O consumo de agregado graúdo deve ser em torno de 50 a 60 % do agregado total.
- O volume de areia da argamassa deve estar entre 40% a 50%.

A própria EFNARC (2002) ressalta que podem ocorrer algumas divergências com os resultados dos parâmetros apresentados acima.

2.5.4 Método de Dosagens Proposto por Araujo (2003)

Araújo com esta metodologia segue as orientações da EFNARC (2002), a qual é baseada no método de dosagem de OKAMURA (1995).

Esta metodologia consiste na utilização de um programa computacional que foi desenvolvido baseado na metodologia de EFNARC (2002) para obtenção dos quantitativos dos materiais a partir dos parâmetros de entrada: volume de brita, relação pedra/areia, relação água/finos, para certo consumo de cimento e certa porcentagem de superplastificante. A partir do programa é obtido um traço inicial que procura satisfazer a certas condições discutidas no EFNARC (2002).

As etapas dessa metodologia serão descritas a seguir:

- Caracterização dos materiais.
- Verificação da compatibilização do cimento com o superplastificante.
- Obtenção de uma dosagem inicial que obedeça a certas relações entre os componentes do concreto.
- Ajustes da relação água/finos.
- Ajustes da argamassa introduzindo-se o superplastificante.
- Ajustes finais do traço no próprio concreto fresco.
- Obtenção das características mecânicas do concreto endurecido.

2.5.5 Método de Dosagens Proposto por NAN SU ET AL (2001)

Este método de dosagem leva em consideração o preenchimento do vazio do esqueleto dos agregados grãos pouco compactos com argamassa normalmente a taxa de compactação de agregados grãos é de 54 a 58%, ou seja, há de 42 a 48% de vazios que necessitam ser preenchidos pela argamassa de acordo com a norma ASTM C29.

Na primeira mistura do concreto auto-adensável, a principal consideração é o preenchimento do vazio do esqueleto dos agregados grãos pouco compactados com a argamassa, com esse método é preciso apenas a escolha certa dos materiais e que se façam os cálculos, os testes de trabalhabilidade,

ajustes finais do traço e se obterá um concreto auto-adensável com elevada fluidez e resistência à segregação.

Etapas de desenvolvimento:

- Cálculo das quantidades de agregados miúdos e graúdos;
- Cálculo do consumo de cimento;
- Cálculo da quantidade de água na mistura
- Cálculo de quantidades de cinza volante e escoria de alto forno;
- Cálculo da quantidade total de água;
- Cálculo da dosagem de aditivo superplastificante;
- Ajuste da quantidade de água;
- Primeiras misturas e testes de trabalhabilidade do CAA;
- Ajustes finais da mistura.

2.5.6 Método de Dosagens Proposto por Gomes (2002)

A metodologia de Gomes (2002) é voltada para um concreto de CAA de alta resistência (CADAR), e o procedimento de desenvolvimento de um concreto com uma pasta otimizada, que preencha os vazios dos agregados e garanta a fluidez. Gomes se baseou no método proposto por TORALLES-CARBONARI et. al. (1996).

Para esta dosagem, inicialmente os materiais são selecionados, então a pasta e o esqueleto granular são otimizados separadamente usando testes que verificam a variação de um parâmetro de mistura em cada estágio, dessa forma são feitos testes no concreto com variações nos volumes das pastas para a determinação da mistura ótima do concreto, com este procedimento sugere que a viscosidade e fluidez da pasta tenham as propriedades de movimentação e escoamento do concreto sob a ação do seu peso próprio.

Esse processo é executado em três passos, obtenção da pasta determinação de esqueleto do agregado e seleção do conteúdo da pasta.

Com o objetivo de obtenção de um CADAR com resistência a compressão de pelo menos 50 MPa aos sete dias e qualidade.

As exigências para a dosagem são:

- Aperfeiçoa as relações aditivas superplastificante/cimento (sp/c) e finos/cimento (f/c) para que se obtenha na pasta em alta fluidez e boa coesão.
- Determinação do esqueleto de agregado como no mínimo conteúdo de vazios possíveis.
- Determinar uma pasta com as exigências de auto-capacidade de preenchimento, capacidade de passar e resistência à segregação.
- Possui uma relação água / aglomerante baixa ($a/agl < 0,40$).

2.5.7 Método de Dosagens Proposto por Repette-Melo (2005)

Desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina para a dosagem de CAA contendo filler de Calcário, trata-se de um método baseado na incorporação de agregado em pasta, em que a relação água/cimento é definida para a resistência desejada com base na relação água/cimento – resistência do cimento utilizado.

Incorpora-se o filler a mistura cimento-água, no teor necessário para que não haja exsudação e segregação dos finos da pasta. Na composição da pasta é empregada a fração do filler com partículas menores do que 0,075mm, são considerados como parte do agregado miúdo.

São definidos a relação miúdo/argamassa e o teor de aditivo superplastificante para que a argamassa alcance o escoamento e o espalhamento necessário.

Com o teor de filler na argamassa definidos e analisados a compatibilidade e a viabilidade econômica das misturas, a composição do graúdo deve resultar no teor de vazios menor no ensaio da massa unitária no estado solto e ter curva granulométrica nos limites definidos.

Depois de todos os ajustes finais feito, podem ser realizados os ensaios pertinentes ao concreto CAA.

2.5.8 Método de Dosagens Proposto por Tutikian (2004)

Este método é baseado no método de dosagem para CCV IPT/EPUSP (HELENE E TERZIAN, 1992). É um método experimental e prático que é a mistura de três traços de concretos, o método foi testado e aprovado por diversos autores como o TUTIKIAN (2004), GEYER (2005), MANUEL (2005), PAGNUSSAT et. al (2006), FERREIRA et al. (2006), ALENCAR e HELENE (2006), BARBOSA et. al (2007), SILVA (2008), entre outros. Sua utilização é muito significativa por se tratar de um método recente.

a) Escolha dos Materiais

O agregado miúdo deve ser cuidadosamente escolhido, pois existem boas opções e muitos são resíduos de indústrias, porem deve ter uma área de superfície maior que a do componente que será substituído. Os finos podem ser pozolamicos como cinza volante, cinza de casca de arroz, sílica ativa, metacaulim, escoria de alto forno e outros, ou não-pozolamicos, como cerâmica moída, filler calcário areia fina e outros. Os materiais pozolamicos substituirão o cimento, os que não forem pozolamicos substituíram o agregado miúdo, sendo essa substituição sempre em massa.

Deve-se especificar o diâmetro Máximo do agregado graúdo e deve ser preferencialmente menor de 19 mm.

b) Determinação do Teor ideal de Argamassa Seca

A determinação do teor ideal de argamassa de acordo com o método IPT/EPUSP (HELENE e TERZIAN, 1992) deve ser mantida constante até o final da dosagem do CAA.

c) Determinação dos Traços Rico, Intermediário e Pobre.

Após a determinação dos materiais e o teor de argamassa, devemos determinar pelo menos três traços-base para o desenho do diagrama de dosagem, um traço pobre, um intermediário e um rico. Com a determinação dos coeficientes de correlação para uma família de concretos, é possível dosar qualquer mistura desejada com os mesmos materiais, devendo tomar cuidado com a curva de dosagem, onde é recomendado o aumento do número de pontos para obter um grande intervalo de valores ou escolher pontos já próximos dos parâmetros finais.

Segundo TUTIKIAN (2008), Poderá ocorrer alguma variação no volume final da argamassa quando forem utilizados materiais de massa específica diferente, mas é imprescindível que não ocorram variações de massa entre as argamassas de traços unitários 1:m diferentes, para não comprometer o diagrama de dosagem.

d) Determinação do Aditivo Superplastificante

Foi constatado que o método TUTIKIAN (2008) é exatamente igual ao método do IPT/EPUSP, e é a partir de agora em diante ocorrerá às mudanças necessárias para que o Concreto Convencional torne-se um auto-adensável, primeiramente com a adição do aditivo superplastificante e simultaneamente a adição dos finos.

É em função da massa do aglomerante que se acrescenta o aditivo, e isso varia muito devido às variações dos cimentos existentes e principalmente a grande variedade de marcas de aditivos existentes no mercado.

É recomendado utilizar inicialmente 0,30% da massa do cimento, e se vá fazendo as devidas correções até que se alcance o ponto ideal, onde se observa que o concreto está bastante fluido e segregado, durante este processo é necessário muita rapidez e agilidade, visto que, os aditivos superplastificantes tem um período de ação pequeno ou em média 50 minutos, isso dependendo muito da marca do aditivo e da temperatura ambiente.

e) Substituição dos Finos

Corrigido a segregação, tornando-o coeso e fluido ao mesmo tempo. Com a substituição do cimento ou do agregado miúdo pelos finos especificados para tornar o concreto coeso e gerar um CAA e dependendo do material fino escolhido, muda-se o componente a ser substituindo.

Se o material fino escolhido for pozolanico ou cimentício, substitui o cimento, se não for substitui o agregado miúdo.

Tutikian (2004) criou uma tabela para auxiliar o acerto da proporção do material fino em relação ao que será substituído, onde a proporção começa pequena e aos poucos vai crescendo até que o concreto fique nos limites de trabalhabilidade dos CAA.

A tabela 5 funciona para o CAA 1:3, (massa de aglomerantes: massa de agregados secos), com teor de argamassa seca em 53% e com finos não pozolanicos. As massas dos materiais foram calculadas a partir da massa do agregado miúdo, que foi determinada em função do volume da betoneira em 10 quilogramas – que se mantém constante para todas as substituições, a água é adicionada experimentalmente em relação à massa dos aglomerantes, porem à relação a/aglomerante deve ser a menor possível para que aumente a durabilidade da estrutura e a resistência dos concretos.

