

Monografia

"APLICAÇÃO DE CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL EM LAJES MOLDADAS IN LOCO – ESTUDO DE CASO NO SETOR DE EDIFICAÇÕES"

Autor: Christopher Augusto Campos

Orientador: Prof. Aldo Giuntini de Magalhães, D.Sc.

Dezembro /2013

Christopher Augusto Campos

**" APLICAÇÃO DE CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL EM LAJES MOLDADAS IN
LOCO – ESTUDO DE CASO NO SETOR DE EDIFICAÇÕES"**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil
da Escola de Engenharia da UFMG

Ênfase: Gestão e Tecnologia na Construção Civil

Orientador: Prof. Aldo Giuntini de Magalhães, D.Sc.

Belo Horizonte / MG

Escola de Engenharia da UFMG

2013

AGRADECIMENTOS

Ao professor Aldo Giuntini pelos conselhos e orientações na elaboração deste trabalho.

Ao engenheiro Jonhson Rigueira pela colaboração no trabalho. Obrigado por compartilhar a experiência e os conhecimentos, bem como por todo o material didático a mim disponibilizado.

Ao engenheiro Fábio Leonel por ter me concedido oportunidades de visitas técnicas importantes para o desenvolvimento desse trabalho. Obrigado pela atenção, gentileza e disponibilidade.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E NOTAÇÕES	xi
LISTA DE SÍMBOLOS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações gerais	1
1.2. Justificativa	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo geral:.....	4
1.3.2. Objetivos específicos:.....	4
1.4. Estruturação do trabalho	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Definição do concreto auto-adensável.....	6
2.2. Histórico do CAA	7
2.3. Propriedades e características do concreto auto-adensável.....	11
2.3.1. Propriedades e características do CAA no estado fresco	17
2.3.2. Propriedades e características do CAA no estado endurecido.....	25
2.4. Componentes do CAA.....	30
2.4.1. Cimento	30
2.4.2. Agregados.....	31
2.4.3. Aditivos minerais.....	33
2.4.4. Aditivos químicos.....	34
2.4.5. Água.....	35

2.5.	Métodos de Dosagem do CAA	36
2.5.1.	Método de dosagem proposto por Okamura e Osawa	37
2.5.2.	Método de dosagem Repette-Melo	38
2.6.	Aplicações do CAA	41
2.7.	Vantagens e Desvantagens do CAA	55
2.8.	Custos do CAA	57
3.	FERRAMENTAS PARA CONTROLE DE QUALIDADE E ACEITAÇÃO DO CAA ..	62
3.1.	Fabricação e dosagem na usina	62
3.2.	Transporte e recebimento na obra	63
3.3.	Preparação para aplicação	64
3.4.	Lançamento	66
3.5.	Cura	69
3.6.	Controle Tecnológico	70
3.7.	Variáveis intervenientes no processo de qualidade do CAA	71
4.	ESTUDO DE CASO	75
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exsudação de concretos sem aditivos (Fonte: COLLEPARDI, 2001)	7
Figura 2: Exsudação de concretos com aditivos superplastificantes (Fonte: COLLEPARDI, 2001)	8
Figura 3: Produção anual de CAA no Japão, de 1990 até 1997 (Fonte: OUCHI, 1999)..	10
Figura 4: Aplicação do concreto auto-adensável em lajes (IBRACON, 2011).....	11
Figura 5: Curvas de fluxos comparativos do CC e do CAA (adaptado de FAVA e FORNASIER (2004), <i>apud</i> ALENCAR (2008))	14
Figura 6: Ensaio de espalhamento do cone de Abrams (Slump Flow Test).....	17
Figura 7: Medição do espalhamento do CAA (RILEM, 2006)	17
Figura 8: Alto nível de segregação com concentração de agregados graúdos no centro do círculo formado pelo espalhamento do concreto e presença de argamassa na extremidade. (Fonte: Revista Concreto & Construções, 2008)	18
Figura 9: Moderado nível de segregação. Pode-se observar que a brita não conseguiu acompanhar a argamassa até a extremidade do espalhamento (Fonte: Revista Concreto & Construções, 2008).....	19
Figura 10: Leve exsudação de água, observada na beira do concreto (Fonte: Revista Concreto & Construções, 2008)	19
Figura 11: Concreto com adequado nível de fluidez e coesão (Fonte: Revista Concreto & Construções, 2008).....	19
Figura 12: Ilustração do Funil (V-Funnel). Valência (2007).....	20
Figura 13: Ensaio do Anel J (Fonte: Revista Concreto & Construções, 2008)	22
Figura 14: Ensaio da Caixa L (Fonte: Revista Concreto & Construções, 2008)	23
Figura 15: Ensaio do Tubo U (Fonte: Revista Concreto & Construções, 2008)	24
Figura 16: Faixas granulométricas consideradas na literatura para o agregado miúdo a serem utilizadas em CAA (Fonte: MELO, 2005)	32
Figura 17: Faixas granulométricas consideradas na literatura para o agregado graúdo a serem utilizadas em CAA (Fonte: MELO, 2005)	33
Figura 18: Comparação entre as proporções de materiais utilizados no CAA e em CC (Fonte: Adaptado de OKAMURA e OUCHI, 2003)	37

Figura 19: Esquema do método utilizado por Okamura e Ozawa para obtenção da auto- adensabilidade (Fonte: Adaptado de OKAMURA e OUCHI, 2003).....	38
Figura 20: Fluxograma do método de dosagem (Fonte: MELO, 2005)	40
Figura 21: Comparação dos componentes do CAA e do CC (Modificado a partir de: LAUMET <i>et al.</i> , 2005).....	40
Figura 22: Ponte Shin-Kiba Ohashi (Fonte: OKAMURA; OUCHI, 2003).....	41
Figura 23: Blocos de ancoragem na ponte Akashi-Kaikyo (Fonte: Comunidade da Construção, 2012).....	42
Figura 24: Tanque de gás (Fonte: Comunidade da Construção, 2012)	44
Figura 25: Estrutura em forma de “iglu” (Fonte: BERNABEU e LABORDE, 2000).....	46
Figura 26: Parede para simulação de terremotos (Fonte: TUTIKIAN e DAL MOLIN, apud GRACE, 2005)	47
Figura 27: Pilares do anel rodoviário de Valência (Fonte: Comunidade da Construção, 2012).....	48
Figura 28: Prefeitura de Mollet del Valles (Fonte: Comunidade da Construção, 2012) ...	48
Figura 29: Filмотeca de Barcelona (Fonte: Comunidade da Construção, 2012).....	49
Figura 30: Recuperação de uma ponte na Suíça (Fonte: GOMES, 2002)	49
Figura 31: Ponte recuperada (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).....	50
Figura 32: Armadura da estrutura da ponte (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).....	50
Figura 33: Recuperação de estrutura (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).....	50
Figura 34: Edifício Camila (Fonte: Realmix, 2005)	51
Figura 35: Concretagem da laje de fundo dos poços da estação (Fonte: Revista Técnica, 2008).....	52
Figura 36: Museu Iberê Camargo (Fonte: Museu Iberê Camargo, 2009).....	53
Figura 37: Pré-moldado em fachada (TUTIKIAN, 2008)	53
Figura 38: Arcos pré-moldados (TUTIKIAN, 2008).....	53
Figura 39: Concretagem das estacas da Ponte do rio Guamá (Fonte: CONSTRUBASE, 2010).....	54
Figura 40: Vigas do elevador Daniel Berg (Fonte: CONSTRUBASE, 2010)	54

Figura 41: Edifício Reserva Ibiapaba da construtora Gafisa (Fonte: CONSTRUBASE, 2010).....	54
Figura 42: Redução do custo dos aditivos superplastificantes nos últimos anos (Fonte: Comunidade da Construção, 2012).....	61
Figura 43: Descarga de concreto feito pelo caminhão betoneira (Fonte: REALMIX, 2005)	63
Figura 44: Base para espalhamento do CAA no ensaio Slump Flow Test (Fonte: QRTZ Incorporações – Belo Horizonte)	65
Figura 45: Dosagem de aditivos em obra (Fonte: Edifício Camila - Goiânia).....	66
Figura 46: Sarrafeamento do CAA (CAINELLI, 2009).....	69
Figura 47: Lançamento do CAA (CAINELLI, 2009).....	69
Figura 48: Moldagem dos corpos de prova (Fonte: QRTZ Incorporações – Belo Horizonte)	71
Figura 49: Amostras de aditivos, agregados graúdos e cimento (Fonte:Supermix – Belo Horizonte)	77
Figura 50: Docas de armazenamento de agregados miúdos (Fonte:Supermix – Belo Horizonte)	78
Figura 51: Aditivos químicos para o CAA (Fonte:Supermix – Belo Horizonte).....	78
Figura 52: Controle automatizado de dosagem do CAA (Fonte: Supermix – Belo Horizonte)	79
Figura 53: Controle manual de dosagem do CAA (Fonte: Supermix – Belo Horizonte) ..	79
Figura 54: Trecho de laje liberado para o concreto (Fonte: QRTZ Incorporações – Belo Horizonte)	81
Figura 55: Nota fiscal de concreto (Fonte: Supermix - Belo Horizonte).....	82
Figura 56: Espalhamento do CAA no ensaio Slump Flow Test (Fonte: QRTZ Incorporações – Belo Horizonte)	82
Figura 57: Identificação dos corpos de prova (Fonte: QRTZ Incorporações – Belo Horizonte)	83
Figura 58: Aplicação do CAA em lajes (Fonte: QRTZ Incorporações – Belo Horizonte) .	84
Figura 59: Aplicação do CAA em lajes (Fonte: Direcional Engenharia – Belo Horizonte)	84

Figura 60: Sistema de fôrmas em lajes (Fonte: Direcional Engenharia – Belo Horizonte)	
.....	84
Figura 61: Sistema de fôrmas em lajes e paredes (Fonte: QRTZ Incorporações – Belo Horizonte)	
.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Traços utilizados no fim dos anos 70 (Fonte: COLLEPARDI, 2001).....	8
Tabela 2: Módulo de elasticidade do CAA comparado ao CBB (ABCP, 2012).....	12
Tabela 3: Limites de resultados para o slump flow test T_{50} cm, segundo diversas referências	18
Tabela 4: Classes de espalhamento do CAA em função de sua aplicação (NBR 15823, 2010).....	20
Tabela 5: Classes de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação (Fonte: NBR 15823, 2010)	21
Tabela 6: Limites de resultados e dimensões para o V-Funnel test segundo diversas referências	22
Tabela 7: Classes de habilidade passante do CAA em função de sua aplicação (Fonte: NBR 15823, 2010).....	24
Tabela 8: Classes de resistência à segregação do CAA em função de sua aplicação (Fonte: NBR 15823, 2010)	25
Tabela 9: Limites de aceitação para CAA (Fonte: MELO, 2005).....	39
Tabela 10: Características de dosagem do CC para os blocos de ancoragem (Fonte: OUCHI, 2003)	42
Tabela 11: Características de dosagem do CAA para os blocos de ancoragem (Fonte: OUCHI, 2003)	43
Tabela 12: Consumo de material seco para 1 m ³ de concreto (Fonte: OSTERBERG, 2003).....	45
Tabela 13: Resumo dos resultados obtidos no estudo comparativo (Fonte: REPETTE, 2007).....	58
Tabela 14: Custos de execução com CC (Fonte: TÉCHNE, nº 132, 2008).....	59
Tabela 15: Custos de execução com CAA (Fonte: TÉCHNE, nº 132, 2008).....	60
Tabela 16: Comparação de custos globais CAA x CC (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008)	61
Tabela 17: Tempo de cura do concreto (Fonte: Supermix – Belo Horizonte)	85
Tabela 18: Comparativo entre CAA e CC (Fonte: Comunidade da Construção, 2012) ...	87

LISTA DE ABREVIATURAS E NOTAÇÕES

CAA	Concreto Auto-Adensável
CC	Concreto Convencional
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
SINDUSCON-MG	Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais
ABESC	Associação Brasileira das Empresas dos Serviços de Concretagem
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
NBR	Norma Brasileira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBB	Concreto Bombeável Convencional
EPG	European Project Group
SF	Slump Flow
VS	Viscosity Slump T500
VF	Viscosity Funnel
PA	Habilidade Passante
PL	Diâmetro obtido no ensaio do Slump flow
PJ	Diâmetro obtido no ensaio do J-ring
SR	Resistência à segregação
ACI	American Concrete Institute
REF	Concreto Convencional de Referência
CCV	Concreto Convencional Vibrado
NM	Norma Mercosul
CEB	Comitê Europeu de Concreto

LISTA DE SÍMBOLOS

CPs	Corpos de prova
MPa	Mega pascal
Fck	Resistência à compressão característica do concreto
E_{upv}	Módulo de elasticidade obtido pelo método de ultrassonografia
E_{sec}	Módulo de elasticidade obtido pelo método da secante
a/c	Relação água/cimento
ft	Resistência à tração
fc	Resistência à compressão
Ec	Módulo de deformação estático
a/f	Relação água/finos
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
kg	kilograma
m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
C3A	Aluminato tricálcio
C3S	Silicato tricálcio
C2S	Silicato bicálcio

RESUMO

O concreto auto-adensável (CAA) é considerado, atualmente, uma grande perspectiva tecnológica na execução de estruturas em concreto armado, envolvendo o uso de aditivos combinados com o uso de altos teores de finos. Todavia, existe um receio por parte dos construtores quanto a sua utilização em lajes moldadas in loco. O desconhecimento do traço, dos métodos de dosagem, dos processos de aplicação, do controle tecnológico e dos custos advindos de sua demanda tem sido fatores preponderantes para tal fato. Assim, o presente trabalho apresenta as características dos materiais do CAA e de suas composições típicas sob a ótica de alguns estudos científicos. Identifica, posteriormente, as etapas que compõem o processo de fabricação, transporte e aplicação, por meio de observações e trabalhos realizados em usinas de concreto e obras civis. Evidencia também, o estudo dos métodos de dosagem, o estabelecimento de diretrizes para o controle tecnológico do concreto, assim como a importância da utilização de ferramentas da qualidade e a avaliação dos índices de concretagem sob o ponto de vista físico e econômico. O presente trabalho utiliza como base de dados um estudo de caso realizado em duas obras prediais em Belo Horizonte-MG. Nesse caso, foram apresentados procedimentos e análises durante a concretagem de lajes, além de um conjunto de etapas que exemplificam todo o ciclo do concreto dentro da obra: dosagem, transporte, aplicação e cura. Apresenta também os indicadores de produtividade e custo, os quais possibilitam a comparação entre resultados de serviços de obras prediais que utilizam o concreto convencional, confrontando índices. Com base nos resultados, observa-se que o conhecimento da aplicação desta tecnologia a partir dos procedimentos necessários de planejamento viabilizam sua utilização.