TABELA 5- DETERMINAÇÃO DA PROPORÇÃO ENTRE O MATERIAL FINO E O SUBSTITUÍDO						
Traço Unitário (c:f :a:b)	Cimento (kg)		Finos (kg)		Brita (kg)	
	Massa Total	Acréscimo	Massa Total	Acréscimo	Massa Total	Acréscimo
1 : 0: 1,12 : 1,88	8,93	-	0	-	16,79	-
1 : 0,1: 1,02 : 1,88	9,8	0,87	0,98	0,98	18,42	1,64
1 : 0,2 : 0,92 : 1,88	10,87	1,07	2,17	1,19	20,44	2,01
1 : 0,3 : 0,82 : 1,88	12,19	1,32	3,66	1,49	22,92	2,48
1 : 0,4 : 0,72 : 1,88	13,89	1,7	5,56	1,9	26,11	3,2

1 : 0,5 : 0,62 : 1,88	16,13	2,24	8,06	2,5	30,32	4,21
1 : 0,6 : 0,52 : 1,88	19,23	3,1	11,54	3,48	36,15	5,83
1 : 0,7 : 0,42 : 1,88	23,81	4,58	16,67	5,13	44,76	8,61
1 : 0,8 : 0,32 : 1,88	31,25	7,44	25	8,33	58,75	13,99
1 : 0,9 : 0,22 : 1,88	45,46	14,21	40,91	15,91	85,46	26,71
1 : 1 : 0,12 : 1,88	83,34	37,88	83,34	42,43	156,68	71,21

(Fonte: TUTIKIAN, 2004)

Na tabela acima podemos observar que a areia se mantém constante enquanto todos os outros materiais se alteram em cada substituição, esse procedimento é apenas um artifício para se aproveitar a mistura anterior porque na realidade o agregado miúdo diminui para aumentar na mesma proporção, o fino não pozolanico, a brita e o cimento se mantêm constantes como podemos observar na primeira coluna da tabela 5.

f) Trabalhabilidade do CAA

Neste momento deve-se observar se o concreto está ideal ou se ainda precisa de correções, durante a adição de aditivo superplastificante e a substituição de materiais finos, a mistura vai ficando coesa e menos fluida, toda vez que se adiciona material fino e se tira outro componente, é necessário que sejam realizados ensaios de trabalhabilidade, caso o concreto se enquadre nos limites está pronta a dosagem, se não, deve-se continuar as correções.

Devido os ensaios ser demorados deve-se observar visualmente o material e só realizar os testes quando estiver no instante de se obter o CAA, antes que o aditivo perca o efeito.

g) CAA Com e Sem VMA

As duas principais formas de manter a estabilidade junto com a fluidez do CAA são adicionando sólidos finos ou adicionando VMA, e como os materiais finos dão coesão ao CAA, o VMA pode substituir os mesmos.

Existem situações que se faz necessário à utilização do VMA, como em regiões que não há materiais finos disponíveis nas regiões, dessa forma torna se necessário à utilização do cimento como um fino para dar coesão ao concreto, aumentando o custo e a possibilidade de ocorrer manifestações patológicas.

A utilização do VMA, não é obrigatória, serve apenas para melhorar o traço já determinado, quando o fino que seriam utilizados para dar coesão não for economicamente disponível.

Para se fazer a substituição dos finos pelo VMA, é necessária um novo concreto, não havendo possibilidade de aproveitamento do anterior.

h) Ensaio de Resistência à Compressão

Com o concreto pronto devem-se moldar os corpos de provas para a ruptura à compressão nas idades requeridas. Os corpos de prova devem ser moldados sem vibração ou compactação externa, sendo que o CAA deve apenas fluir no interior dos moldes.

O Numero mínimo de corpos de provas necessário para se fazer o ensaio, são dois para cada idade, sua cura deve ser realizada em câmara úmida, aos 3, 7, e 28 dias de idade.

Faz-se este ensaio para obtenção dos dados necessários para o desenho do diagrama, para o calculo das equações de comportamento e coeficientes de correlação.

3.0 METODOLOGIA

O início das atividades se deu com a definição do tema e com a pesquisa de fontes bibliográficas, através de livros, artigos, normas técnicas e internet, referentes ao assunto objeto de estudo. Após a conclusão de pesquisa e da proposta apresentada e aceita, foi elaborado um cronograma com definição de datas para realização de ensaios e análises propostos para conclusão do estudo.

3.1 Características do Concreto

Para realização destes ensaios, foram utilizados os seguintes traços iniciais:

TABELA 6 - PROPORCIONAMENTO E PARÂMETROS DE DOSAGEM DOS CONCRETOS EXECUTADOS						
Traço	Relação A/C	Teor de Adição (%)	Cimento	Agregado Miúdo (Nat.40%+ Art.60%)	Agregado Graúdo	Consumo de Cimento (m ³)
Rico - Sílica ativa	0,40	4	0,960:	0,784	1,972	350
Rico - Pó de mármore	0,40	4	1	0,785	1,974	350
Intermediário - Sílica ativa	0,50	4	0,960	1,096	2,458	350
Intermediário - Pó de mármore	0,50	4	1	1,097	2,461	350
Pobre - Sílica ativa	0,60	4	0,960	1,384	2,994	350
Pobre - Pó de Mármore	0,60	4	1	1,385	2,995	350

Produzido com cimento CP IV Votoran, 40% agregado miúdo natural e 60% de agregado miúdo artificial, agregado graúdo brita zero, e adição de 4% de pó de Mármore e 4% de sílica ativa, para os respectivos traços, água destilada para

amassamento do concreto (água potável), 0,5% de aditivo polifuncional da GRACE MIRA 34 e 0,8% de superplastificante GLENIUN SCC 160.

TABELA 6.1- PROPORCIONAMENTO (EM MASSA) E PARÂMETROS DE DOSAGEM DOS CONCRETOS EXECUTADOS

Traço Em Massa	Água (Litros)	Aditivo Polifuncional (MIRA) (litros)	Aditivo Superplastificante (GLENIUN SCC 160) (litros)	Ag. Miúdo Natural. (kg)	Ag. Miúdo Artificial (kg)	Ag. Graúdo (kg)	Adição (kg)	Consumo de Cimento (kg)
Sílica Ativa (0,40)	4, 201	0, 0066	0, 113	9, 352	14, 035	27, 848	0, 565	14, 125
Pó de Mármore (0,40)	4, 201	0, 00665	0, 113	9, 352	14, 035	27, 848	0, 564	14, 107
Sílica Ativa (0,50)	3, 776	0, 0516	0, 0825	10, 073	15, 100	26, 427	0, 430	10, 320
Pó de Mármore (0,50)	3, 844	0, 0506	0, 0859	10, 073	15, 100	26, 427	0, 429	10, 739
Sílica Ativa (0,60)	4, 034	0, 04095	0, 0693	10, 073	15, 120	25, 980	0, 346	8, 671
Pó de Mármore (0,60)	4, 078	0, 0409	0, 0693	9, 653	14, 470	25, 980	0, 347	8, 331

Na tabela 6.1 segue os parâmetros de dosagem, em massa, utilizado para o desenvolvimento do trabalho.

3.2 Caracterizações dos Materiais

O processo de caracterização dos materiais foi executado no laboratório de materiais na CONCRETEIRA SUPERMIX LTDA, onde foram obtidas as características dos agregados que seriam utilizados no concreto de estudo.

3.2.1 Caracterização Agregado Miúdo

Para elaboração do estudo foi utilizado 40% de areia de origem natural e 60% de areia artificial. Conforme a ABNT NBR 7211 (2009), agregado miúdo são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248.

Massa Unitária ou específica no estado solto.

A execução do ensaio de massa unitária no estado solto ou massa específica aparente, para agregado miúdo, foi executado conforme prescreve a NBR NM 45/2006.

A execução do ensaio de massa específica real ou absoluta, para agregado miúdo, foi executado conforme prescreve a NM 52/2009 Agregado Miúdo - determinação da massa específica e massa específica aparente.

3.2.2 Determinação da Composição Granulométrica do Agregado Miúdo

Conforme norma NBR NM 248 (2003) foi realizada o ensaio para determinar a composição granulométrica do agregado miúdo que foi utilizado na produção de concreto.

Dimensão máxima característica (D.M.C), grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

Modulo de finura (M.F.), o módulo de finura, (Soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.)

Optou-se pelo uso de duas areias, uma areia natural proveniente da cidade de Mandirituba, retirada de cavas, cujas características são apresentadas nas

tabelas 7, 7.1 e na figura 7 e uma areia industrial obtida pela britagem de calcário, sendo as características deste material apresentadas nas tabelas 8, 8.1 e na figura 8.

A mescla de areias foi empregada, pois a maioria das empresas de serviços de concretagem empregam 40% de areia natural e 60% de artificial, devida a escasses de areia natural.

TABELA 7 - ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA AREIA NATURAL

Peneira (mm)	Percentual %	
	% Retida Média	% Acumulada Média
76		
64	-	
50	-	
38	-	
32	-	
25	-	
19	-	
12,5	-	
9,5	-	
6,3	0,1	0,1
4,8	0,1	0,2
2,4	0,6	0,8
1,2	7,8	8,6
0,6	16,6	25,2
0,3	33,9	59,1
0,15	32,9	92
Fundo	8	100
Total	100	

TABELA 7.1 - ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA AREIA NATURAL

Ensaio	Resultado	Método de Ensaio
Dimensão Máxima (mm)	2,4	NM 248/2003
Módulo de Finura	1,851	NM 248/2003
Material Pulverulento (%)	2	NM 46/2001
Massa Específica SSS (g/cm ³)	2,62	NM 52/2009
Massa Específica Aparente (g/cm ³)	2,61	NM 52/2009
Massa Unitária Solta (g/cm ³)	1,445	NM 45/2006
Absorção (%)	0,37	NBR 9778/2005
Impureza Orgânica (ppm)	< 300	NM 49/2001
Torrões de Argila (1%)	0,1	NBR 7218/10

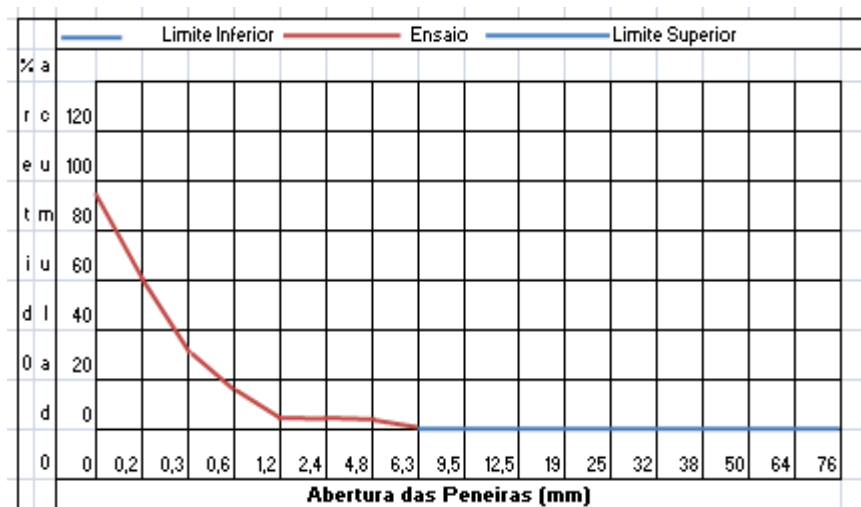


Figura 7 – Ensaio de Granulometria Areia Natural.