Palavras-chave: concreto auto-adensável; métodos de dosagem; processos de aplicação; controle tecnológico.

ABSTRACT

Self-compacting concrete (SCC) is considered, nowadays, a great technological perspective regarding the building of reinforced concrete structures, which involves the use of additives combined with the use of high levels of fines. However, builders show some apprehension regarding its use in *in situ* concrete slabs. Unawareness of rating, mix-proportioning methods, application procedures, technological control and its demanding costs are predominant factors that endorse such behavior. Therefore, this paper presents the characteristics of SCC materials and its typical compositions from the perspective of some scientific studies. It also identifies the stages of its manufacturing, transportation and application by means of observation and practical work done in concrete plants and construction sites. It highlights, as well, the study of mix-proportioning methods, the set of standards for technological control of the concrete, in addition to the material and economic importance of applying quality-control tools and evaluation of rates concreting. This paper data-base comes from a study-case of two construction sites consisting of buildings in the city of Belo Horizonte, Minas Gerais. In this particular case, there is presentation of procedures and analysis during the process of making concrete ceiling slabs, besides a series of stages that exemplify all the concrete cycle within a construction site: mix-proportion, transport, application and cure (drying). It also presents productivity and costs indicators, which enable the comparison between results originated from building construction sites that use conventional concrete, comparing indices. Based on the results, it is observed that the knowledge of application of such technology from necessary planning procedures enable its use.

Key-words: Self-compacting concrete; mix-proportioning methods; application procedures; technological control.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações gerais

A obtenção de concretos que otimizem o processo construtivo tem sido objeto de estudo há muitos anos. A utilização de concretos convencionais em estruturas que apresentam elevada taxa de armadura, ou pouca viabilidade técnica de bombeamento em situações de concretagens complexas, vem obrigando os construtores a recorrerem a concretos especiais. O concreto auto-adensável (CAA) representa uma evolução neste aspecto, capaz de conferir à construção civil benefícios econômicos (aumento da produtividade e redução de custos); tecnológicos (permitem estruturas com fôrmas complexas e/ou taxas de armaduras); e ambientais (melhoria do ambiente de trabalho e contribuição para diminuição do impacto ambiental).

De acordo com Nagataki (1999), o sucesso do desenvolvimento do aditivo superplastificante, anti-segregante em concretos submersos no oeste da Alemanha durante os anos 70 do século XX, proporcionou o impulso subsequente para o desenvolvimento do concreto auto-adensável e de alta trabalhabilidade no Japão nos anos 80 do mesmo século.

Segundo Okamura e Ouchi (2003), a partir de 1983, no Japão, o problema de durabilidade nas estruturas de concreto foi o assunto de maior interesse. A criação de um concreto durável requeria compactação adequada por operários da construção civil. No entanto, a gradual redução no número de trabalhadores japoneses, também contribuiu para diminuir a mão de obra qualificada para os serviços de construção. Uma das soluções para obter estruturas de concreto duráveis independente da qualificação da mão de obra foi por meio do emprego de um concreto auto-adensável, com capacidade para preencher todos os espaços da fôrma somente com o peso próprio sem o emprego de vibração para o adensamento. A necessidade deste tipo de concreto foi proposta por Okamura em 1986, devido à dificuldade de se executar estruturas com fôrmas complexas e com altas taxas de armaduras, sem prejudicar a qualidade e a durabilidade do concreto. Havia, também, duas preocupações. A primeira, em relação ao meio ambiente: a eliminação de parte da poluição sonora, que seria obtida com a ausência do uso de vibradores mecânicos; a segunda, em relação aos resultados físico-econômicos: redução de custos e de prazos de execução durante os processos de aplicação.

Okamura (1997), relata que o primeiro concreto auto-adensável foi desenvolvido na Universidade de Tóquio por Ozawa, em 1988. O desempenho do protótipo foi

satisfatório, com atenção especial para a retração por secagem, calor de hidratação, densidade depois de endurecido e outras propriedades.

A sua maior aplicação em obras civis ocorreu em 1992, no Japão, com a concretagem das ancoragens de concreto da ponte metálica de maior vão livre do mundo. A ponte Akashi-kaikyo, inaugurada em 1998, com 1991 metros de vão livre, consumiu nas ancoragens 290.000 m³ de concreto.

A tendência do mercado em construir estruturas cada vez mais arrojadas exige o desenvolvimento de tecnologias compatíveis com a realidade técnico-econômica da obra. A concretagem destas estruturas, quando realizada em armação densa e fôrmas complexas, ocasiona, na maioria das vezes, problemas no adensamento, formando descontinuidade e segregação nas peças concretadas. Contudo, quando executada em concreto auto-adensável, estas ocorrências tendem a diminuir. Além disso, nos últimos anos, a demanda por mão de obra qualificada tem sido um grande desafio para a indústria da construção civil e a grande maioria dos processos de concretagem em lajes tem extrapolado os limites de tempo estabelecidos ao longo do dia, tem gerado perdas de concreto significantes, desgastes físicos nos funcionários e incômodos nas vizinhanças. Dessa forma, se faz necessário nos dias de hoje, a aplicação de materiais que reduzam a mão de obra direta, que aumentem a produtividade e que colaborem para o desenvolvimento sustentável. O CAA dispensa o adensamento com vibrador de imersão, facilita o lançamento e gera menos ruído de aplicação.

Apesar da importância deste insumo em uma obra, no Brasil o CAA é usado ainda de forma restrita, sendo mais preponderante em indústrias de pré-moldados. A grande maioria das empresas não viabilizam o seu emprego em concretagens de lajes; algumas por não dominarem os processos de aplicação, por desconhecerem seu comportamento em relação às suas propriedades e por desconfiarem da qualidade final que o mesmo pode proporcionar em função de seu traço, outras por acharem os materiais constituintes caros e os processos de controle tecnológico complicados.

1.2. Justificativa

O presente trabalho busca apresentar as características do concreto auto-adensável em lajes moldadas in loco, e enfatiza a disseminação de práticas de controle e monitoramento durante o seu ciclo de fabricação, transporte, dosagem, lançamento e cura.

A técnica de compactação do concreto em elementos estruturais é considerada uma etapa fundamental no processo de concretagem em lajes moldadas in loco. Tal prática garante um concreto mais homogêneo, com poucos vazios, proporcionando melhor resistência e durabilidade à estrutura. Entretanto, os processos de compactação se tornam difíceis quando as estruturas apresentam pouca acessibilidade em função da complexidade de suas fôrmas e da alta densidade de suas armaduras. Conforme Nunes (2001), técnicas de compactação eficientes e mão de obra qualificada são pré-requisitos necessários para uma boa compactação do concreto em elementos estruturais, a fim de garantir suas propriedades desejadas no estado endurecido. O CAA possui a capacidade de se mover no interior das fôrmas por ação de seu peso próprio, ou seja, sem a necessidade de aplicação de forças externas para sua compactação. Ele preenche todos os espaços vazios de modo uniforme, fazendo com que a estrutura apresente-se bastante homogênea.

Outro fato interessante é que, de acordo com o Sinduscon-MG, o custo da mão de obra representa atualmente mais de 50% do custo de construção de uma obra. Essa constatação nos leva a investir em processos que reduzam significativamente a mão de obra e conseqüentemente os custos de aplicação e manutenção dos nossos concretos.

Além disso, o uso de resíduos industriais como componentes do concreto, provenientes das indústrias metalúrgicas e termoelétricas, tem proporcionado um material de excelente desempenho tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. A utilização de sílica ativa, cinza volante, metacaulim e cinzas de casca de arroz, gera um ganho ecológico significativo, contribuindo assim para a diminuição dos impactos ambientais. Segundo Lisboa (2004), neste sentido, o CAA por necessitar de uma alta quantidade de finos em sua composição, estimula o uso de resíduos industriais, e se mostra um material com ótimas características para o desenvolvimento tecnológico ambientalmente amigável do concreto.

Atualmente, tem sido constante a busca por produtividade dentro dos canteiros de obra, sobretudo nas etapas de estrutura. Neste contexto, o CAA apresenta aspectos relevantes em relação ao concreto convencional (CC). Neville (1997), afirma que o concreto auto-adensável é bem apropriado para o bombeamento, pois apresenta maior

trabalhabilidade que os concretos com abatimento normal, de modo que a velocidade de bombeamento pode ser aumentada, e é possível realizar o bombeamento a grandes distâncias. Hewlett (1978), observou a redução das horas gastas com o bombeamento e equipe na efetivação da concretagem de peças densamente armadas, pela redução do número de operações de bombeamento, com ocorrência de menor número de problemas com o equipamento do que os ocasionados pelo CC. Geyer & Sena (2002), assim como Sonebi (2004), afirmam que a tecnologia do concreto auto-adensável permite um rápido lançamento e acabamento, melhorando a produtividade e rentabilidade da obra.

As exigências de melhorias nas condições ambientais na construção civil tem crescido progressivamente. Dessa maneira, a eliminação de ruídos e o aumento da segurança dos operários, são questões que vem preocupando os empresários da construção civil. Segundo Gomes (2002), o CAA melhora o ambiente de trabalho, uma vez que o processo dispensa o uso de equipamentos de vibração.

Em razão de todos os fatores citados, a avaliação do uso do CAA em estruturas de concreto armado, é um passo importante para a disseminação e aperfeiçoamento tecnológico desse material.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral:

A proposta deste trabalho será apresentar as características do CAA e avaliar as etapas e os procedimentos de controle para sua aplicação em lajes moldadas in loco: dosagem, transporte, lançamento, cura e controle tecnológico.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Apresentar a evolução do CAA ao longo dos anos na indústria da construção civil;
- Evidenciar a contribuição do CAA no desenvolvimento das construções atuais;
- Identificar como e em que grau de conhecimento e qualidade as concreteiras estão produzindo o CAA;
- Analisar até que ponto as variações encontradas no estado fresco do CAA são “culpa” de uma variação nas matérias primas;
- Avaliar até que ponto a falta de controle na produção e a falta de treinamento das equipes afetam a qualidade do CAA;

- Exemplificar os resultados obtidos em obras que viabilizaram o uso do CAA;
- Ressaltar a importância dos índices de produtividade e de custo do CAA em comparação ao CC.

1.4. Estruturação do trabalho

O trabalho foi dividido em 6 capítulos:

O capítulo 1 apresenta a introdução, a justificativa do trabalho e os objetivos (geral e específicos).

A pesquisa bibliográfica será apresentada no capítulo 2. Este mostra um embasamento teórico sobre o concreto auto-adensável exemplificando suas características e propriedades, os ensaios de caracterização, os materiais constituintes, os métodos de dosagem, as principais aplicações, suas vantagens e desvantagens, o seu custo.

O capítulo 3 descreve as principais etapas do processo de concretagem de lajes quando se aplica o CAA, bem como as ferramentas de controle que devem ser utilizadas ao longo do processo. Enfatiza também as variáveis intervientes no processo de qualidade do CAA ao longo do ciclo de concretagem.

O estudo de caso será apresentado no capítulo 4.

O capítulo 5 são as considerações finais, e finalmente o capítulo 6 apresentará as referências bibliográficas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados levantamentos realizados em dissertações, teses, artigos científicos e livros sobre os temas relevantes a respeito do concreto auto-adensável.

2.1. Definição do concreto auto-adensável

De acordo com a ABESC, o termo concreto auto-adensável identifica uma categoria de concreto que pode ser moldado em fôrmas que preenche cada espaço vazio por meio de seu peso próprio, não necessitando de qualquer tecnologia de adensamento ou vibração externa, permitindo que o mesmo penetre coeso ao longo das armaduras.

Conforme Catoia (2009), o CAA pode ser definido como um concreto de alto desempenho com excelente deformabilidade no estado fresco e alta resistência à segregação.

Segundo o IBRACON, o concreto auto-adensável é uma tecnologia favorável às condições solicitadas pelas construções de habitações de interesse social, uma vez que a sua produção envolve baixo consumo de cimento e ganho na produtividade, pois dispensa o adensamento em canteiro de obras e garante a moldagem adequada de elementos estruturais com pequenas dimensões e alta densidade de armaduras.

A auto-adensabilidade do concreto no estado fresco é descrita como a habilidade de todo o material preencher espaços e envolver as barras de aço e outros obstáculos, por meio, exclusivamente, da ação da força da gravidade, mantendo uma homogeneidade adequada (BOSILJKOV, 2003 *apud* BARROS, 2008).

Na definição de Hayakawa *et al.*, (1993), o concreto auto-adensável é estudado pelo termo super trabalhável, entendido como um novo tipo de concreto com excelente moldabilidade e alta resistência à segregação, o qual pode ser executado sem o uso de vibradores.

Quanto à terminologia, entre diversas bibliografias sobre o concreto auto-adensável, as mais utilizadas são: concreto fluido (GIOVANETTI, 1989), concreto super trabalhável (HAYAKAWA *et al.*, 1993), concreto super fluido (NEVILLE, 1997), concreto auto-compactado (OKAMURA, 2003), concreto de alta trabalhabilidade (MEHTA & MONTEIRO, 1994) e outros. Neste trabalho, a terminologia concreto auto-adensável é simplificada por CAA, por ser a mais difundida no Brasil.

2.2. Histórico do CAA

A princípio o CAA não é um material novo, pois em concretagens submersas já era utilizado um concreto que não exigia compactação ou adensamento externo, até porque era impossível. Mas como estes concretos continham alto teor de pasta de cimento e aditivos plastificantes, certamente apresentavam problemas de retração, calor de hidratação elevado e altos custos (BARTOS, 2000).

Collepari (2001) acredita que o CAA já era estudado e utilizado em casos práticos em Hong Kong, Nova Iorque e Trieste (Itália) desde 1980, porém com outra nomenclatura. Até meados dos anos 70, o ACI não recomendava que se utilizasse misturas com resultados de abatimento acima de 175 mm, já que a exsudação aumentava exponencialmente, como se observa na Figura 1. É notável, inclusive, que à medida que o consumo de cimento diminui o problema se agrava, pois a quantidade de finos é menor. Mas com o advento dos aditivos superplastificantes, é possível dosar concretos fluidos com valores de abatimento acima de 250 mm com desprezível ou nenhuma exsudação conforme Figura 2. Assim, foi sugerido que se nomeasse de concretos reodinâmicos aquelas misturas bastante fluidas, mas ao mesmo tempo coesivas e com baixa tendência à segregação e exsudação.

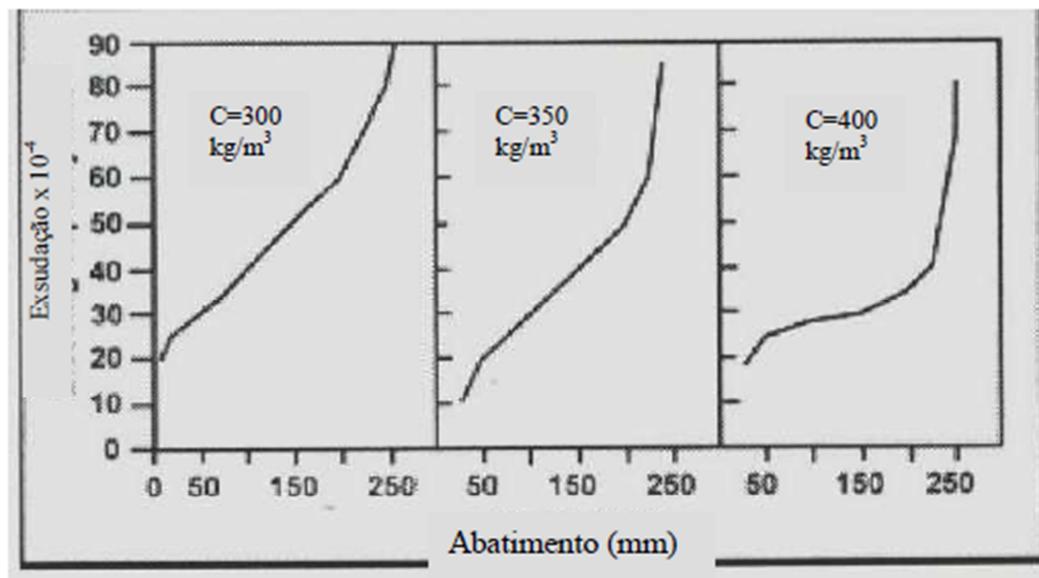


Figura 1: Exsudação de concretos sem aditivos (Fonte: COLLEPARDI, 2001)

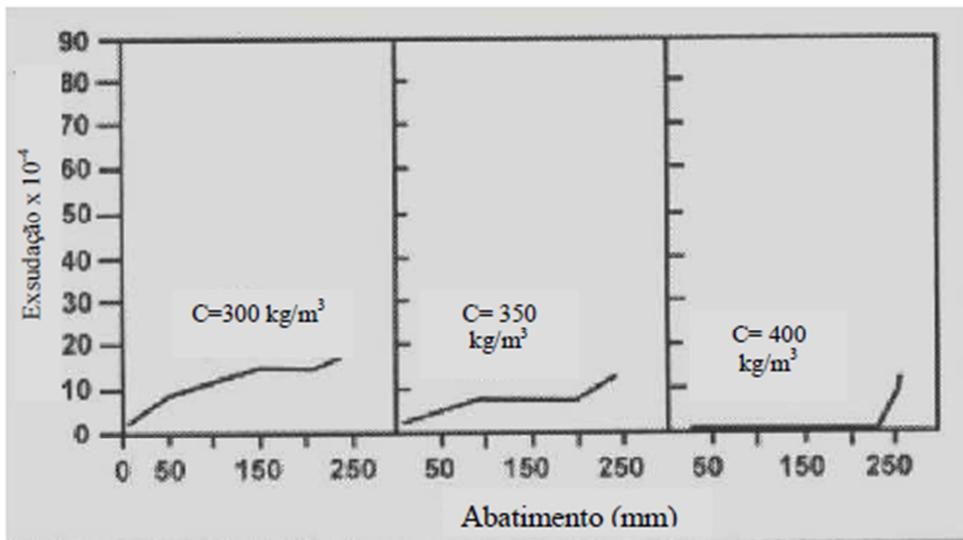


Figura 2: Exsudação de concretos com aditivos superplastificantes (Fonte: COLLEPARDI, 2001)

O princípio mais importante para concretos fluidos e resistentes à segregação, incluindo o CAA, é o uso de aditivos superplastificantes combinados com alto teor de materiais finos, sejam eles cimento Portland, adições minerais, filler de rochas (calcário, basáltico, granítico) e/ou areia fina. Na Tabela 1, a mistura A descreve um traço utilizado no fim dos anos 70 em uma doca usando o método Tremie de concretagens submersas, em que o concreto foi adensado sem vibração ou compactação externa em um volume de 40.000 m³. Já a mistura B, foi aplicado com vibração na superestrutura desta obra (COLLEPARDI, 2001).

Tabela 1: Traços utilizados no fim dos anos 70 (Fonte: COLLEPARDI, 2001)

Componente	Mistura A	Mistura B
Cimento Portland Comum	400 kg/m ³	300 kg/m ³
Cinza Volante	-	90 kg/m ³
Areia Fina (0,075 - 0,60mm)	180 kg/m ³	-
Areia Média (0 - 5mm)	990 kg/m ³	670 kg/m ³
Pedregulho (5 - 15mm)	630 kg/m ³	305 kg/m ³
Pedregulho (10 - 20mm)	-	710 kg/m ³
Água	190 kg/m ³	187 kg/m ³
Superplastificante	7 kg/m ³	4 kg/m ³
Relação água/cimento	0,47	0,62
Relação água/aglomerante	0,47	0,48
Abatimento (Slump)	260 mm	220 mm

Observa-se que o abatimento do tronco de cone da mistura B não é extremamente alto, ao contrário do da mistura A, em que o valor de 260 mm, é tão alto que chega a ser intrigante o modo como foi medido, já que o ensaio não foi tão preciso.

O concreto auto-adensável foi desenvolvido no continente asiático para resolver o problema da durabilidade das construções em concreto armado. A proposta inicial deste produto foi feita no Japão por Hajime Okamura durante os anos 80 e, não coincidentemente, o desenvolvimento do CAA veio para suprir uma necessidade de mercado quando no Japão foi identificado um alto índice de patologias, nos elementos de concreto armado, atribuídas diretamente a uma diminuição nos níveis de qualidade da mão de obra especializada para os processos de compactação. O objetivo era criar um produto capaz de garantir a compactação do concreto sem que o fator humano fosse uma variável capaz de afetar o produto final. Primeiramente, Okamura (1997), pensou em adaptar para as estruturas convencionais, os concretos submersos resistentes à lixiviação, que já eram utilizados na época para resolver este problema. É importante frisar que aquele concreto possuía uma excelente resistência à segregação devido ao aditivo modificador de viscosidade, a base de polímeros solúveis em água. Mas este tipo de concreto não satisfazia completamente às expectativas, basicamente por duas razões: a grande viscosidade impedia a eliminação de bolhas de ar aprisionadas na massa do concreto e a compactação deste em áreas altamente reforçadas com armaduras era complicada. Assim, os estudos foram direcionados para a trabalhabilidade de concretos.

Segundo Okamura (1997), para o concreto fluir uniformemente por meio de barras de aço, a tensão de cisalhamento da argamassa deve ser pequena. Esta tensão surge na argamassa, devido ao deslocamento das partículas de agregado graúdo. Observando-se resultados experimentais, Okamura concluiu que a tensão de cisalhamento da argamassa dependeria de uma relação água/aglomerante ótima para a menor tensão. Assim, surgiu um problema: aumentando a relação água/aglomerante, aumenta-se a fluidez do concreto, mas, ao mesmo tempo, diminui sua viscosidade. Por isso é que para a produção de concretos auto-adensáveis é praticamente obrigatório o uso de aditivos superplastificantes e recomendável o uso de modificadores de viscosidade, o primeiro para aumentar a fluidez e o segundo para aumentar a viscosidade do concreto.

O fato é que em 1988, Ozawa desenvolveu o primeiro concreto auto-adensável. Alguns estudos deram segmento a esta nova tecnologia e em 1993, Okamura, Ozawa e Mackawa publicaram o primeiro livro na área (em japonês) High Performance Concrete (OKAMURA e OUCHI, 2003).

Segundo Bartos (2000), no início dos anos 90, haviam poucas publicações a respeito do CAA, pois as grandes corporações japonesas que estavam desenvolvendo esta nova tecnologia mantinham as pesquisas secretamente, para obterem ganhos comerciais. Inclusive, o CAA era utilizado com outros nomes, como SQC (Super Quality

Concrete) pela Maeda Corporation, NVC (Non-Vibrated Concrete) pela Kajima Corporation, ou Biocrete pela Taisei Corporation.

Posteriormente, nessa época, quando a Europa vivia um “boom” da construção civil e encontrava sérias dificuldades para contratar mão de obra especializada, várias empresas e universidades europeias iniciaram o projeto “Brite-Euram BE96-3801-Racional Production and Improved Working Environment Through Using Self Compacting Concrete”. Este projeto teve como objetivo desenvolver e introduzir a tecnologia do CAA na produção, transporte e execução em grande escala.

Schlumpf (2004), relata que na Suíça, o concreto auto-adensável foi introduzido em 1998, tendo sido usado na obras de concretagem de um túnel sob o rio Enme, com o concreto submetido a situações adversas; na reabilitação do túnel Schneich na Suíça, onde o concreto auto-adensável apresentou reduzida retração e boa resistência ao ciclo gelo degelo; na utilização na obra da “AlpTransit Gotthard”, apresentando boa resistência a sulfatos, permanecendo trabalhável por 6 horas em ambiente com temperaturas elevadas; e finalmente, teve extensa aplicação na construção do “Hotel Crowne-Plaza”, onde foi economicamente utilizado em estruturas, substituindo o concreto convencional.

O desenvolvimento do CAA provocou um forte impacto nos engenheiros e profissionais em tecnologia de concreto na época. O novo tipo de concreto desenvolveu-se intensiva e rapidamente até se tornar uma importante tecnologia para as construções, sendo rapidamente adotada em muitos países da Europa, e sobretudo no Japão, como percebe-se na Figura 3, que ilustra a produção anual de 1990 até 1997 (OUCHI, 1999). Person (2003), afirma que o CAA já representava 5% da produção total de concreto da Suécia em 2003. Estudos sobre a utilização de diferentes tipos de fíleres e critérios de bloqueio para agregados britados e seixos, em ensaios na Caixa L, foram significativos ao longo dos anos (VAN, 1994; TANGTERMSIRIKUL *et al.*, 1995; Peterson *et al.*, 1996). A pesquisa da reologia do CAA e da pasta de cimento começou em 1992 e serviu de base para métodos de dosagem, como o de Petersson *et al.*, (1996).

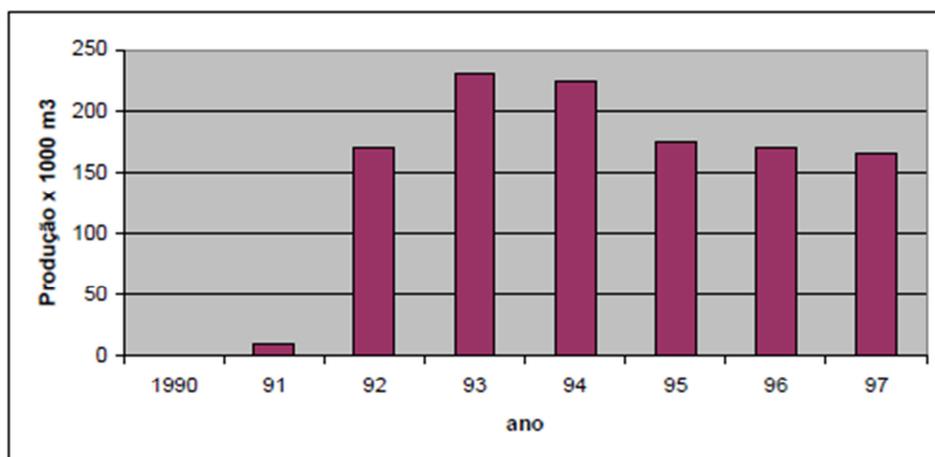


Figura 3: Produção anual de CAA no Japão, de 1990 até 1997 (Fonte: OUCHI, 1999)

Hoje, o CAA tem tomado significativo impulso na Europa, tanto na indústria de pré-moldados de concreto como nas construções convencionais. Grande parte da indústria do concreto, adotou o CAA como solução para otimizar a produção, principalmente durante as concretagens, relocando os trabalhadores liberados para outros setores. No Brasil, a primeira grande concretagem com o CAA, ocorreu apenas em 2004, em Goiânia.

2.3. Propriedades e características do concreto auto-adensável

Conforme Efnarc (2002), para um concreto ser considerado auto-adensável, ele deve apresentar três propriedades fundamentais: fluidez, habilidade passante e resistência à segregação. A fluidez é a capacidade do concreto escoar preenchendo todos os espaços (FURNAS, 2004). Pesquisas recentes mostram o bom desempenho do CAA com relação ao acabamento superficial das peças, que é altamente alterado pelas características de fluidez do material. Já a habilidade passante é a capacidade de movimentação do concreto pela fôrma, passando por entre as armaduras sem segregação. A NBR 15823 (ABNT, 2010) menciona que o CAA é capaz de preencher a fôrma e passar por embutidos (armaduras, dutos e insertos), sem obstrução do fluxo. Figura 4, mantendo sua homogeneidade nas etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento.



Figura 4: Aplicação do concreto auto-adensável em lajes (IBRACON, 2011)

A resistência à segregação é a capacidade do concreto de se manter coeso ou fluir dentro das fôrmas, passando ou não, por meio de obstáculos, sem haver separação entre a pasta de cimento e os agregados. Ela é importante, pois sua ausência pode causar baixa deformabilidade, bloqueio nas áreas reforçadas e alta retração, bem como, não uniformidade na resistência à compressão.