TABELA 8 - ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA AREIA ARTIFICIAL.

Peneira (mm)	Percentual %	
	% Retida Média	% Acumulada Média
76	-	-
64	-	-
50	-	-
38	-	-
32	-	-
25	-	-
19	-	-
12,5	-	-
9,5	-	-
6,3	-	-
4,8	1,2	1,2
2,4	19,6	20,8
1,2	32,1	52,9
0,6	15	67,9
0,3	10,4	78,3
0,15	7,2	85,5
Fundo	14,5	100
Total	100	-

TABELA 8.1- ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA AREIA ARTIFICIAL.

Ensaio	RESULTADO	MÉTODO DE ENSAIO
Diâmetro Máximo (mm)	4,8	NM 248/2003
Módulo de Finura	3,084	NM 248/2003
Material Pulverulento (%)	11,8	NM 46/2001
Massa Específica SSS (g/cm³)	2,73	NM 52/2002
Massa Específica Aparente (g/cm³)	2,71	NM 52/2002
Massa Unitária Solta (g/cm³)	1,62	NM 45/2006
Absorção (%)	0,74	NBR 9778/2005

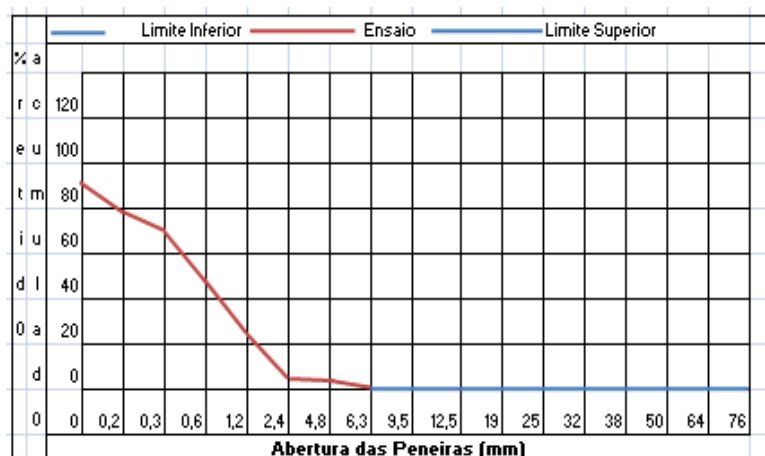


Figura 8 – Ensaio de Granulometria Areia Artificial.

As duas areias classificam-se na zona de utilização, conforme a NBR 7211/2009 – Agregados para Concreto – Especificação.

Para se encontrar a composição ideal das areias, efetuou-se a determinação do índice de vazios para diferentes composições, optando-se pela mistura que produziu o menor índice de vazios. Devido à diferença de massa específica entre as areias não é possível determinar a melhor composição pela massa unitária máxima, fazendo-se necessária a determinação do menor índice de vazios, conforme apresentado na tabela 9 abaixo.

TABELA 9- ANÁLISE DO ÍNDICE DE VAZIOS

Teores %		Índice de Vazios Médios
Areia Industrial	Areia Natural	
100	0	17,60%
90	10	17,10%
80	20	16,80%
70	30	16,60%
60	40	16,40%
50	50	16,90%
40	60	17,60%
30	70	18,60%
20	80	19,80%
10	90	21,00%
0	100	22,20%

TABELA 9.1 - ENSAIO DE GRANULOMETRIA MESCLA DAS AREIAS

Peneira (mm)	Percentual %	
	% Retida Média	% Acumulada Média
76		0,0
64	-	0,0
50	-	0,0
38	-	0,0
32	-	0,0
25	-	0,0
19	-	0,0
12,5	-	0,0
9,5	-	0,0
6,3	0,06	6,3
4,8	0,54	11,1
2,4	8,24	13,5
1,2	17,48	14,7
0,6	16,08	15,3
0,3	24,5	15,6
0,15	22,26	15,75
Fundo	10,8	100%
Total	100	

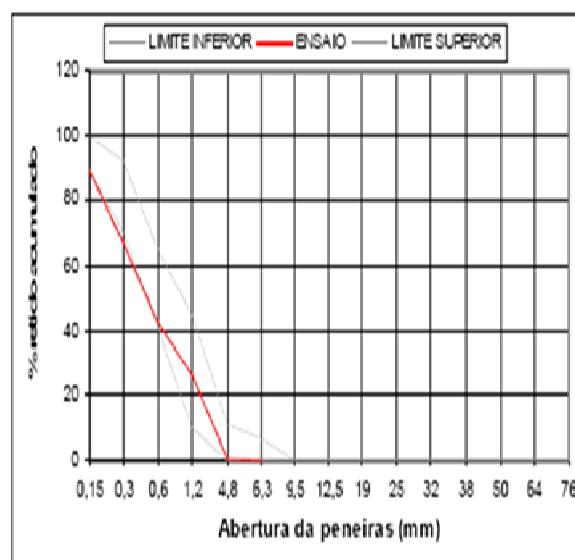


Figura 9 – Ensaio de Granulometria mescla 60% Areia industrial e 40% de Areia natural

Com estes resultados, adotou-se a composição de 60% de areia artificial e 40% de areia natural. O módulo de finura da composição das areias é de 2,344 e o diâmetro máximo característico é de 4,8 mm. Classifica-se a mescla das areias segundo a NBR 7211/2009 – Agregados para Concreto – Especificação como zona ótima, a granulometria da mescla de areias é apresentada na tabela 9.1 e na figura 9.

3.2.3 Determinação da Composição Granulométrica do Agregado Graúdo

Foi utilizado para a produção dos concretos brita 0 (4,75/12,5), britagem de calcário, cujas características são apresentadas nas tabelas 10, 10.1 e na figura 10.

Esta escolha deveu-se ao fato de grande parte das concreteiras locais empregarem este tipo de material.

TABELA 10 - ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA BRITA 0 (4,75/12,5)		
Peneira (mm)	Percentual %	
	% Retida Média	% Acumulada Média
76		0,0
64	-	0,0
50	-	0,0
38	-	0,0
32	-	0,0
25	-	0,0
19	-	0,0
12,5	-	0,0
9,5	5,1	5,1
6,3	46,2	51,3
4,8	29,28	80,56
2,4	16,64	97,64
1,2	0,44	97,7
0,6	0,06	97,7
0,3	0,08	97,78
0,15	0,14	97,92
Fundo	2,08	100%
Total	100	

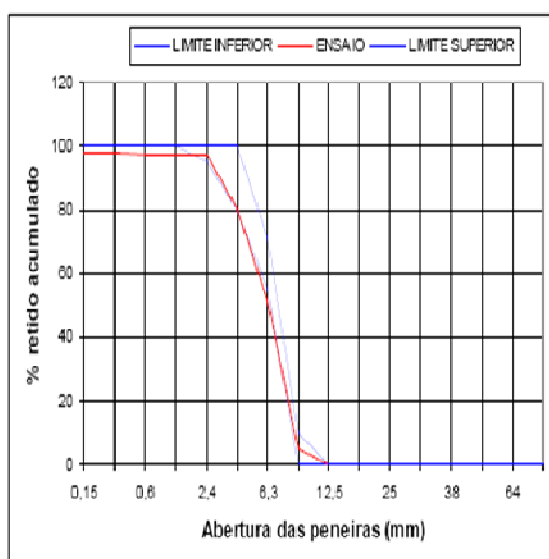


Figura 10 – Ensaio de Granulometria da Brita classificação 0 (4,74/12,5).

TABELA 10.1 - ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA BRITA 0 (4,75/12,5)

Ensaio	Resultado	Método de Ensaio
Dimensão Máxima (mm)	12,5	NM 248/2003
Módulo de Finura	5.740	NM 248/2003
Material Pulverulento (%)	2,5	NM 46/2001
Massa Específica SSS (g/cm ³)	2,73	NM 52/2009
Massa Específica Aparente (g/cm ³)	2,74	NM 52/2009
Massa Unitária Solta (g/cm ³)	1,49	NM 45/2006
Absorção (%)	0,37	NBR 9778/2005

Determinação do índice de forma

Conforme a NBR 7211 (2009), o índice de forma dos grãos do agregado não deve ser superior a três, quando determinado de acordo com a ABNT NBR 7809. A execução do ensaio para determinação do índice de forma do agregado graúdo foi executado conforme prescreve a NBR 7809 (2006). Determinação da massa específica do agregado seco e absorção de água.

Materiais pulverulentos são partículas minerais com dimensão inferior a 0,075 mm, inclusive os materiais solúveis em água presente nos agregados. A execução do ensaio para determinação dos materiais pulverulentos nos agregados miúdos e graúdos foi realizada conforme a NM 46 (2001).

Uma quantidade excessiva dessas partículas prejudica aderência entre a pasta do cimento e a argamassa, aumentando o consumo de água e diminuindo a resistência do concreto.

O valor de variação máxima para duas determinações é de 0,5 para agregado graúdo e 1,0% para o miúdo.

3.2.4 Cimento.

O cimento utilizado para produção do concreto foi do tipo CP IV, classe de resistência utilizada 32 MPa.

Este cimento possui um alto teor pozolanico, podendo ser utilizado em concreto protendido, concreto armado de cura rápida, pré-moldados, pisos industriais, e em argamassas e concretos de meios agressivos.

O uso deste cimento também minimiza retardamentos de pega, quando empregado com altas dosagens de aditivo.