Todas essas características básicas devem manter um equilíbrio entre si, apesar de algumas delas, como a fluidez e a coesão - resistência à segregação - apresentarem

algum antagonismo. Uma composição adequada do CAA implica que todas as propriedades acima se mantenham em equilíbrio estável e ótimo, durante todo o tempo de operação, que dura desde o transporte à sua aplicação em obra.

Embora existam modificações nas proporções das misturas, uma das principais características do CAA é a utilização de plastificantes e superplastificantes na sua produção. De acordo com Su *et al.*, (2001), uma dosagem adequada de superplastificante tende a aumentar a fluidez, a habilidade de auto compactar-se e a resistência à segregação do concreto no estado fresco.

É importante ressaltar que o CAA apresenta diferenças prioritariamente no estado fresco frente ao CC, levantando questionamentos sobretudo em relação ao seu módulo de elasticidade. Recentes estudos sobre este assunto, utilizando materiais da região de Belo Horizonte/MG, foram realizados no primeiro semestre de 2012 pela empresa Top Mix. Os valores apresentados na Tabela 2, calculados utilizando os métodos de ultrassonografia e secante NBR 8522 (ABNT, 2008), deixam claro que, desde que bem dosado, o CAA apresentará um módulo de elasticidade similar ao do concreto convencional.

Tabela 2: Módulo de elasticidade do CAA comparado ao CBB (ABCP, 2012)

Cp	E_{upv} (GPa)	E_{sec} (GPa)
CAA(30MPa)	31,14	33,60
CAA(35MPa)	32,88	35,40
CBB(30MPa)	31,08	32,70
CBB(35MPa)	32,04	32,20

Valores médios de 3 cp's por tipo de concreto
Dr.Rodrigo Moises - Utralab

Persson (2001), compara as propriedades mecânicas do concreto auto-adensável com as propriedades do concreto vibrado convencionalmente. A pesquisa inclui quatro traços de concreto auto-adensável e quatro traços de concretos convencionais, com quatro níveis de resistência (32 MPa; 38 MPa; 50 MPa; 80 MPa). Os resultados mostram que o nível de fissuração de retração e o módulo de elasticidade dos CAAs é coincidente com os valores obtidos para os concretos convencionais, quando a resistência é mantida constante.

Geyer & Sena (2002), apresentam resultados de módulo de elasticidade e resistência à compressão para concretos convencionais e para auto-adensáveis, onde se nota, que para baixas relações água/cimento (de 0,3 a 0,4), que são amplamente utilizadas na produção de CAAs, os valores são muito próximos.

Ferreira *et al.*, (2006), estudaram no Centro Tecnológico de Engenharia Civil de Furnas Centrais Elétricas S.A., o módulo de elasticidade de concretos auto-adensáveis com diferentes consistências e níveis de resistência. As variáveis estudadas foram a relação água/cimento (0,35, 0,45 e 0,60), e o tipo de concreto (concreto convencional bombeável), com abatimento do tronco de cone de (13 ± 2) cm, e dois concretos auto-adensáveis, com espalhamentos do tronco de cone de (55 ± 2) cm e (70 ± 3) cm. Com base nos resultados experimentais, os autores sugerem a utilização do concreto auto-adensável em conjuntos estruturais, uma vez que sua alta plasticidade não prejudica o módulo de elasticidade do concreto.

Gomes *et al.*, (2006), avaliaram as propriedades mecânicas de resistência à compressão, tração e módulo de elasticidade do concreto auto-adensável. A falta de normalização que determine o procedimento para moldagem de corpos de prova para ensaios mecânicos no CAA indicou um estudo prévio do preenchimento das fôrmas para verificar a influência nos resultados de resistência à compressão. Foi desenvolvido um estudo de controle tecnológico, em que a influência do modo de colocação do CAA nos corpos de prova, de 10 x 20 cm e 15 x 30 cm, foi levada em consideração. Alguns corpos de prova (CPs) foram vibrados e comparados com aqueles sem vibração. Os autores observaram que a vibração mecânica do CAA não influenciou na resistência, indicando que a auto-adensabilidade do CAA foi eficiente. Porém, constatou-se que o CAA vibrado apresentou segregação do agregado graúdo. Os diferentes procedimentos de moldagem de CPs de 10 x 20 cm não influenciaram nas resistências à compressão do concreto. Já, em cps de 15 x 30 cm, o tipo de procedimento influenciou no resultado da resistência à compressão, em que se constatou que a colocação em duas camadas apresentou um acréscimo em torno de 14% em relação às resistências obtidas com os CPs preenchidos de uma só vez e em 03 camadas. Tais resultados comprovaram que a forma de colocação do CAA em CPs de 10 x 20 cm e 15 x 30 cm não difere daqueles exigidos na NBR 5738, que trata do número de camadas na moldagem de CPs de CC para adensamento mecânico, isto é, 1 (uma) camada para cps de 10 x 20 cm e 2 (duas) camadas em cps de 15 x 30 cm. A evolução das propriedades mecânicas do CAA, em CPs cilíndricos 10 x 20 cm, estudadas neste trabalho, foram equivalentes a de concretos convencionais, em que os valores das resistências à compressão e tração, bem como do módulo de elasticidade, cresceram com a idade.

Costa *et al.*, (2006), avaliaram a zona de interface entre o aço e o concreto auto-adensável, especificamente o comportamento de barras lisas e nervuradas imersas no concreto, onde o conjunto foi submetido ao ensaio de tirante. Os resultados mostraram que o CAA apresentou uma melhor ligação com o aço, quando comparado com o CC,

pois o espaçamento entre as fissuras foi menor, ou seja, o CAA mobilizou a tensão a que o aço estava submetido em trechos menores, o que implica uma maior eficiência da aderência aço-concreto.

As características dos CAAs são muito influenciadas por suas propriedades reológicas, tais quais: tensão de escoamento e viscosidade. Esses parâmetros reológicos são importantes quando define-se a sua trabalhabilidade. A tensão de escoamento consiste na tensão de cisalhamento mínima, necessária para que o escoamento se inicie, e está relacionado ao estado de floculação ou dispersão das partículas. A viscosidade, por sua vez, representa a declividade da reta no gráfico de tensão de cisalhamento pela taxa de cisalhamento, sendo indicativo da estabilidade da mistura (BANFILL, 1994; SHEINN *et al.*, 2003).

Conforme Gomes (2002), no CAA a tensão de escoamento deve ser baixa, garantindo o aumento da fluidez, e a viscosidade deve ser moderada para promover a estabilidade necessária. Esses parâmetros são diferentes daqueles definidos para o concreto convencional, que exige tensão de escoamento muito mais alta.

Fava & Fornasier (2004) *apud* Alencar (2008), esclarecem que as constantes reológicas, tensão de escoamento e a viscosidade plástica devem cumprir duas condicionantes fundamentais para que um CAA tenha um desempenho adequado:

- Um valor muito pequeno ou nulo de tensão crítica ou de escoamento do material, de forma que o concreto se comporte aproximadamente como um fluido newtoniano. Tal condição implica que o CAA deverá ter uma elevada fluidez.

- Um valor moderado para a viscosidade plástica, de forma a promover uma adequada resistência à segregação. Esse ponto é fundamental, já que uma viscosidade muito baixa pode prejudicar a estabilidade da mistura, enquanto uma elevada viscosidade pode levar a bloqueios dos agregados em contato com as armaduras e deficiência no acabamento superficial do concreto. As curvas de fluxo para um concreto comum e para distintos concretos auto-adensáveis, demarcando as zonas de risco de segregação e bloqueio são mostradas na Figura 5.

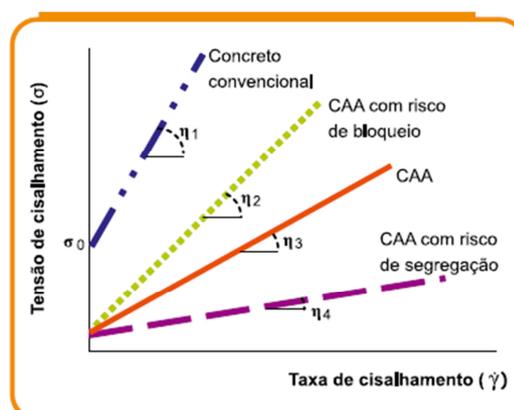


Figura 5: Curvas de fluxos comparativos do CC e do CAA (adaptado de FAVA e FORNASIER (2004), *apud* ALENCAR (2008))

O CAA é caracterizado pela necessidade de uma quantidade maior de finos, em relação ao CC, o que garante uma viscosidade adequada. Destaque também, deve ser dado ao agregado graúdo, cuja quantidade necessária empregada deve garantir a estabilidade do concreto, evitando-se a ocorrência de bloqueio. Além disso, é indispensável o uso de aditivos, a fim de se obter as características reológicas desejadas. As misturas de concretos auto-adensáveis são geralmente concebidas utilizando altos volumes de pasta quando comparamos com os concretos convencionais. O estudo reológico da pasta e da argamassa na dosagem de concretos fluidos torna-se essencial, destacando-se os efeitos das adições minerais e dos aditivos superplastificantes. Atualmente estão sendo realizados estudos no Brasil e no exterior sobre a influência das propriedades reológicas dos materiais constituintes dos concretos nas suas propriedades de deformabilidade (retração e fluência).

Al-Amoudi *et al.*, (2000), estudaram o efeito do aditivo superplastificante e da microssilica na retração plástica do concreto. Os autores utilizaram vários tipos de aditivos e mantiveram as peças ensaiadas em condições de umidade e temperatura controladas. A retração plástica variou com o tipo de superplastificante e com o tipo de microssilica. Os concretos que utilizaram superplastificante e microssilica apresentaram, na maioria dos ensaios, melhorias em sua resistência, e fissuração na retração.

Rozière, Granger, Turcry *and* Loukili (2007), analisaram a influência da variação do volume de pasta, quantidade de água, e adição mineral relacionadas às propriedades de fissuração e retração de concretos auto-adensáveis. Os autores concluíram que o volume de pasta pouco afetou a resistência a compressão e o módulo de elasticidade, apresentando pequeno decréscimo destas propriedades. A retração aumentou quase que linearmente com o aumento do volume de pasta fazendo com que o compósito ficasse mais suscetível ao aparecimento de fissuras. O aumento no conteúdo de água ocasionou redução na resistência e no módulo de elasticidade, e aumento na retração. A variação da quantidade de adição mineral não afetou significativamente a resistência à compressão, mas resultou em diminuição da retração.

Persson (2005), pesquisou, dentre outras propriedades, a fluência do concreto auto-adensável. Segundo o autor, os coeficientes de fluência e retração foram os mesmos obtidos para o concreto convencional. Isso pode ser justificado pelos fatores que afetam a fluência e a quantidade de finos do CAA. A fluência e a retração dependem de fatores como idade, tipo e quantidade de agregado, ambiente, umidade e porosidade.

Seng *and* Shima (2005), avaliando propriedades como fluência e retração em CAA, com diferentes quantidades de fíler calcáreo, concluíram que a composição de concreto auto-adensável que utilizou maior quantidade de fíler calcáreo apresentou maior fluência,

sendo que os coeficientes de fluência, por sua vez, foram proporcionais à quantidade de fíler utilizado.

Outro fator a ser analisado é a quantidade de pasta da mistura. De acordo com Rozière *et al.*, (2005), o CAA é geralmente feito com maior quantidade de pasta que o concreto vibrado, para que se tenha a fluidez e resistência à segregação necessária. Os autores afirmam que a evolução das tensões de tração não apenas depende da retração, mas também do módulo de elasticidade e da fluência, e qualquer mudança no volume de pasta, resulta em mudanças na retração e nas propriedades viscoelásticas, podendo-se assim atenuar os efeitos de retração. A substituição de parte do cimento pelo fíler calcáreo leva a uma redução na retração total.

Para Collepardi *et al.*, (2005), o excesso de materiais finos torna a mistura muito viscosa e reduz sua mobilidade, por outro lado, valores muito baixos aumentam o risco de segregação. O autor fez um estudo com dois tipos de materiais finos (pozolana e fíler calcáreo), comparando com os concretos fluidos convencionais correspondentes com mesma relação água/cimento (*a/c*) e mesma quantidade de cimento. Os resultados desse trabalho indicam que a resistência à compressão do CAA com pozolana ou fíler calcáreo são maiores que no concreto fluido comum correspondente. Em particular, a ausência de vibração para concretagem do CAA melhora significativamente a resistência de ligação do aço com relação ao concreto convencional. As deformações por retração e fluência são, aproximadamente, as mesmas para as misturas, sendo que a fluência do CAA com pozolana é maior que a dos outros dois concretos. De acordo com o autor, a retração do CAA pode variar, dependendo do tipo de agregado e proporção para um material particular.

Rols *et al.*, (1999) *apud* D'ambrosia *et al.*, (2005), mediram a retração do CAA e mostraram que esta é 50% maior que o concreto convencional com quantidade de cimento similar. Kim *et al.*, (1998), também mostraram que a retração por secagem pode ser de 30% a 50% maior para o CAA.

Um estudo do comportamento das propriedades mecânicas do CAA, feita por D'ambrosia *et al.*, (2005), mostrou um risco potencial do mesmo para fissuração. A análise dos dados das misturas deste concreto indicou uma tendência para uso de alta quantidade de pasta de cimento e baixa relação *a/c*. Como resultado, a retração autógena pode causar tensões significativas nas primeiras idades, e a capacidade de fluência pode ser diminuída em materiais de baixa relação *a/c*. Esses fatores contribuem para o aumento do risco de fissuras nas primeiras idades.

O CAA é caracterizado por suas propriedades peculiares no estado fresco e no estado endurecido.

2.3.1. Propriedades e características do concreto auto-adensável no estado fresco

As características requeridas para o CAA no estado fresco dependem da aplicação e, especialmente, das condições de confinamento relativas à geometria dos elementos de concreto, da quantidade e tipo de armadura, da presença de inserts, dos equipamentos disponíveis para moldagem (tipo de bomba ou caçamba, normalmente utilizado em pré-fabricados), dos métodos de moldagem e também da importância do acabamento.

Diferentes métodos de ensaios foram desenvolvidos ao longo dos anos, visando caracterizar as propriedades do CAA no estado fresco. Para o estabelecimento de parâmetros de capacidade de preenchimento são utilizados os ensaios de espalhamento no cone de Abrams e Funil V, para os parâmetros de capacidade de passagem entre as armaduras é utilizada o Anel J e a Caixa L e para a verificação quanto à presença de segregação é utilizado o ensaio do Tubo em U.

a) Ensaio de Espalhamento: (“Slump flow test”):

O ensaio de espalhamento consiste em preencher de concreto o cone de Abrams, sem compactar, e em seguida levantá-lo, lentamente, deixando o concreto fluir livremente em uma base plana, como mostra a Figura 6. O espalhamento final do concreto é a média aritmética de dois diâmetros perpendiculares do círculo formado pela pasta de concreto Figura 7.

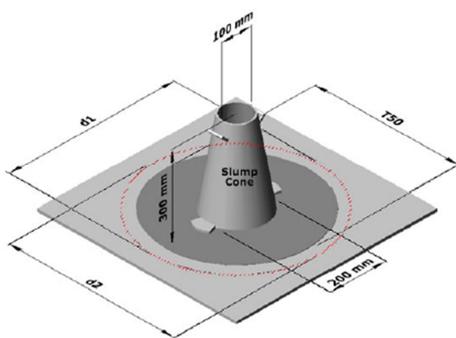


Figura 6: Ensaio de espalhamento do cone de Abrams (Slump Flow Test)



Figura 7: Medição do espalhamento do CAA (RILEM, 2006)

O T500 é uma variação do slump flow e consiste na medição do tempo que o concreto atinge uma marca de 500 mm de diâmetro centrada na base de ensaio. Para este ensaio especificamente, diversos autores estabeleceram limites de tempo, como mostra a Tabela 3. Se o tempo for abaixo do limite inferior, indica que o concreto está

muito fluido, se o tempo for acima do limite superior, indica que o concreto está muito coeso, devendo, em ambos os casos, ser corrigido.

Tabela 3: Limites de resultados para o slump flow test T₅₀ cm, segundo diversas referências

REFERÊNCIAS	TEMPO (s)	
	MÍNIMO	MÁXIMO
EFNARC (2002)	2	5
Gomes (2002)	4	10
Gomes <i>et al.</i> (2003a)	3	7
Araujo <i>et al.</i> (2003)	2	5
Rigueira Victor <i>et al.</i> (2003)	3	6
Peterssen (1999)	3	7
Tviksta (2000)	3	7
Coppola (2000)	5	12
Palma (2001)	3	6

O espalhamento está diretamente associado à capacidade de deformação do concreto, ou seja, a distância que o CAA pode fluir do ponto onde foi lançado. O Slump-flow possibilita uma avaliação visual se há ou não segregação. Para isso, basta verificar se o agregado graúdo está homogeneamente distribuído na mistura e acompanha a movimentação de argamassa até a extremidade do círculo formado pelo concreto, como mostram as Figuras 8, 9, 10, e 11.

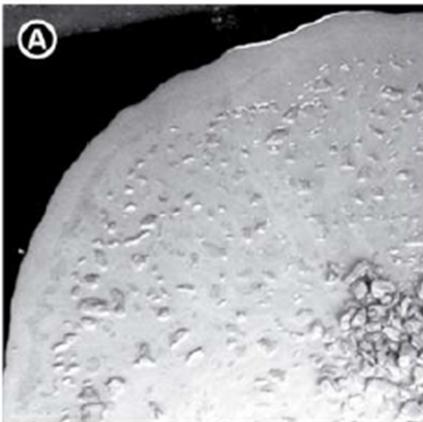


Figura 8: Alto nível de segregação com concentração de agregados graúdos no centro do círculo formado pelo espalhamento do concreto e presença de argamassa na extremidade. (Fonte: Revista Concreto & Construções, 2008)

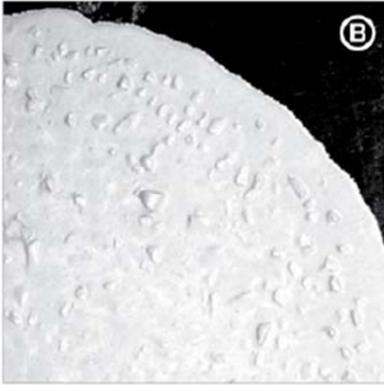


Figura 9: Moderado nível de segregação. Pode-se observar que a brita não conseguiu acompanhar a argamassa até a extremidade do espalhamento (Fonte: Revista Concreto & Construções, 2008)



Figura 10: Leve exsudação de água, observada na beira do concreto (Fonte: Revista Concreto & Construções, 2008)

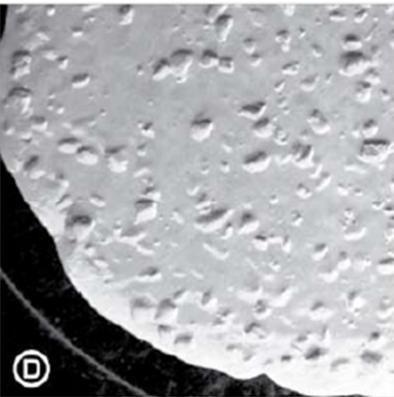


Figura 11: Concreto com adequado nível de fluidez e coesão (Fonte: Revista Concreto & Construções, 2008)

O valor adequado do espalhamento (slump flow test) depende das necessidades de projeto, sendo de acordo com a EPG (2005), classificado segundo três níveis principais:

- SF1, 550-650 mm: comum em peças ligeiramente armadas, lançadas sobre topo livre (sem restrições) e com pequena extensão, pois possibilitam curtos espalhamentos horizontais;

- SF2, 660-750 mm: adequado para a grande maioria das aplicações, como pilares e vigas;

- SF3, 760-850 mm: é tipicamente produzido com agregado de pequena dimensão característica (menor que 16 mm), em aplicações com uma taxa de armadura elevadíssima e com fôrmas muito complexas.

De acordo com a NBR 15823 (ABNT, 2010), as classes de espalhamento do CAA em função de sua aplicação, são categorizadas conforme Tabela 4:

Tabela 4: Classes de espalhamento do CAA em função de sua aplicação (NBR 15823, 2010)

Classe de espalhamento	Espalhamento mm	Aplicação	Exemplo
SF 1	550 a 650	Estruturas não armadas ou com baixa 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
SF 2	660 a 750	Adequada para a maioria das aplicações correntes	Paredes, vigas, pilares e outras
SF 3	760 a 850	Estruturas com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa, com o uso de concreto com agregado graúdo de pequenas dimensões (menor que 12,5 mm)	Pilares-parede Paredes-diafragma Pilares

b) Ensaio do Funil V (V-Funnel):

O ensaio do Funil V tem sido proposto para testar a viscosidade aparente do concreto, em fluxo confinado, a partir do registro do tempo em que o concreto leva para escoar no aparelho conforme indicado na Figura 12. O ensaio consiste em medir o tempo que a amostra de aproximadamente 10 litros de concreto necessita para fluir totalmente por meio do orifício inferior do funil, onde tal seção deve ter uma dimensão mínima de 3 vezes o tamanho máximo do agregado. Para o CAA sua dimensão deve variar de 6,5 cm a 7,5 cm.

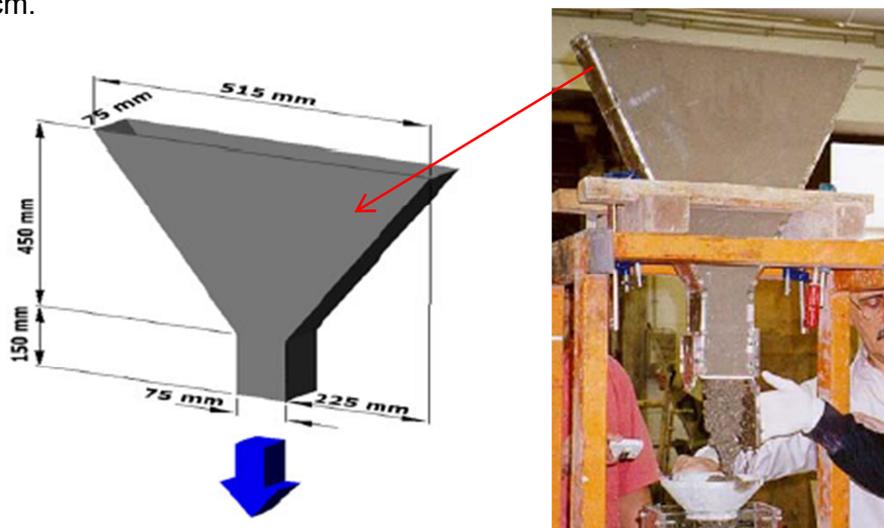


Figura 12: Ilustração do Funil (V-Funnel). Valência (2007)

Porém, ao preencher o funil novamente, aguardando-se 5 minutos, tem-se informações importantes quanto à resistência à segregação, pois se o tempo de escoamento aumentar significativamente é sinal de que houve um acúmulo dos agregados na base do funil. Segundo o EPG (2005), a viscosidade é especificada onde há exigência de boa superfície de acabamento ou em estruturas densamente armadas, sendo classificada em:

1) VS1/VF1, slump $T_{500} \leq 2$ s e V-funnel ≤ 8 s: tem grande capacidade de escoamento e de encher todos os espaços dentro da fôrma com o seu peso próprio, ainda com armadura congestionada. É capaz de autonivelar-se e, geralmente, apresenta uma superfície bem acabada. Entretanto, é mais difícil o seu controle da exsudação e segregação.

2) VS2 / VF2, Slump $T_{500} > 2$ s e V-funnel entre 9 – 25 s: devido ao aumento do tempo de escoamento é mais provável exibir efeito tixotrópico. Pode ser útil em fôrmas que suportam limitada pressão hidrostática. Contudo, efeitos negativos podem ser experimentados quanto à superfície de acabamento.

De acordo com a NBR 15823 (ABNT, 2010), as classes de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação, são categorizadas conforme Tabela 5:

Tabela 5: Classes de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação (Fonte: NBR 15823, 2010)

Classe de viscosidade plástica aparente	t_{500} s	Funil V s	Aplicação	Exemplo
VS 1/ VF 1	≤ 2	≤ 8	Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas exige controle da exsudação e da segregação Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre	Lajes, paredes-diafragma, pilares-parede, indústria de pré-moldados e concreto aparente
VS 2/VF 2	> 2	9 a 25	Adequado para a maioria das aplicações correntes. Apresenta efeito tixotrópico que acarreta menor pressão sobre as formas e melhor resistência à segregação. Efeitos negativos podem ser obtidos com relação à superfície de acabamento (ar aprisionado), no preenchimento de cantos e suscetibilidade a interrupções ou demora entre sucessivas camadas.	Vigas, pilares e outras

Para um concreto ser considerado auto-adensável, o tempo de escoamento deve se situar em um intervalo apropriado, sendo que na Tabela 6, estão indicados alguns valores propostos por diversos pesquisadores, sendo as letras A, B, C e D, as dimensões do Funil V utilizado:

Tabela 6: Limites de resultados e dimensões para o V-Funnel test segundo diversas referências

REFERÊNCIAS	TEMPO (s)		DIMENSÕES (mm)			
	MÍNIMO	MÁXIMO	A	B	C	D
EFNARC (2002)	6	12	490	425	150	65
FURNAS (2004c)	-	-	515	450	150	65
Gomes (2002)	10	15	515	450	150	65 ou 75
Gomes <i>et al.</i> (2003a)	7	13	515	450	150	65
Araújo <i>et al.</i> (2003)	6	12	-	-	-	-
Noor e Uomoto (1999)	9,5	9,5	490	425	150	70
Peterssen (1998 e 1999)	5	15	550	450	120	75
Coppola (2000)	-	-	500	425	150	65

c) Ensaio do Anel J: (“J-ring method”):

Este ensaio avalia a fluidez e a capacidade de escoamento do CAA. É adequado para controle em obras e possibilita uma correlação com a moldagem de lajes de pequena extensão pouco armadas, onde o CAA irá espalhar-se por superfícies não confinadas por fôrmas, tendo apenas o obstáculo de armaduras. O ensaio consiste em posicionar o tronco-cônico de forma invertida sobre o centro de uma base. Enche-se o cone sem compactação, eleva-se o mesmo e mede-se a média de dois diâmetros perpendiculares formados pelo espalhamento, após passar por entre 16 barras de aço, conforme indicado na Figura 13. A diferença entre as médias dos diâmetros formados pelo concreto nos ensaios do Slump-flow e do J-ring é um indicador de habilidade passante. Quando a diferença obtida resultar menor que 25 mm significa que o concreto apresenta boa habilidade passante (PA), caso a diferença seja maior que 50 mm a PA é deficiente.



Figura 13: Ensaio do Anel J (Fonte: Revista Concreto & Construções, 2008)

d) Ensaio da Caixa L (“L-Box”):

O ensaio da caixa L permite observar a fluidez e tendência a bloqueamento e segregação do CAA de forma similar a uma concretagem real. Primeiro, é feito o preenchimento do cômodo vertical da caixa com a amostra de concreto de aproximadamente 12 litros. Após a abertura da porta da caixa, são medidos os parâmetros TL20, TL40 e H2/H1, que são, respectivamente, o tempo para o concreto em fluxo alcançar um comprimento horizontal de 20 cm, 40 cm e a relação final entre as alturas do concreto no final do trecho horizontal e a altura do concreto remanescente do trecho vertical da caixa, conforme Figura 14.