TABELA 11 CARACTERÍSTICAS DO CIMENTO EMPREGADO (FONTE: FABRICANTE)

ENSAIO QUIMICOS - RX - MÉTODO DE ENSAIO NBR 14656/01	NORMA Nº	UNIDADE	MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	ESPECIFICAÇÃO NORMA
PERDA AO FOGO - PF	NM 18/04	%	3,62	3,93	3,39	< OU = 4,5
OXIDO DE MAGNÉSIO - MgO	NM 14/04	%	5,84	6,05	5,47	<OU = 5,5
ANIDRIDO SULFURICO SO ₂	NM 16/04	%	3,12	3,33	2,63	<OU = 4,5
ANIDRIDO CARBÔNICO CO ₂	NM 20/04	%	2,47	2,59	2,33	< OU = 3,0
RESIDUO INSOLÚVEL - RI	NM 22/05	%	12,5	14,05	10,07	NÃO APLICÁVEL
EQUIVALENTE ALCALINO EM Na ₂ O		%	0,74			NÃO APLICÁVEL

ENSAIOS FISICOS E MECANICOS

ENSAIO	NORMA Nº	UNIDADE	MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	ESPECIFICAÇÃO NORMA
AREA ESPECÍFICA (BLAINE)	NM 76/98	m ² /kg	511	530	486	>OU=330
MASSA ESPECÍFICA	NM 23/01	g/cm ³	3,02	-	-	NÃO APLICÁVEL
FINURA DO RESIDUO NA PENEIRA DE 0,075 mm (#200)	NM 11579/91	%	0,2	0,2	0,1	<OU=6,0
FINURA DO RESIDUO NA PENEIRA DE 0,044 mm (#325)	NBR 12826/93	%	1,8	2,4	1,3	NÃO APLICÁVEL
ÁGUA DA PASTA CONSISTENCIA NORMAL	NM 43/02	%	29	29,8	28,4	NÃO APLICÁVEL
INICIO DE PEGA	NM 65/03	min	194	215	180	>OU=60minuto
FIM DE PEGA	NM 65/03	min	266	290	245	<OU=480minuto
EXPANSIBILIDADE DE LE CHATELIER - A QUENTE	NBR 11582/91	min	0,63	1	0,5	<OU=5,0

RESISTENCIA À COMPRESSAO (Mpa)					RESISTENCIA À COMPRESSAO (Mpa)
IDADE DIAS	MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	DESVIO	
1	22,1	24,7	23,3	0,7	>ou=11
3	31,4	34,1	32,7	0,5	>ou=24
7	36,3	38,8	37,3	0,6	>ou=34

Na tabela 11, são apresentadas as características do cimento empregado, disponibilizadas pelo fabricante do mesmo. Os resultados correspondem à média do mês de novembro de 2009, quando foi coletado o material empregado. O cimento foi coletado diretamente do silo de uma empresa de serviços de concretagem de Curitiba.

3.2.5 Sílica Ativa

Dentre as opções de adições minerais disponíveis para a produção de concretos de alta resistência, optou-se pelo uso da sílica ativa devido a vários fatores: fácil obtenção deste material em caráter de produção industrial, pelas indicações constantes na literatura, e por Mendes (2002) e Freitas (2005) terem empregado este material, podendo-se assim efetuar comparações entre os resultados obtidos e os descritos nos citados trabalhos. As características do material empregado fornecidas pelo fabricante são apresentadas na tabela 12.

TABELA 12 – CARACTERÍSTICAS SÍLICA ATIVA	
Características Físicas e Químicas	
Massa Específica	2.220 kg/m ³
Teor de SiO ₂	>90%
Superfície Específica (B.T.E)	~19.000m ² /kg
Formato da Partícula	Esférico
Massa Unitária	
Não densificado	<350 kg/m ³
Densificada	>350 kg/m ³

Fonte: fabricante).

3.2.6 Aditivos

Para o desenvolvimento dessa monografia foram utilizados os aditivos da GRACE MIRA 34 para o alcance do slump desejado, neste caso ± 9 ,

De acordo com fabricante, aditivo MIRA 34 trata-se de um plastificante polifuncional redutor de água, seu desempenho em relação à redução de água é de aprox. 12% a 18%, isso pode variar em função da energia de mistura, agregados e aglomerantes. Produto de coloração marrom escuro, com densidade da faixa de 1,18 a 1,20 g/cm³, a dose recomendada varia de 0,6 a 1,2% em relação à massa de aglomerantes, deve variar em função da reatividade dos cimentos utilizados.

Após o acertado o slump, adicionado o GLENIUM®160 SCC para fluidificar o concreto e torná-lo auto-adensável.

Segundo o fabricante este aditivo possui forma líquida, pronto para o uso e livre de cloretos, foi desenvolvido para produção de concretos auto-adensáveis fluídos, e concretos de alto desempenho (CAD), geralmente utilizados na indústria de pré-moldados e concretos protendidos, onde se requer baixo fator A/C* assim como durabilidade e desempenho.

Este aditivo é baseado em uma cadeia de éter policarboxílico modificado que atua como dispersante do material cimentício, propiciando superplastificação e alta redução de água, tornando o concreto com melhores características de trabalhabilidade sem alteração do tempo de pega.

Recomendado para fabricação de todo tipo de concreto onde se necessita baixo fator A/C* e alta fluidez, principalmente os concretos auto-adensáveis com baixos consumos de cimento e alta manutenção de flow.

Compatível com todos os tipos de cimento portland, atende requisitos das normas brasileiras NBR 11768 (tipo P e SP) e ASTM C494 (tipo A e F).

Segundo o fabricante, GLENIUM®160 SCC apresenta as seguintes propriedades e benefícios:

Estado Fresco:

- Alta taxa de redução de água (40% aproximadamente);
- Aumento da coesão e redução da segregação;
- Aumento da trabalhabilidade do concreto;
- Não altera o tempo de pega do cimento portland;
- Facilita o adensamento e lançamento;
- Facilita o bombeamento;
- Reduz o fator A/C*;
- Reduz os tempos de cura ambiente ou a vapor;
- Elevada manutenção de flow.

Estado Endurecido:

- Aumento da resistência à compressão;
- Aumento da resistência à flexão;
- Aumento do módulo de elasticidade;
- Aumento da durabilidade do concreto;
- Proporciona melhor acabamento do concreto endurecido.

3.2.7 Pó de Mármore

O resíduo utilizado nesta pesquisa é oriundo dos tanques de decantação de uma das indústrias de beneficiamento de blocos de mármore e granito do Estado de Alagoas. Os detalhes da coleta e do processamento do resíduo para a utilização no CAA são descritos a seguir.

. Geração do Resíduo

A transformação dos blocos de rochas em chapas, nas indústrias de beneficiamento de mármore e granito, gera uma quantidade significativa de resíduo em forma de lama. Esta lama é formada pela utilização de uma polpa nos teares (equipamento usado para o corte dos blocos), com o objetivo de lubrificar e

resfriar as lâminas, bem como evitar sua oxidação, impedindo o aparecimento de manchas nas chapas. Essa polpa é geralmente constituída de água, granalha e cal moída. É comum a substituição da cal por outros materiais como calcário moído e escória de alto forno (NEVES, 2002 apud CAVALCANTI, 2006).

A maior quantidade de resíduo é produzida na etapa chamada de desdobramento ou serragem do bloco de granito ou mármore. Esta etapa consiste na transformação dos blocos de rochas em chapas, por meio dos teares. Os teares são equipamentos robustos constituídos por quatro colunas, que sustentam quadros que realizam movimentos pendulares. Nesses quadros são dispostas lâminas de aço carbono de alta dureza e boa resistência mecânica, de forma a resistir aos esforços de tração e abrasão, (NEVES, 2002 apud CAVALCANTI, 2006).

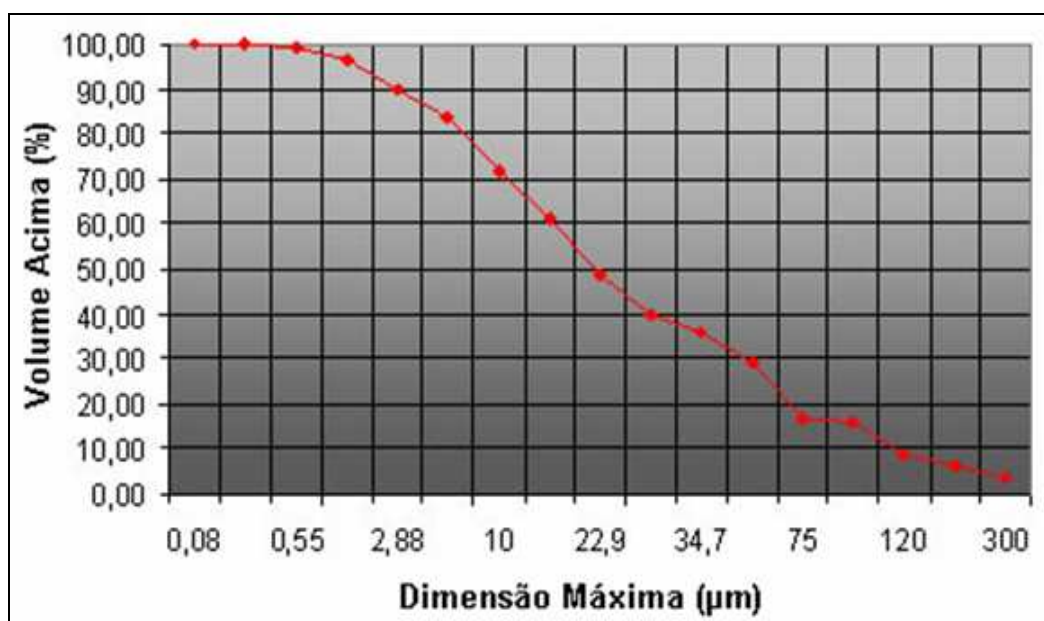


Figura 11 – Curva de Granulométrica do Pó de Mármore.

TABELA 13 – CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO	PÓ DE MÁRMORE
Tipo	Inerte
Material retido na peneira de 300 µm	0,56%
Granulometria (Método Laser) % passante (µm)	(%)
3	24,08
32	82,97
45	91,77
63	94,78
88	97,56
100	98,06
150	99,15
Massa específica real pelo Método do Picnômetro (g/cm ³)	2,69
Superfície específica pelo Método de Blaine (m ² /kg)	0,34

TABELA 14 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO PÓ DE MÁRMORE. COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Pr	(Perda ao rubro)	2,14 %
SiO ₂	(Óxido de silício)	56,89 %
RI	(Resíduo insolúvel)	6,77 %
Fe ₂ O ₃	(Óxido de ferro)	9,58 %
Al ₂ O ₃	(Óxido de alumínio)	15,08 %
CaO	(Óxido de cálcio)	5,88 %
MgO	(Óxido de magnésio)	Traços
Na ₂ O	(Óxido de sódio)	1,45 %
K ₂ O	(Óxido de potássio)	1,68 %

3.2.8 Ensaio com Concreto

Os ensaios realizados no estado fresco do concreto são os seguintes:

- Verificação da melhoria e manutenção da consistência pelo abatimento do tronco de cone, seguindo os parâmetros da NBR NM 67.