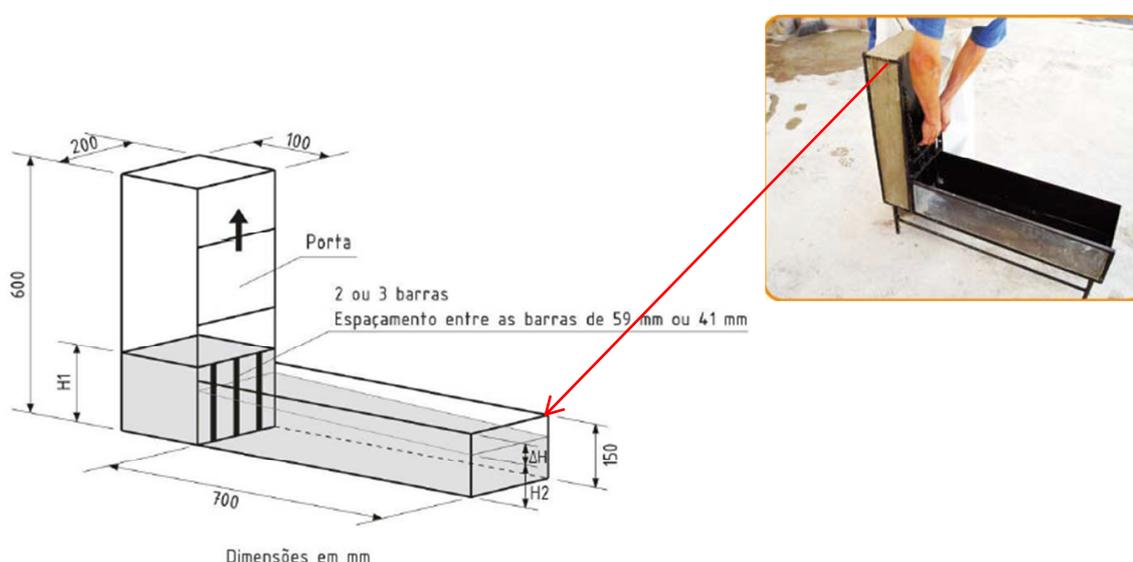


Figura 14: Ensaio da Caixa L (Fonte: Revista Concreto & Construções, 2008)

Segundo o EPG (2005), a classificação da habilidade passante é definida com base no menor vão (espaço confinado) por meio do qual o CAA tem que escoar e preencher, conforme é apresentado a seguir:

1) PA 1, L-box $\geq 0,80$ com 2 armaduras: para estruturas com menor vão entre 8 e 10 cm, por exemplo: casas de estrutura mais simples e estruturas verticais – pilares.

2) PA 2, L-box $\geq 0,80$ com 3 armaduras: para estruturas com menor vão entre 6 e 8 cm, por exemplo: estruturas mais complexas.

Para Alencar (2008), o L-box mostrou-se em estudo experimental realizado, ser o mais exigente equipamento para a qualificação do concreto auto-adensável. Normalmente, se o CAA é capaz de passar por esse ensaio, ele conseqüentemente irá atingir bons resultados nos demais testes de habilidade passante.

De acordo com a NBR 15823 (ABNT, 2010), as classes de habilidade passante do CAA em função de sua aplicação, são categorizadas conforme Tabela 7:

Tabela 7: Classes de habilidade passante do CAA em função de sua aplicação (Fonte: NBR 15823, 2010)

Classe de viscosidade plástica aparente	Anel J mm	Caixa L (H2/H1)	Aplicação	Exemplo
PL 1/PJ 1	25 mm a 50 mm com 16 barras de aço	$\geq 0,80$, com duas barras de aço	Adequada para elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm	Lajes, painéis, elementos de fundação
PL 2/PJ 2	0 a 25 mm com 16 barras de aço	$\geq 0,80$, com três barras de aço	Adequada para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm	Vigas, pilares, tirantes, indústria de pré moldados

e) Ensaio do Tubo U:

O método foi proposto por Gomes (2002), e consiste em fazer fluir uma amostra de concreto sem sofrer compactação, por meio de um tubo em U e após algum tempo, quando o concreto já se encontrar em estado de semi-endurecimento, são cortadas três fatias de 10 cm de espessura: a primeira no início do tubo de entrada (1), a segunda no início do trecho horizontal (2) e a terceira no final do trecho horizontal do tubo (3), conforme mostra a Figura 15. Após a retirada da argamassa por meio de processo de lavagem das fatias sobre peneira de 5 mm, são pesados os agregados de cada conjunto de três fatias. As relações de segregação, são obtidas, dividindo-se a massa dos agregados existentes, pesados após a lavagem e enxugamento com papel toalha, da segunda fatia pela primeira fatia e da terceira fatia pela primeira fatia. O menor valor das duas relações é a relação de segregação, que deve ser maior ou igual a 0,90 para o CAA.

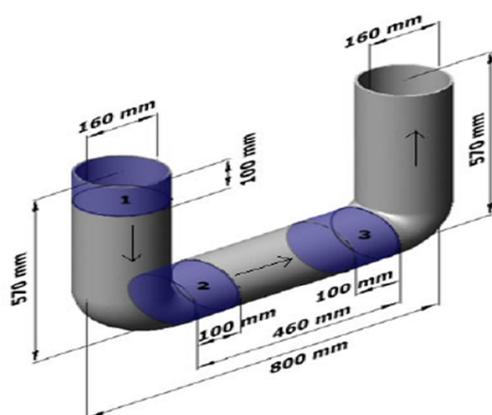


Figura 15: Ensaio do Tubo U (Fonte: Revista Concreto & Construções, 2008)

A especificação da resistência à segregação torna-se importantíssima, principalmente para o concreto auto-adensável de grande fluidez e baixa viscosidade e que, portanto, apresenta maior risco de segregação. A resistência à segregação é classificada, de acordo com os procedimentos do EPG (2005), em:

1) SR1, ≤ 20 (%): aplicado para lajes delgadas e solicitações com distância de espalhamento menor que 5 m e vão confinado maior que 8 cm;

2) SR2, ≤ 15 (%): especificado no caso da qualidade da superfície ser particularmente crítica; ou para aplicações com distância de espalhamento maior que 5 m e com espaço confinado maior que 8 cm; ou para grande altura de lançamento com espaço confinado menor que 8 cm, se a distância de espalhamento é menor que 5 m. Caso o espalhamento seja maior que 5 m, o valor de SR deve ser menor que 10%.

De acordo com a NBR 15823 (ABNT, 2010), as classes de resistência à segregação do CAA em função de sua aplicação, são categorizadas conforme Tabela 8:

Tabela 8: Classes de resistência à segregação do CAA em função de sua aplicação (Fonte: NBR 15823, 2010)

Classe de resistência à segregação	Coluna de segregação %	Distância a ser percorrida m	Espaçamento entre armaduras mm	Exemplo
SR 1	≤ 20	< 5	> 80	Lajes de pequena espessura Estruturas convencionais de pouca complexidade
SR 2	≤ 15	> 5	> 80	Elementos de fundações profundas
		< 5	< 80	Pilares, paredes e elementos estruturais complexos Elementos pré-moldados
NOTA 1 SR 2 ou um valor-limite mais rigoroso pode ser especificado se a resistência ou a qualidade da superfície for particularmente crítica				
NOTA 2 Quando a distância a ser percorrida pelo concreto for maior que 5 m e o espaçamento inferior a 80 mm, deve ser especificado um valor de SR menor que 10 %.				

2.3.2. Propriedades e características do CAA no estado endurecido

As propriedades do CAA no estado endurecido são determinadas segundo ensaios de corpos de prova e dependem dos tipos, proporções e interação dos materiais que entram na sua composição, além do grau de compactação e das condições de cura do concreto.

Um aspecto que justifica a importância do estudo das propriedades do CAA no estado endurecido são as características diferenciadas que ele apresenta em relação ao CC.

Conforme Klug *et al.*, (2003), as principais razões para as possíveis diferenças entre as propriedades do CAA no estado endurecido e concretos convencionais são:

a) Modificações na composição da mistura - A maior quantidade de finos e a menor granulometria dos agregados causam alterações na composição do esqueleto granular.

Isto pode influenciar nos valores de resistência à compressão (f_c), resistência à tração (f_t) e módulo de deformação estático (E_c).

b) Modificações na microestrutura do concreto - Uma maior quantidade de finos no concreto (cimento e filler) acarreta uma menor quantidade de vazios, e conseqüentemente uma maior densidade com menor porosidade. O concreto se torna mais estável, acarretando em uma maior fluidez e menor porosidade na zona de transição dos agregados – pasta de cimento.

c) Modificações no procedimento de moldagem – Para a verificação das propriedades do CAA no estado endurecido, são moldados CPs, geralmente cilíndricos, a fim de verificar se tais propriedades estão de acordo com as especificadas no projeto estrutural. Este processo de moldagem inclui: a forma de colocação e adensamento, além da cura do concreto.

Para concretos convencionais, a moldagem de CPs cilíndricos se baseia na NBR 5738:2003. Essa norma, especifica para cada tamanho de CP, um nº de camadas necessário para o preenchimento do molde, que depende do tipo de adensamento (manual ou mecânico). Já para o CAA, ainda não existe uma normalização no que diz respeito ao procedimento de moldagem em CP, considerando assim o preenchimento do molde de uma só vez, independente do tamanho, por levar em consideração que tal concreto não necessita de adensamento manual ou mecânico. É importante considerar que um concreto mal adensado proporciona o aparecimento de poros e uma quantidade excessiva de vazios, o que pode comprometer o resultado alcançado pelo rompimento dos CPs.

d) Transferência de cargas em maiores proporções para a matriz de cimento ou para a zona de transição agregados-pasta de cimento. Isto acarreta o aumento da resistência à tração do concreto.

As propriedades mais verificadas para atendimento aos projetos estruturais, bem como para controle tecnológico são: resistência à compressão e à tração e o módulo de deformação estático. Tais propriedades são determinadas por meio de ensaios simples, com resultados obtidos em curta duração.

a) Resistência à compressão

Segundo Neville (1997), a resistência à compressão de um concreto, curado em água a uma temperatura constante, depende principalmente da relação água/cimento e do seu grau de adensamento. De maneira geral, quanto menor a relação água/cimento e melhor o adensamento, menor a porosidade da pasta de cimento e maior a resistência do concreto.

De acordo com os principais códigos nacionais e internacionais de concreto, a resistência à compressão é a propriedade mecânica mais analisada no controle tecnológico do concreto, devido à sua facilidade de obtenção, a partir de ensaios simples de curta duração. Alguns parâmetros influenciam na resistência à compressão do concreto, como por exemplo: a composição da mistura, as relações a/c, os aditivos utilizados e o tipo de cimento.

A relação água/cimento e o grau de hidratação do cimento determinam a porosidade da pasta de cimento e este grau de hidratação ao longo do tempo depende do tipo de cimento e da sua interação com aditivos e adições. De maneira geral, quanto menor a relação água/aglomerante e maior o grau de hidratação, menor é a porosidade da pasta e maior é a resistência à compressão do concreto.

Os aditivos têm influências diferentes na resistência à compressão do concreto, de acordo com seu tipo (retardador, acelerador, incorporador de ar, plastificante, superplastificante, modificador de viscosidade). Nos CAAs, os aditivos normalmente usados são os superplastificantes (em geral os de terceira geração - policarboxilatos) e modificadores de viscosidade, mas outros também podem ser usados em conjunto com esses (retardadores e incorporadores de ar, por exemplo). Os superplastificantes têm alto poder de redução de água e são usados para aumentar a trabalhabilidade sem aumento de água ou reduzir a água mantendo a trabalhabilidade. Eles, ao reduzirem a relação água/aglomerante, levam ao aumento da resistência do concreto em todas as idades e, mesmo mantendo-se essa relação, acarretam algum aumento de resistência devido ao seu efeito dispersor das partículas de cimento. Segundo Efnarc (2002), os aditivos modificadores de viscosidade dão ao CAA maior robustez, atuam nas propriedades do concreto fresco, tornando-o mais homogêneo e coeso, mesmo sem alto teor de finos (cimento e adições), e menos sensível a variações nos seus constituintes, como teor de água, teor de finos e umidade dos agregados.

As adições mais comumente utilizadas nos concretos são: sílica ativa, metacaulim, cinza de casca de arroz, cinza volante, escória de alto forno e filer calcário. Por serem materiais muito finos, algumas possuem o efeito físico de diminuição do volume de vazios, outras têm o efeito químico de produção de silicato de cálcio hidratado, podendo estas substituir com vantagens parte do cimento. O efeito das adições nas propriedades do concreto depende do seu teor e reatividade (composição química e superfície específica), bem como da sua interação com o cimento e os aditivos utilizados. Conforme Dal Molin (2005); Furquim (2006); Souza *et al.*, (2008), as adições afetam as propriedades dos concretos nos estados fresco e endurecido. Em geral, no estado fresco, os concretos tendem a ser mais coesos, a ter menos tendência à segregação e à

exsudação e algumas adições (cinza volante e escória de alto forno), tendem a diminuir o calor de hidratação do cimento. A sílica ativa tem alta reatividade nas primeiras idades, acarretando aumento das resistências iniciais e finais. Os efeitos do metacaulim e da cinza de casca de arroz na resistência do concreto são semelhantes aos da sílica ativa, essas três adições são as mais reativas. A cinza volante pode levar a menor resistência do concreto, particularmente em idades baixas. A escória de alto forno tende a diminuir a resistência à compressão em baixas idades e aumentá-la em idades mais altas. O filer calcário difere das outras adições por ser praticamente inerte quimicamente. Além disso, ele pouco reage com a água e compostos do cimento hidratado.

Mehta e Monteiro (1994), afirmam que a resistência à compressão dos agregados não é um fator delimitador da resistência à compressão do concreto, já que os agregados são mais resistentes do que a matriz e a zona de transição. Mas outras características dos agregados tais quais: dimensão máxima, forma, textura superficial e mineralogia, influenciam as características da zona de transição e, conseqüentemente, a resistência do concreto. Concretos com agregados com superfícies mais rugosas por exemplo, tendem a apresentar maior resistência. Já os concretos com agregados de maiores dimensões tendem a ter resistência menor.

As condições de cura do concreto (tempo, temperatura e umidade) também influenciam a resistência final do concreto. Concretos de mesma relação a/c com maior tempo de cura e concretos com cura úmida apresentam resistência à compressão maiores que concretos com menor tempo de cura ou curados ao ar. Temperaturas iniciais maiores tendem a acelerar o processo de hidratação do cimento, mas poderão levar a resistências finais menores.

De um modo geral, os parâmetros que influenciam a resistência à compressão influenciam também o diagrama tensão normal de compressão-deformação específica. Os concretos de maior resistência tendem a apresentar maior módulo de elasticidade. De maneira geral, concretos com maior volume de agregados graúdos com menor porosidade tendem também a ter maior módulo de elasticidade. De acordo com Mehta e Monteiro (1994), agregados de granito, rocha vulcânica e basalto apresentam baixa porosidade, enquanto os de arenito, calcário e cascalho possuem porosidade maior.

b) Resistência à tração

No concreto, a resistência a tração é de fundamental importância por causa das fissuras, quando o mesmo é submetido à carga de serviço (METHA e MONTEIRO, 2004).

A resistência à tração do CAA depende basicamente dos mesmos parâmetros que

a resistência à compressão, podendo, entretanto, ter o grau de influência diferenciado. As características da interface pasta agregado graúdo por exemplo, têm maior efeito na resistência à tração que na resistência à compressão, afetando a relação entre resistências à tração e à compressão, que tendem a variar entre cerca de 7% e 11% (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

c) Módulo de deformação estático

O módulo de deformação é definido como a relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea sofrida pelo concreto no estado endurecido, sendo dependente das características dos materiais constituintes e da dosagem da mistura (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

Proske e Graubner (2005), relatam que quanto maior a quantidade de agregado de alta rigidez presente no concreto, maior será o módulo de deformação apresentado por este. Da mesma forma, a diminuição do volume de agregado e o conseqüente aumento do volume de pasta da mistura, irá proporcionar uma diminuição no valor do módulo de deformação apresentado.

Dessa forma, tem-se que o CAA, em geral, apresenta menor módulo de deformação quando comparado a concretos convencionais, pois apresenta maior quantidade de materiais finos e aditivos, assim como de pasta de cimento, necessários à sua fluidez.

Para Holschemacher e Klug (2002), a análise de um banco de dados permitiu levá-los à conclusão de que o CAA pode chegar a apresentar módulo de deformação 20% inferior ao apresentado por concretos convencionais que possuam a mesma resistência à compressão e mesmos agregados presentes na mistura.

Porém, segundo GOMES *et al.*, (2006), há uma controvérsia em relação ao módulo de deformação do CAA. Ele cita que têm constatado que alguns autores registram uma diminuição do valor do módulo de deformação do CAA, comparado com o CC, entretanto, o trabalho de Klug (2003), e o de Persson (2001), não se observa nenhuma diferença nos resultados.

2.4. Componentes do CAA

O CAA é composto pelos mesmos materiais utilizados na produção de um concreto convencional, havendo diferenças na dosagem e, em alguns casos, nos tipos de aditivos químicos adicionados. Geralmente, ele apresenta menor teor de agregados graúdos e maior teor de finos (adições minerais ou fillers), agregados miúdos, aditivos superplastificantes e em alguns casos aditivos modificadores de viscosidade.

2.4.1. Cimento

Na construção civil, utiliza-se para a produção de concretos e argamassas o cimento Portland, que é um aglomerante hidráulico cujo endurecimento ocorre por meio de reações químicas quando este material entra em contato com a água – hidratação – havendo a formação de um produto final estável em meio aquoso (MEHTA e MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1997).

A hidratação do cimento sofre influência das características físicas do material, assim como de sua composição química, de modo que existem no mercado, diversos tipos de cimento Portland, com características específicas para cada aplicação. Na produção de CAA é possível a utilização de qualquer um dos tipos de cimento existente, porém, conforme ocorre em concretos convencionais, a utilização de determinado tipo de cimento irá produzir um concreto com características específicas.

Para a produção de CAA, é necessário a presença de um elevado teor de finos para que o concreto apresente viscosidade adequada. O aumento no consumo de cimento, porém, pode gerar efeitos indesejáveis no concreto fresco e endurecido, tais quais: liberação de calor de hidratação e retração plástica. O uso de cimentos com algum tipo de adição em sua composição ou a incorporação de adições minerais ao concreto, pode ser uma solução para se evitar, ou minimizar, os efeitos negativos causados pelo cimento ao concreto. Além disso, as adições minerais são, em geral, subprodutos industriais, o que faz com que seu custo seja reduzido quando comparado ao custo do cimento.

A velocidade de liberação de calor de hidratação pelo concreto sofre influências da composição química do cimento, sendo os compostos C3S e C3A os que se hidratam mais rapidamente, liberando maior quantidade de calor. É importante, então, a utilização de adições minerais conjuntamente com os cimentos que apresentam alta concentração destes compostos. O composto C2S, porém, sofre hidratação mais lenta, de modo que os

cimentos que apresentam concentração elevada deste composto apresentam baixa liberação de calor (MEHTA e MOTEIRO, 1994; NEVILLE, 1997).

Conforme Nunes (2001), uma característica do cimento de grande importância para o CAA é a finura. Sabe-se que quanto maior a área específica do cimento, livre para hidratação, maior é a viscosidade da mistura, pois o número de partículas presentes é maior, havendo diminuição da distância e aumento da colisão entre elas. Neville (1997), ressalta que cimentos mais finos hidratam-se mais rapidamente, apresentando, por consequência, maior rapidez no desenvolvimento da resistência.

Um outro aspecto de grande importância para o CAA é a adsorção do aditivo superplastificante pelo cimento. Jolicoeur e Simard (1998), relatam que esta adsorção ocorre preferencialmente com os aluminatos (C3A e C4AF) expostos nas superfícies das partículas de cimento, de modo que a utilização de cimentos com quantidades moderadas desses compostos é recomendada para que ocorra uma adsorção mais uniforme. O teor de C3A em massa deve ser inferior a 10 % (EFNARC, 2002).

Em geral, observa-se que a produção de CAA pode ocorrer por meio da utilização de vários tipos de cimento, porém, cuidados especiais são necessários no uso de cimentos muito finos ou que apresentam porcentagem elevada de aluminatos em sua composição. O uso de adições minerais como material fino no CAA é recomendado, e em muitos casos, necessário.

De acordo com os trabalhos técnicos da literatura, é observado um consumo mínimo de cimento de 350 kg/m^3 e um máximo de 550 kg/m^3 para a obtenção do CAA (KHAYAT, HU e MONTY, 1999; ERNARC e GOMES, 2002; WESTERHOLM, 2003; LISBOA, 2004).

2.4.2. Agregados

A obtenção das propriedades de auto-adensabilidade do CAA exige misturas com elevado volume de pasta e reduzido volume e dimensão máxima característica de agregado graúdo. Algumas recomendações para os agregados de CAA são apresentadas nas literaturas, tais quais:

a) O volume de agregado miúdo é fixado em 40 % do volume de argamassa. Já para o agregado graúdo, a sua quantidade no concreto deve ser 50% do volume de sólidos (OKAMURA, 1997 *apud* GOMES, 2002).

b) Os agregados devem satisfazer às exigências da EN 12620, (2013). Geralmente são utilizados agregados graúdos com dimensão máxima entre 16 mm e 20 mm. Para o agregado miúdo, todas as areias podem ser utilizadas, porém, isentas de

agentes nocivos e impurezas. É importante salientar a necessidade de se fazer um controle de umidade dos agregados para a obtenção de um CAA com composição uniforme (EFNARC, 2002).

Em estudos anteriores, observam-se faixas granulométricas adequadas ao uso de agregados em concretos, definidas pela norma NBR 7211 (ABNT, 2005). Entretanto, foram definidas considerando o uso em concretos convencionais, de modo que podem sofrer alterações quando aplicados ao CAA, um concreto que demanda características específicas dos agregados. Melo (2005), apresenta faixas granulométricas ideais para agregados a serem utilizados em CAA. Essas faixas foram definidas a partir de observações, na literatura existente, de curvas de agregados usualmente empregados neste tipo de concreto por diversos autores.

As Figuras 16 e 17 apresentam as faixas granulométricas, ótima e utilizável, dadas pela NBR 7211 (ABNT, 2005), juntamente com as faixas ideais ao CAA, propostas no método de dosagem Repette-Melo (MELO, 2005).

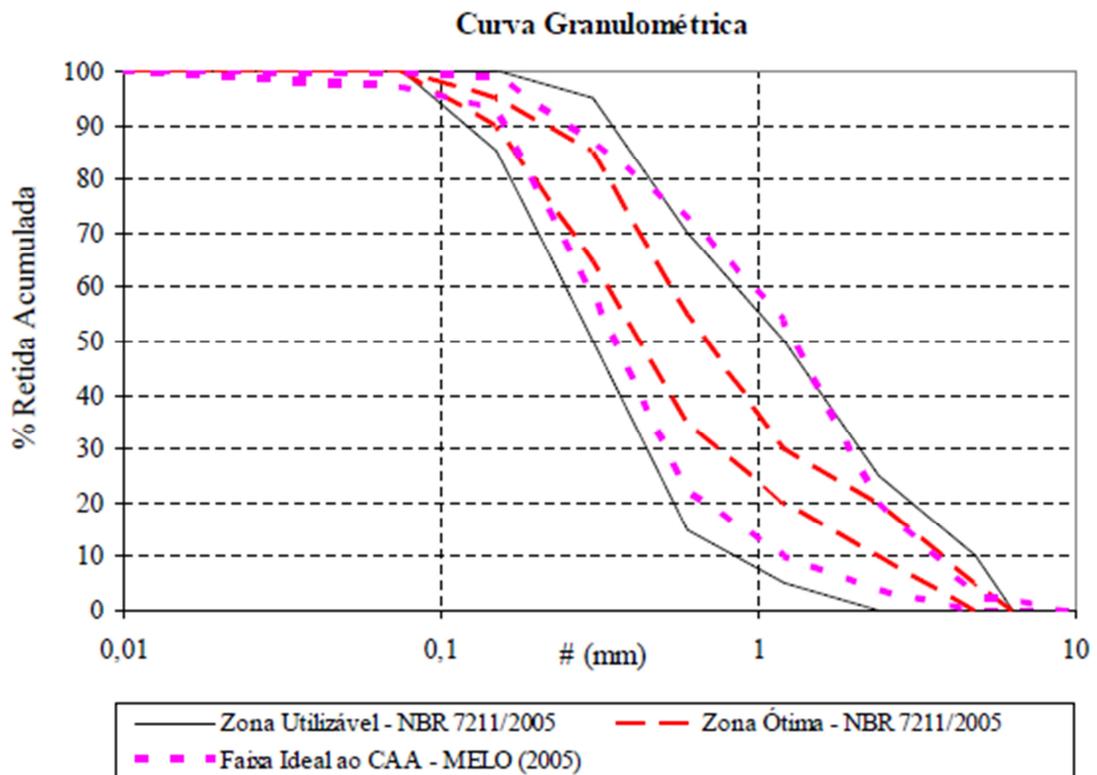


Figura 16 : Faixas granulométricas consideradas na literatura para o agregado miúdo a serem utilizadas em CAA (Fonte: MELO, 2005)

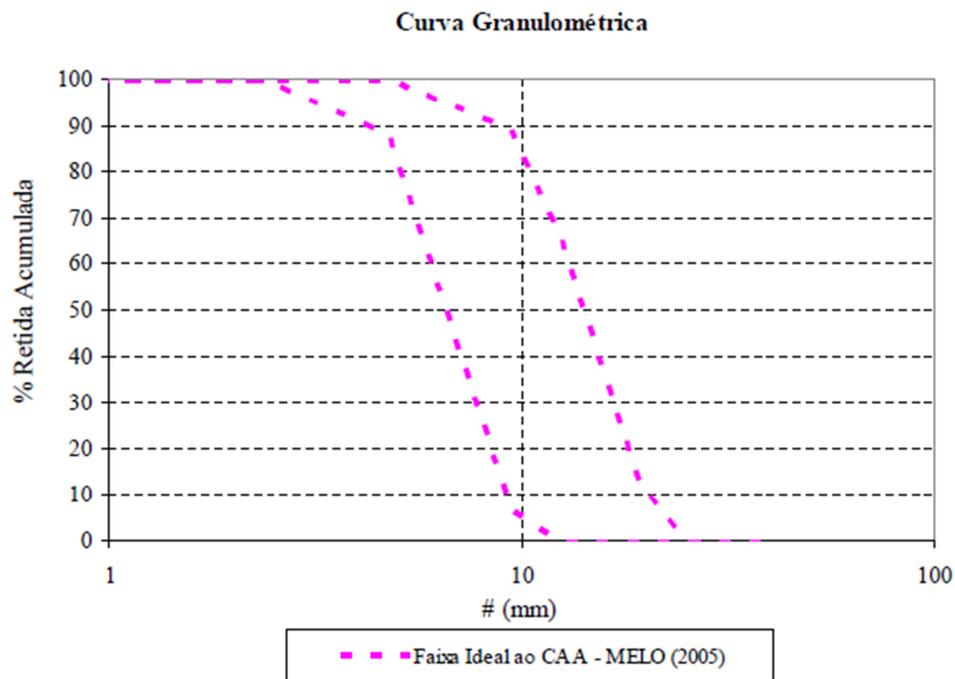


Figura 17: Faixas granulométricas consideradas na literatura para o agregado graúdo a serem utilizadas em CAA (Fonte: MELO, 2005)

Com relação aos agregados miúdos, o ideal é que se empregue areias cuja distribuição granulométrica resulte em materiais contínuos, sem cortes. O volume de areia, geralmente pode representar de 50 a 60% da quantidade de agregado total, em função da natureza e do número de adições de finos empregada, do cimento e das características do agregado graúdo.

De acordo com Hibino & Mauruyama (2002) *apud* Almeida Filho (2008), a determinação do teor de umidade no agregado miúdo é de grande importância na adensabilidade do CAA. Desse modo, torna-se importante determinar a umidade da areia no instante da concretagem, para evitar erros na quantidade de água da mistura. As areias artificiais, por apresentarem grande quantidade de grãos alongados, necessitam de uma maior quantidade de pasta, pois, geram um concreto muito áspero. Já as areias mais arredondadas, provenientes de leito de rios, zonas marítimas e depósitos eólicos, apresentam um melhor desempenho em termos de fluidez devido à forma de suas partículas (PETERSON, 1999).

2.4.3. Aditivos Minerais

Os aditivos minerais são materiais finamente moídos que são incorporados ao CAA com a finalidade de se obter características específicas. Geralmente, são utilizados em grandes quantidades, com a finalidade de reduzir custos, melhorar a trabalhabilidade

do concreto no estado fresco, a sua resistência à fissuração térmica, à expansão álcali-agregado e ao ataque por sulfatos (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Conforme Esping (2003), a caracterização e seleção dos materiais utilizados no CAA, com uma grande quantidade de finos para preenchimento dos vazios existentes, é uma grande contribuição para a fluidez do material.