Figura 12 – Verificação do abatimento através do tronco de cone.

Fonte: Os Autores

- T500 este ensaio é utilizado para medir a capacidade do CAA de fluir livremente sem segregar, a medida de sua fluidez é obtida pelo diâmetro do círculo formado pelo concreto de ensaio.



Figura 13 – Ensaio T500 em andamento – 1º tentativa

Fonte: Os Autores

Na figura13, mostra a 1ª tentativa de CAA, podemos observar que o concreto não apresentou condições necessárias para ser considerado um CAA, pois não apresentou fluidez e segregou.



Figura 14 – Ensaio T500 - verificação de medidas.

Fonte: Os Autores.



Figura 15 – Ensaio T500 em andamento, Sem segregação

Fonte: Os Autores.

Na Figura 15 pode-se observar o CAA sem segregação, nesta correção de traço adicionamos pó de mármore.

Segundo TUTIKIAN, quando o espalhamento fica muito baixo indica que o concreto está pouco fluido, devendo o material ser fluidificado com água ou aditivos. Essas adições não devem de forma alguma ser feitas de formas aleatórias, devem ser feitas às devidas correções em cima do traço estipulado e adicionado apenas o volume necessário para o acerto do mesmo.

3.2.9 Desenvolvimento do CAA

Através dos ensaios citados acima, foi obtido o teor de argamassa ideal onde o melhor resultado foi com 56% e 4% de sílica ativa, 40% de areia natural e 60% de areia artificial.

A seqüência para a mistura dos materiais na betoneira teve a seguinte ordem: separação dos materiais, imprimação da betoneira e então se procedeu com a colocação da brita, areia, parte da água, misturados por aproximadamente 10 segundos e depois adicionados cimento, e o restante da água com aditivo polifuncional MIRA 34, para obter o slump desejado, foi adicionado 0,5% de aditivo e misturado por 2 minutos.

A ordem de colocação dos materiais na mistura, para confecção dos concretos, foi à seguinte:

- a) 100% do agregado graúdo;
- b) 50% da água
- c) 100% do cimento
- d) 100% do agregado miúdo (Areia natural e artificial);
- e) 100% da adição
- f) 50% da água

Cada mistura foi confeccionada num tempo de quatro minutos. Porém, no

Concreto com a/c - 0,40, este tempo estenderam-se para 6 minutos, devido ao aumento da coesão e consistência, e uma maior dificuldade de homogeneização da mistura.

Os traços utilizados foram determinados levando em consideração a relação água/cimento e o teor de pó de mármore. Utilizou-se a metodologia de dosagem do IPT/EPUSP, descrita por HELENE e TERZIAN (1992), sendo que os parâmetros de dosagem definidos foram à obtenção de um abatimento de 90 +/- 2 mm e do teor de argamassa seca ideal.

A determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone foi executada conforme a NBR NM 67:96.

Com o resultado satisfatório, foram adicionados 0,4% do aditivo GLENIUN SCC 160, para torná-lo auto-adensável.

Foi realizado o T500, seguindo os parâmetros da NBR 15823 parte 1, NBR 15823 parte 2.

Foram desenvolvidos um concreto pobre de sílica e outro com pó de mármore, assim sucessivamente.

Foram tomados todos os cuidados necessários, para que os mesmos traços dos diferentes materiais fossem elaborados no mesmo dia, para que a diferença de temperatura, de material, de executante, tivesse as mesmas condições.

Foram moldados no total 36 corpos de provas, 2 para 3 dias , 2 para 7 dias e 2 para 28 dias, 6 para cada traço, após 24 horas, os CPs foram desformados e tirados suas medidas de diâmetro e comprimento com o paquímetro, e pesados para calcular a absorção de água.



Figura 16 – CPs submersos no tanque de água.

Fonte: Os Autores.

Os corpos-de-prova foram moldados sem compactação, foram mantidos em tanque de água até a idade de cada ensaio, com temperatura ($23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa ($>95\%$) controladas, conforme figura16.

Para cada idade os corpos os CPs, foram retirados, medidos e pesados para ensaio de absorção, retificados e rompidos.

Abaixo algumas fotos do desenvolvimento do CAA:



Figura 17 – Ensaio T500

Marcação dos círculos de 500 mm e 200 mm.

Fonte: Os Autores.



Figura 18 – Ensaio T500

Colocação do CAA.

Fonte: Os Autores.



Figura 19 – Ensaio T500 Espalhamento do CAA.

Fonte: Os Autores.



Figura 20 – Moldagem dos CPS Sem compactação.

Fonte: Os Autores.

Na figura 17 podemos observar a preparação do ensaio T500, indicação em giz vermelho dos círculos conforme norma NBR 15823-1. Na figura 18 a colocação do concreto,

Na figura 19, foi obtido o perfeito desempenho do concreto fresco e na figura 20 moldagem dos corpos de provas sem necessidade de compactação.

4.0 ANÁLISES E RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados de todos os ensaios feitos para este TCC, analisados e verificados a viabilidade do uso do pó de mármore como adição em concretos auto-adensável.

4.1 Concretos no Estado Fresco

Segundo a NBR 15923-1, Classe de Espalhamento do CAA em função a sua aplicação, foi utilizado os dados para comparação o mais usual para comparar com nossos resultados. Pela norma, é na classe SF2, que conseguimos a melhor resistência a segregação e uma fluidez satisfatória, sendo que a SF1 apresenta pouca fluidez e são utilizadas em estruturas não armadas e de baixa taxa de armaduras, empregado em poucas distâncias a serem percorridas pelo concreto.

A SF3 oferece um melhor acabamento, utilizado em estruturas com alta taxa de armaduras, mas devido a sua fluidez oferece maior segregação.

TABELA 15- RESULTADOS T500

Concreto Fresco				
Mistura	A/C	Tempo do escoamento em (s) $\leq 5s$	Espalhamento encontrado (mm)	Métodos de Ensaio
Pó de Mármore	0,4	2	75	ABNT NBR 15823-3
	0,5	2	65	Espalhamento em (mm) 660 a 750
	0,6	3	63	
Sílica Ativa	0,4	2	78	ABNT NBR 15823-3
	0,5	2	670	Espalhamento em (mm) 660 a 750
	0,6	2	660	

Fonte: Os Autores,

Com os resultados do ensaio T500, podemos constatar que a adição de pó de mármore com fator a/c de 0,40 preenche os requisitos com relação ao

espalhamento e fluidez, foi obtido um espalhamento de 750 mm num tempo de 2 s, sendo que a norma limita esse tempo menor que 5 s, para preencher o espaço limite 750 mm.

4.2 Concretos no Estado Endurecido

A partir da caracterização do CAA com pó, foram determinados os fatores a serem avaliados para a viabilidade técnica do uso do mesmo, como adição, em concretos.

TABELA 16- CONCRETO ENDURECIDO – PROGRAMA EXPERIMENTAL - CONCRETO FRESCO				
Mistura	A/C	Tempo do escoamento em (s') $\leq 5s$	Espalhamento encontrado (mm)	Métodos de Ensaio
Pó de Mármore	0,4	2	75	ABNT NBR 15823-3
				Classe SF1/SF2
	0,5	2	65	Espalhamento em (mm) 660 a 750
0,6	3	63		
Sílica Ativa	0,4	2	78	ABNT NBR 15823-3
				Classe SF2
	0,5	2	670	Espalhamento em (mm) 660 a 750
0,6	2	660		

Fonte: Os Autores,

Na tabela 17 descreve os traços rico (0,4), intermediário (0,5), e pobre (0,6), numero de corpos de provas correspondente a cada idade de rompimento.

TABELA 17 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO						
Mistura	A/C	F _{cj} (28) (MPa)	CPs	3dias f _{ck} (MPa)	7dias f _{ck} (MPa)	28dias f _{ck} (MPa)
Pó de Mármore	0,4	42	P1	32,1	37,1	53,8
			P2	31,8	36,9	54,4
	0,5	32	P3	24,5	29,7	43,0
			P4	25,4	30,2	42,5
	0,6	27	P5	18,5	21,9	33,0
			P6	18,7	21,3	32,9
Sílica Ativa	0,4	42	S1	33,2	37,3	58,2
			S2	33	36,5	57,7
	0,5	32	S3	22	29,7	46
			S4	22,3	27,3	45,7
	0,6	27	S5	16,3	19,3	35,5
			S6	15,7	20,7	35,7

Fonte: Os Autores.

A avaliação do comportamento mecânico e de durabilidade dos concretos com adição foi realizado de acordo o programa experimental exposto na tabela 16,

Para a verificação do efeito da adição do pó de mármore na resistência à compressão axial foram rompidos dois corpos-de-prova cilíndricos por idade. As resistências à compressão foram avaliadas nas idades de 3,7, 28 dias, de acordo com a NBR 5739:2007, e comparados os resultados a resistência de dosagem do concreto no final dos seus 28 dias, conforme a tabela 17.

Abaixo os resultados da análise para cada amostra com o fator água cimento correspondente.

TABELA 18 - COMPARAÇÃO DOS TRAÇOS RICOS (a/c = 0,40)

	F _{ck} (MPa)	3dias	7dias	28dias
Traço Rico Pó de Mármore		32,1	37	54,1
Traço Rico Sílica Ativa		33,1	36,9	57,9

Na tabela 18 foi feito a média das resistências obtidas dos corpos de provas em questão.

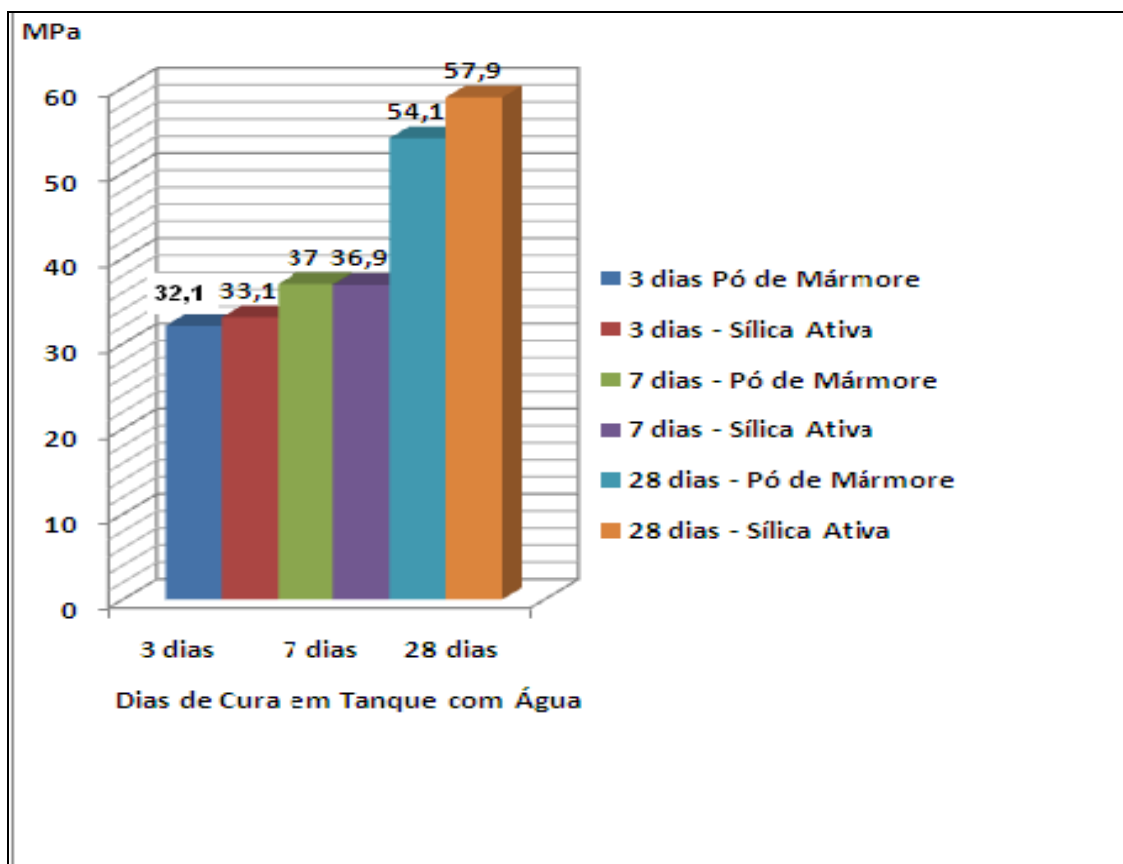


Figura 21.0 - Resistência à Compressão dos Concretos nas idades de 3 dias, 7 dias e 28 dias – Traço Rico ($a/c=0,4$)

TABELA 19 - COMPARAÇÃO DOS TRAÇOS INTERMEDIÁRIOS ($a/c = 0,50$)

Traço Intermediário	Fck(MPa)	3dias	7dias	28dias
Traço Intermediário Pó de Mármore	Fck(MPa)	24,9	29,9	42,7
Traço Intermediário Sílica Ativa	Fck(MPa)	22,1	28,5	45,8

Na tabela 19 foi feito a média das resistências obtidas dos corpos de provas em questão.

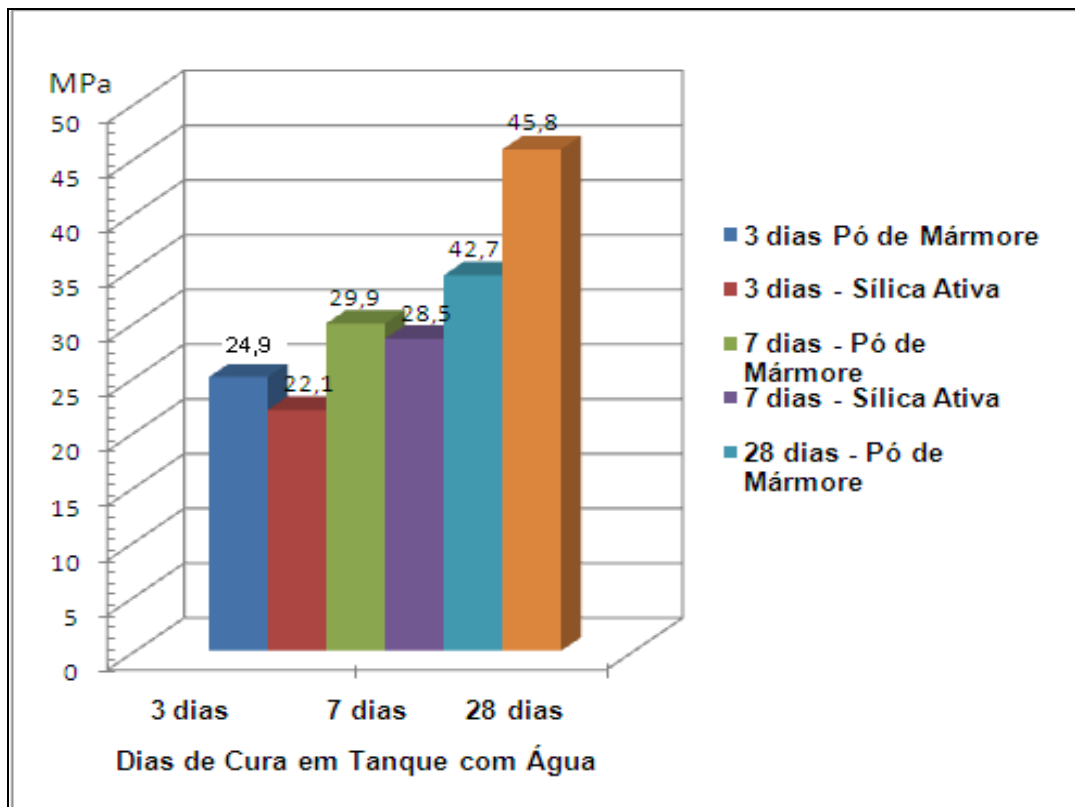


Figura 21.1 - Resistência à Compressão dos Concretos nas idades de 3 dias, 7 dias, e 28 dias – Traço Intermediário ($a/c = 0,5$).

Conforme figura 21.1 podemos analisar o desempenho uniforme do pó de Mamoré. As resistências obtidas crescem gradativamente.

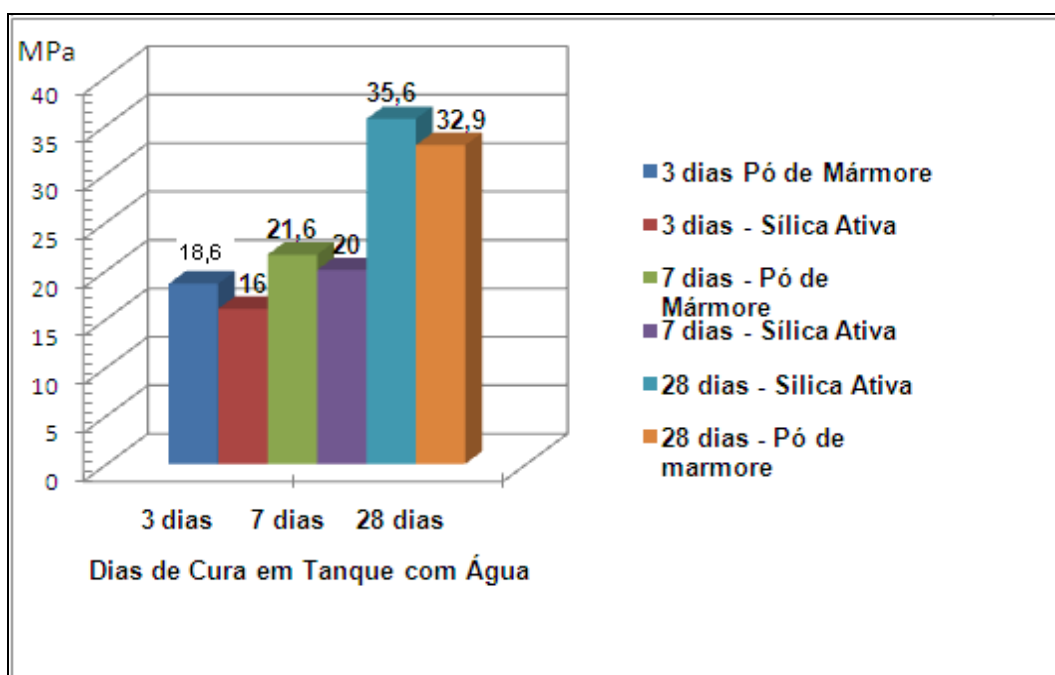


Figura 21.2 Resistência à Compressão dos concretos nas idades de 3 dias, 7 dias e 28 dias – Traço Pobre

TABELA 20 - COMPARAÇÃO DOS TRAÇOS POBRES ($a/c = 0,60$)

Traço Intermediário pó de mármore	Fck (MPa)	3dias	7dias	28dias
		18,6	21,6	32,9
Traço Intermediário sílica ativa	Fck (MPa)	16	20,0	35,6

Na figura 21.2 e na tabela 20, pode-se analisar o mesmo desempenho uniforme do pó de Mamoré. As resistências obtidas crescem gradativamente.

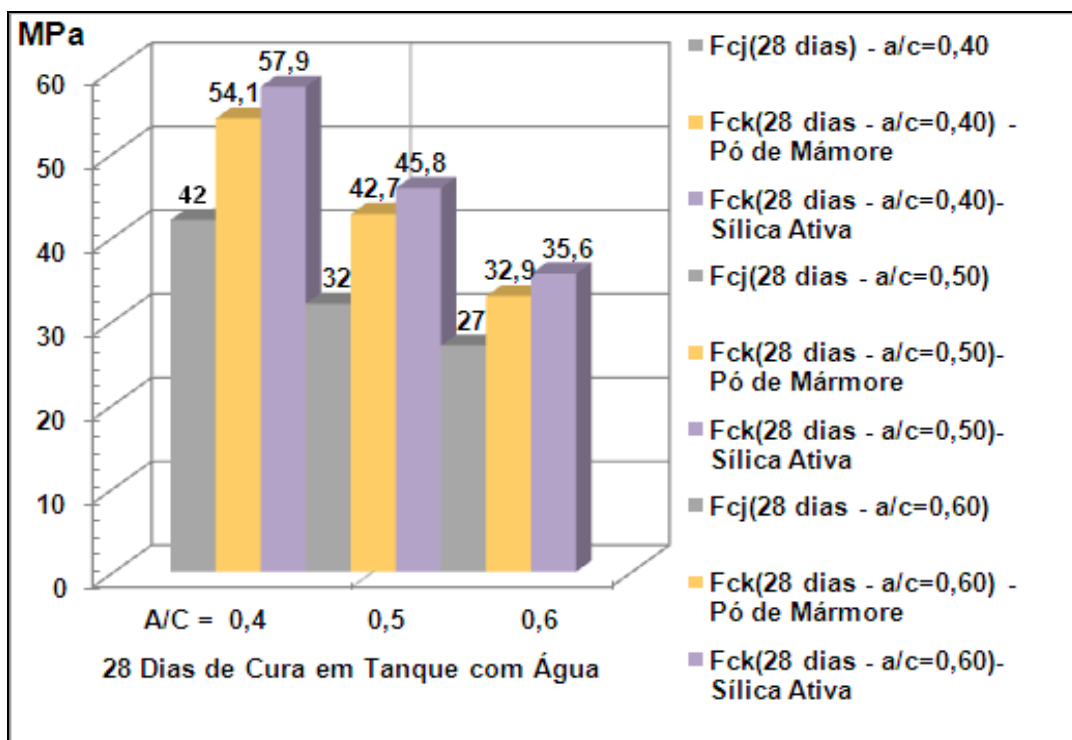


Figura 21.3 Resistência à Compressão (Fck) em comparação com a Resistência de dosagem do concreto (Fcj) em 28 dias.

TABELA 21 - FCK EM COMPARAÇÃO COM A FCJ EM 28 DIAS

A/C	Fcj(28) (MPa)	Pó de Mármore Fck(28)dias (MPa)	Sílica Ativa Fck(28)dias (MPa)
0,4	42	54,1	57,95
0,5	32	42,7	45,8
0,6	27	32,9	35,6

Pela tabela 21 e figura 21.3, pode-se analisar que comparando com a resistência de dosagem do concreto, o pó de mármore atende sem problemas, pois sua resistência sobe gradativamente, e supera a calculada.

Comparando ao Fcj de dosagem, no a/c 0,4 temos um ganho de resistência de 29 % no traço com adição de pó de mármore e 38 % no traço com adição de Sílica ativa. No a/c 0,5, o ganho foi de 33,4% e 43,12% para pó de mármore e

sílica ativa respectivamente. Já no a/c 0,6, o ganho foi de 22% e 32%, respectivamente.

Pode-se também analisar o desempenho dos materiais através da Curva de Abrams que foi realizada a partir dos resultados de 3 ; 7 e 28 dias com seus respectivos fatores A/C, conforme figura 21.4

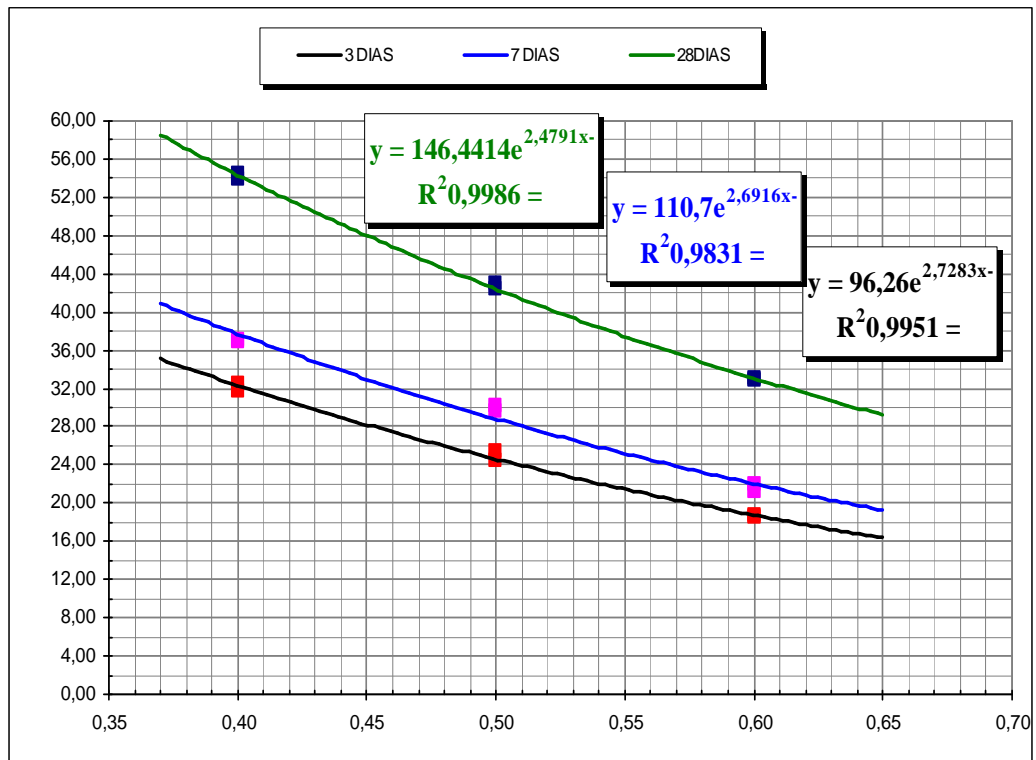


Figura 21.4 Curva de Abrams – Pó de Mármore.

Analisando a curva de Abrams dos traços com adição de pó de mármore pode-se expor:

- média de crescimento de 3 para 7 dias de 17,2%,
- média de crescimento de 7 para 28 dias de 46%.

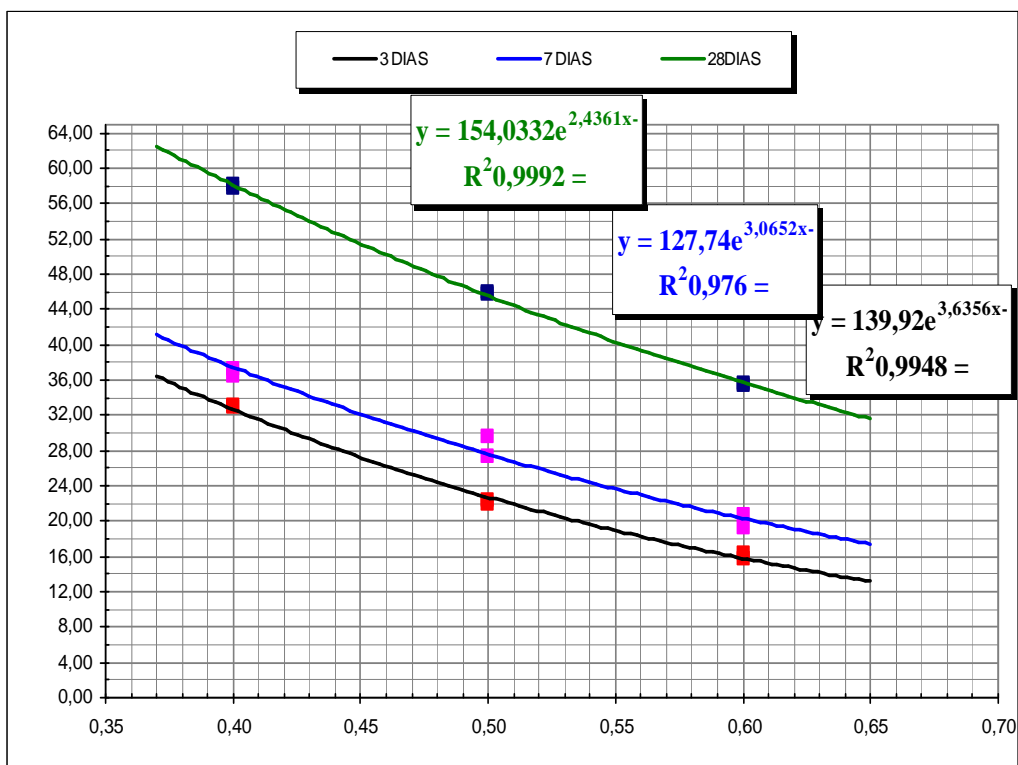


Figura 21.5 Curva de Abrams – Silica Ativa

Analisando a curva de Abrams dos traços com adição de sílica ativa pode-se expor:

- média de crescimento de 3 para 7 dias de 24%,
- média de crescimento de 7 para 28 dias de 61%.

Sobrepondo as curvas de pó de mármore e sílica ativa, temos:

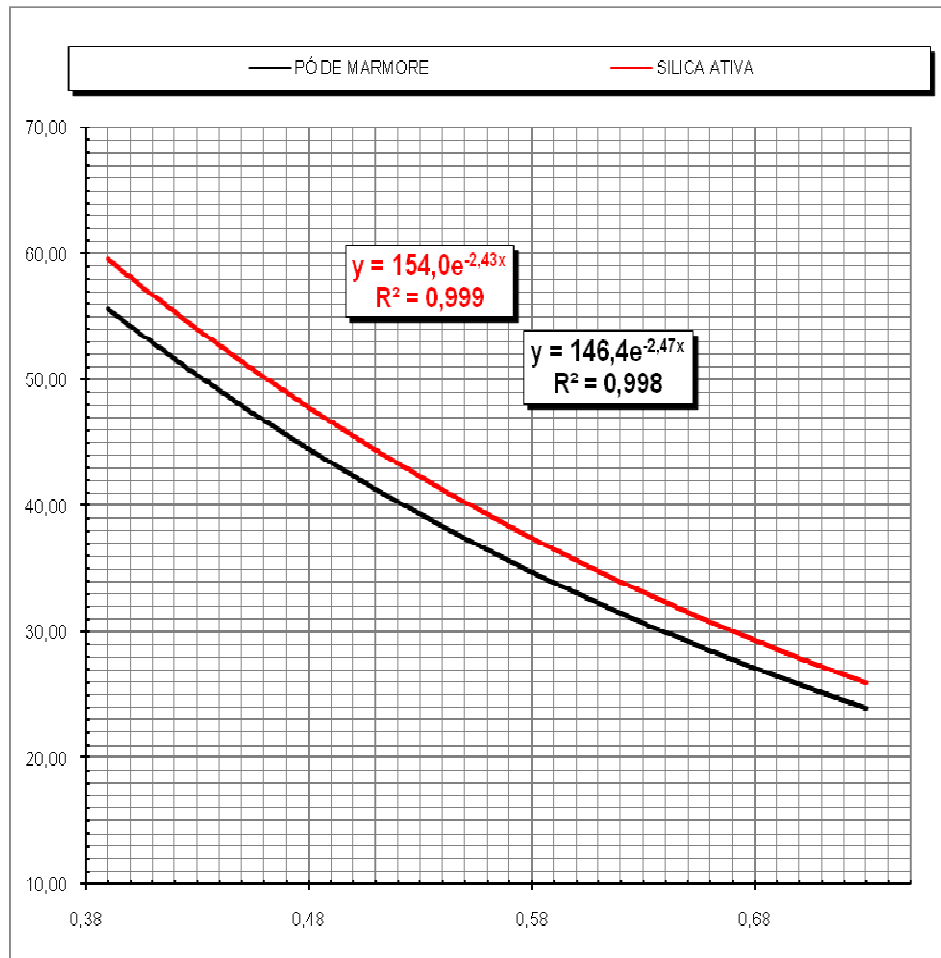


Figura 21.6 - Curva de Abrams – Sobrepostas.

Analisando as curvas de Abrams com adição de sílica ativa e pó de mármore pode expor:

- a curva de sílica ativa obteve melhores resultados do que a com adição de pó de mármore em 7,52%.

4.3 Determinações de Absorção de Água em Concretos Endurecidos

Este ensaio foi feito através da relação entre a massa seca e massa saturada em água, dividido pela massa seca vezes 100%.

Este ensaio foi realizado conforme a NBR 9778 (ABNT, 2005), com o tempo de permanência de imersão de 72 horas.

Foram ensaiados dois corpos-de-prova para cada fator a/c na idade de 28 dias.

TABELA 22 - ABSORÇÃO DE ÁGUA EM CPs		
F A/C	Absorção Pó de Mármore (%)	Absorção Sílica Ativa (%)
0,4	1,18	1,05
0,5	1,45	1,32
0,6	1,71	2,38

Conforme os resultados de resistência a compressão apresentados anteriormente, com o ensaio de determinação de absorção apenas veio confirmar o que se tem estudado, que quanto maior for à relação a/c maior a taxa de absorção.

MASSAZZA et al. (1993), num estudo realizado sobre absorção capilar em pastas e argamassas confeccionadas com cimento Portland e cimentos pozolânicos, afirma que a absorvidade depende da relação a/c.

Conforme C

OUTINHO (1994), a absorção capilar aumenta com o aumento da relação a

5.0 CONCLUSÕES

Durante a produção do concreto CAA, as misturas de concretos com adição de pó de mármore apresentaram maior coesão e consistência e uma diminuição da exsudação.

Foi constatado que com relação à resistência à compressão axial, a adição de pó de mármore proporcionou ao concreto um desempenho melhor, em comparação a resistência de dosagem calculada, onde superou as expectativas, em todas as idades.

Segundo GOLDMAN e BENTUR (1993), pode-se explicar o aumento do desempenho dos concretos com adição de pó de mármore em função da sinergia dos seguintes fatores:

a) Como o resíduo não possui atividade pozolânica, seu efeito físico devido à sua alta finura promoveu um refinamento na estrutura de poros.

Este efeito contribuiu para uma maior densificação da zona de transição e da Matriz cimentícia, e conseqüentemente um ganho de resistência à compressão.

O efeito microfíler é o principal fator para a densificação da zona de transição, contribuindo para um ganho nas propriedades mecânicas nas idades iniciais;

b) A distribuição das pequenas partículas do pó de mármore em todo o concreto, associada à densificação da interface matriz/agregado, fez com que ocorresse um preenchimento dos poros existentes e diminuição dos espaços disponíveis para a água. Desta forma, aumentou o contato entre os produtos hidratados e não hidratados da matriz, produzindo o chamado *effect packing*, ou seja, um maior empacotamento da matriz.

Este maior contato representou um somatório de pequenas forças resistentes que contribuíram para o aumento da resistência à compressão. CABRERA et al. (1998), no seu estudo de concretos de alta resistência com cimento com fíler calcário, enfatiza que os materiais finos podem alojar-se entre os

grãos de clínquer promovendo um melhor empacotamento e uma maior dispersão do mesmo dentro da mistura;

c) A distribuição dos grãos de RCG também pode ter promovido uma maior dispersão e aceleração da formação de produtos hidratados da matriz cimentícia, por atuarem como pontos de nucleação.

Segundo ISAIA (1995), a introdução de pequenas partículas na matriz cimentícia, mesmo não totalmente pozolânicas, provoca segmentação dos poros maiores e incrementa os locais de nucleação para precipitação dos produtos de Hidratação, acelerando as reações e formando cristais de hidróxido de cálcio menores.

d) O aumento da relação a/c influenciou negativamente na porosidade efetiva dos concretos. Os concretos com maior relação a/c apresentaram maior porosidade, conforme tabela 22.

De acordo aos resultados apresentados acima, em relação à resistência à compressão axial, os concretos com adição de pó de mármore apresentaram melhor desempenho no traço rico, em comparação a resistência calculada.

Comparando com a Sílica ativa, material consagrado, deixou um pouco a desejar, mas pode-se utilizá-lo sem nenhum problema, como comprovado ele atende a resistência de dosagem do concreto perfeitamente, além do mais com relação a custo/benefício, o pó de mármore é praticamente 10 vezes mais em conta, sendo que hoje um saco de sílica de 15 Kg custa R\$ 50,00 e um saco de 20 kg de pó de mármore é R\$ 7,50.

5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Sugerem-se como temas para novas pesquisas, a fim de complementar o estudo desenvolvido, os seguintes assuntos:

- a) Fazer um comparativo de custos e analisar as vantagens e desvantagens na utilização do pó de mármore.
- b) Verificar a viabilidade da utilização do pó de mármore em comparação ao Metacaulim.

- c) Verificar a viabilidade da utilização do pó de mármore em comparação ao Filler.
- d) Verificar a viabilidade da utilização do pó de mármore em comparação a cinza volante.
- e) Trabalhos com teores de pó de mármore maiores, analisando a resistência dos traços em comparação com a sílica, filler, ou metacaulim, empregando a utilização dos ensaios do funil V, NBR Anel J, e a caixa L.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-1: concreto auto-adensável – parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco.** Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-2: concreto auto-adensável – parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – método cone de Abrams.** Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-3: concreto auto-adensável – parte 3: Determinação da habilidade passante – método do anel J.** Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-4: concreto auto-adensável – parte 4: Determinação da habilidade passante – método caixa L.** Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-5: concreto auto-adensável – parte 5: Determinação da viscosidade – método do funil V.** Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-6: concreto auto-adensável – parte 6: Determinação da resistência a segregação – método da coluna de segregação.** Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto – procedimento.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251: agregado em estado solto – Determinação da massa unitária.** Rio de Janeiro, 1982

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53: agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578: cimento Portland composto.** Rio de Janeiro, 1991e.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 33: concreto – Amostragem de concreto fresco.** Rio de Janeiro, 1998a,

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone – método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1998b

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2005b.

ASTM C29/C29M, “Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate,” American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1996.

EUROPEAN FEDERATION OF SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS (EFNARC). Specification and guidelines for self – compacting concrete. **In EFNARC.** Fevereiro, 2003.

GOMES, P.C.C, GETTU, R; AGULLÒ, L. Uma nova metodologia para obtenção de concretos auto-adensáveis de alta resistência com aditivos minerais. **In: V Simpósios EPUSP** sobre estruturas de concreto, p.1-14, 2003a.

SILVA, E.L. MENEZES, E.M. **Metodologia da Pesquisa Elaboração de Dissertação.** Disponível em:

<http://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia%20da%20Pesquisa%203a%20edio.pdf>> Acesso em: 10 out. 2009.

ALENCAR, R.; HELENE, P. Concreto auto-adensável de elevada resistência – inovação tecnológica na indústria de pré-fabricados. **In: Concreto e Construção. Revista de Materiais do Ibracon,** São Paulo, 2006.

GEYER, A.L.B. Utilização de concreto auto-adensável em estruturas de edifícios com custos inferiores ao concreto convencional. **In: 12º Concurso Falcão Bauer**, 2005.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. Ed. Pini.

TUTIKIAN, B.F.; Proposição de um método de dosagem experimental para concretos auto adensáveis. UFRGS, 2007.

ARAUJO, J.L. Concreto auto-adensável com materiais locais no nordeste brasileiro.

Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Pernambuco, 2003.

NEVILLE, Adam Mathew, **Propriedades do concreto**, São Paulo, Editora Pini, 1997.

NUNES, S.C.B. Betão Auto-Compactável: Tecnologia e Propriedades, 2001. 198 p. Pós Graduação em Estruturas de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto, Porto.

OKAMURA, H. Self – compacting higt performance concrete. **Concrete International**, V.19, n.7, p.50-54, july 1997.

PETTERSEN, Ö. Preliminary mix-design. In **Brite EuRam Program: Rational improved working environment through using self compacting concrete**. Tash 2, p.1-56, 1999.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca, **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis**, Porto Alegre, 2004.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca, **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis**, Porto Alegre, 2007.

TORRALES – CARBONARI, M.B.; ELIAN, M.M.S.; CARBONARI, G, **consumo de pasta e nas propriedades do CAD**.

CABRERA,O., BONAVETTI, V., Donza, H., IRASSAR, E. F., **Hormigones de alta resistencia con cementos de filler calcareo**. In: **1er Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón**. Anais. Buenos Aires, Argentina. Associação Argentinade Tecnología del Hormigón. Jun/1998. p. 195-204.

GOLDMAN, A., BENTUR, A., **Effects of pozzolanic and Non-Reactive Microfillers on The Transition Zone in High Strength Concretes**. In: MASO, J.C. (ed) RIELM,International Symposium on Interfaces Cementitious Composites. Toulouse, 1992, Proceedings, London, (RILEM Proceedings 18), 1993, p. 53-62.