Em vista da necessidade do alto teor de finos para a produção do CAA, o uso de adições minerais se faz importante, tendo em vista os seguintes fatores:

- Contribui para a diminuição da dosagem do cimento;
- Reduz o calor de hidratação e evita a presença de fissuras internas no concreto;
- Melhora o comportamento da microestrutura do concreto, preenchendo assim os poros de menor escala e aumentando a viscosidade, o que reduz a fricção entre os agregados, e conseqüentemente, aumenta a resistência à segregação e/ou exsudação.

Das propriedades relacionadas a dimensão dos grãos dos finos, uma que se destaca é a superfície específica. Segundo Nunes (2001), quanto maior a superfície específica dos finos, maior a viscosidade da mistura. No CAA, a dimensão das partículas das adições minerais, tem sido uma influência importante no alcance de suas propriedades. Khayat *et al.*, (1999), afirmam em seus estudos, que finos com diâmetros médios da ordem de 80 µm acarretam melhor viscosidade e coesão da mistura de CAA.

Para Esping (2003), uma alta superfície específica, elevada quantidade de fíleres e agregados de pequena granulometria, são parâmetros essenciais para uma maior trabalhabilidade e um maior controle das propriedades do CAA.

Segundo Cavalcanti (2006), as adições podem ser classificadas como predominantemente inertes (A.P.I.) ou predominantemente reativas (A.P.R.), dependendo da reação com o concreto. As A.P.R. reagem quimicamente com a pasta, tais quais: pozolanas, cinza volante, cinza da casca de arroz, cinzas da caldeira da queima do bagaço da cana de açúcar, sílica ativa e metacaulim. Já as A.P.I. reagem fisicamente, proporcionando uma maior compacidade, entre elas estão: fíleres de calcário, quartzo e resíduo de serragem de mármore e granito. Segundo Efnarc (2002), os dois tipos de adições podem ser utilizadas para a produção do CAA.

2.4.4. Aditivos químicos

Os aditivos químicos mais empregados ao CAA são os superplastificantes, comumente adicionados para a obtenção da fluidez e viscosidade necessárias ao concreto. Os superplastificantes são aditivos conhecidos como redutores de água de alta

eficiência, por serem capazes de reduzir o teor de água em maiores proporções que os aditivos plastificantes.

Eles podem ser de dois tipos: os de 2ª geração, constituídos de polímeros sintéticos sulfonados, e os de 3ª geração, que são os policarboxilatos, também conhecidos como poliacrilatos, elementos capazes de promover um efeito bastante eficiente na repulsão dos grãos de cimento.

Segundo Nunes (2001), os superplastificantes de 3ª geração são os mais recomendados para a produção do CAA, quando comparado aos aditivos de 2ª geração, pois, permitem uma maior redução de água, maiores resistências iniciais e manutenção de fluidez por um tempo prolongado.

A incorporação de superplastificantes em concretos provoca alterações nas propriedades e características da mistura, tais como: hidratação, porosidade, morfologia dos hidratos, evolução da resistência, fluidez, tempo de pega, retração, segregação e/ou exsudação. Tais características podem ser influenciadas de forma positiva ou negativa na mistura.

Para que estes efeitos provocados pela adição do superplastificante sejam satisfatórios, deve ser feito um estudo prévio de compatibilidade e uma adequada caracterização dos materiais empregados (RONCERO, 2000).

Conforme Gomes (2002), um importante passo para a obtenção da dosagem do CAA está na determinação da dosagem do superplastificante em relação à massa de cimento. Alguns estudos recomendam a sua determinação em pastas e/ou argamassas, nesta seqüência respectivamente, a fim de se determinar a dosagem ótima de saturação do superplastificante a ser utilizada no concreto, ou seja, o teor máximo de aditivo capaz de promover aumento da fluidez.

2.4.5. Água

A quantidade de água a ser utilizada em pastas, argamassas ou concretos é definida a partir da relação a/c. Quanto maior a quantidade de água no concreto, menor é a tensão limite de escoamento, aumentando sua deformabilidade e diminuindo a viscosidade da mistura. No entanto, um elevado teor de água pode provocar segregação. Para garantir a grande fluidez do CAA, sem afetar negativamente as suas propriedades, parte da água pode ser substituída por aditivo superplastificante.

A relação água/finos (a/f) para o CAA pode apresentar valores diferenciados, de acordo com o método de dosagem adotado. Esses concretos são mais governados para

a relação a/f do que a relação a/c . Gomes (2002), considera para o CAA de alta resistência, a relação a/f deverá ser fixada, a princípio, no limite superior de 0,4.

O tipo de superplastificante utilizado, de 2ª ou de 3ª geração, é um parâmetro que influencia no fator a/c e a/f , visto que, estes aditivos químicos são responsáveis por reduzir a quantidade de água utilizada no concreto, mantendo a mesma trabalhabilidade. Segundo Billberg (1999), a substituição de parte do cimento por resíduos industriais finos para a produção de CAA, acarreta a redução de a/f , se mantida constante a relação a/c . Já para Okamura *et al.*, (1999), a relação a/c deve estar compreendida entre 0,9 e 1,0, em volume, dependendo dos materiais utilizados na sua composição.

De acordo com alguns trabalhos apresentados pelas literaturas, a relação a/c do CAA pode apresentar valores em torno de 0,3 a 0,5, em massa (OUCHI, BILLBERG, DOMONE e JIN, 1999; EDMATSU, 2003; GOMES, 2002; LISBOA, 2004).

No cálculo da água de mistura, na produção do CAA, é muito importante a determinação da umidade e absorção dos agregados e a realização de ensaios laboratoriais o mais próximo possível do momento da concretagem. É necessário também, verificar a temperatura ambiente. A elevação desta temperatura, geralmente, acarreta maior demanda de água.

2.5. Métodos de Dosagem do CAA

Os métodos de dosagem do CAA visam a obtenção do equilíbrio entre esforço de corte e viscosidade de forma que a argamassa obtida evite a segregação do agregado e simultaneamente permita a saída do ar pela superfície. Segundo Barros (2009), os estudos reológicos tem permitido compreender o comportamento do CAA, favorecendo uma dosagem mais racional desse concreto especial.

Segundo AITCIN (1994), o método de dosagem tem por objetivo determinar uma combinação adequada – técnica e economicamente – dos materiais constituintes do concreto.

De maneira geral, o CAA pode ser dosado tanto nos canteiros de obra como em centrais de concreto.

São vários os métodos de dosagem existentes para proporcionamento do CAA. Neste trabalho, serão descritos os métodos desenvolvidos por Okamura e Ozawa, em 1995, e por Melo, em 2005.

2.5.1. Método de dosagem proposto por Okamura e Ozawa

Para promover alta fluidez da pasta ou argamassa e, simultaneamente, resistência à segregação – separação do agregado graúdo e argamassa – no momento em que o concreto flui por meio de áreas restritas ou barras de armaduras, Okamura e Ozawa propuseram, em 1995, um método baseado em três princípios:

- 1) Conteúdo limitado de agregados no concreto;
- 2) Baixa relação água/finos;
- 3) Uso de aditivo superplastificante.

A limitação do consumo de agregado graúdo no CAA é justificada, pois esses agregados promovem um alto consumo de energia quando suas partículas encontram-se muito próximas umas das outras, provocando colisões e resultando em bloqueios, em regiões próximas a obstáculos. Deve-se observar, também, que a tensão no interior do concreto aumenta quando o conteúdo de agregado é elevado, de modo que a energia necessária ao concreto para fluir é consumida para estabilização dos agregados no interior da mistura, tendo como consequência, novamente, bloqueio ao passar por obstáculos.

A baixa relação água/finos e o uso de aditivo superplastificante são justificados pela necessidade em se obter uma pasta fluída, porém, com alta viscosidade, de modo que esta seja capaz de manter estável o agregado graúdo em seu interior e transportá-lo no momento de passagem por obstáculos, como barras de armadura. A alta viscosidade da pasta previne, também, aumento localizado de tensão interna, devido à aproximação das partículas do agregado graúdo.

As Figuras 18 e 19 apresentam, respectivamente, uma comparação entre as proporções de materiais utilizados no CAA e nos concretos convencionais e o esquema do método utilizado por Okamura e Ozawa para obtenção da auto-adensabilidade.

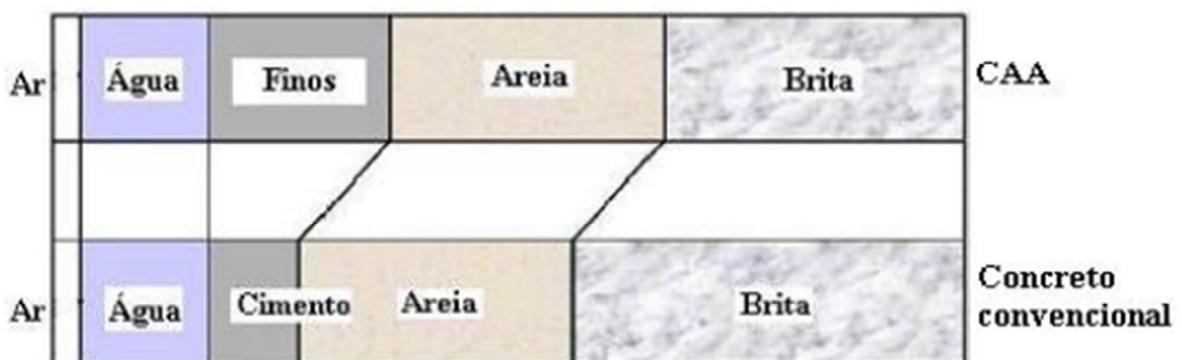


Figura 18: Comparação entre as proporções de materiais utilizados no CAA e em CC (Fonte: Adaptado de OKAMURA e OUCHI, 2003)

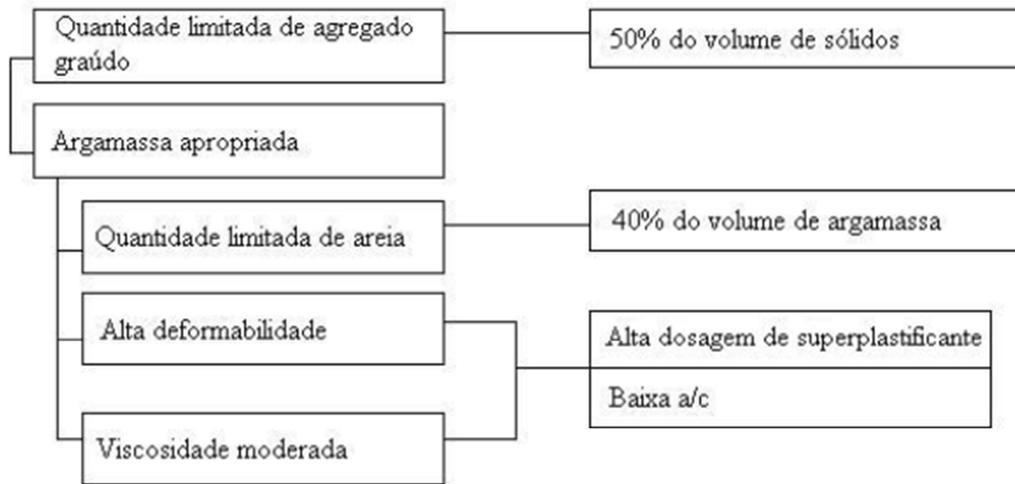


Figura 19: Esquema do método utilizado por Okamura e Ozawa para obtenção da auto-adensabilidade (Fonte: Adaptado de OKAMURA e OUCHI, 2003)

Para a verificação da auto-adensabilidade do concreto, assim como a tendência à segregação do material, os autores sugerem a realização do ensaio de caixa em U, slump flow e funil em V. Nesses ensaios, caso o concreto não se apresente suficientemente auto-adensável, é necessária a correção do proporcionamento do material. Essa correção pode ser realizada por meio de ensaios em argamassa de slump flow e funil em V, em escala reduzida.

2.5.2. Método de dosagem Repette-Melo

O método de dosagem Repette-Melo baseia-se no estabelecimento de composições de CAA para resistências à compressão previamente requeridas, estando estas resistências entre 20 e 45 MPa.

O método divide-se em ensaios em pasta, argamassa e concreto, de modo que os materiais constituintes são definidos em cada uma destas etapas. Inicia-se a dosagem, determinando-se a relação a/c a ser utilizada, com base no tipo de cimento empregado e nas resistências requeridas – exige-se o emprego mínimo de três resistências para a formação de uma família de CAA. A seguir, define-se a relação fíler/cimento para cada relação a/c estabelecida, buscando corrigir a instabilidade da pasta, por meio da eliminação de exsudação e segregação, com a adição do fíler. A incorporação do fíler pode ser feita em intervalos de 5% em volume.

Passa-se, então, ao estudo da argamassa, onde se determina o teor de agregado miúdo e de aditivo superplastificante. Nesta etapa, ajustam-se os teores buscados apenas para a relação a/c intermediária – ensaios realizados com diferentes teores de agregado miúdo e aditivo superplastificante – sendo o valor encontrado

utilizado, também, para as relações a/c dos extremos. O método prevê, ainda, que o volume de agregado miúdo em relação ao volume total de argamassa deve encontrar-se, preferencialmente, entre 35 a 55%, partindo-se do valor inferior adotado a incrementos de 5%, ou menores porcentagens, na necessidade de um ajuste mais fino. O aditivo superplastificante é incorporado em intervalos de 0,05%, ou inferior, partindo-se de 0,1% (massa de sólidos em relação à massa de cimento).

Os ensaios adotados para a verificação das argamassas são o slump flow e o funil em V, de modo que os resultados buscados são o diâmetro de espalhamento da argamassa entre 200 e 280 mm, e o tempo de escoamento no funil em V entre 3,5 e 10 segundos. No ensaio de funil V, devem ser descartadas as argamassas que apresentem tendência à segregação. Por fim, o volume ideal de agregado miúdo é selecionado dentre as misturas cujos valores dos ensaios estão dentro dos limites.

Devido ao uso do aditivo superplastificante, a quantidade de adição definida na pasta pode ser aumentada, para que sejam obtidas misturas mais econômicas. Os estudos apresentados para a composição do método mostram que um aumento de 5%, em relação ao valor definido inicialmente, é satisfatório. Assim, as argamassas são avaliadas novamente, variando-se o teor do aditivo superplastificante em intervalos de 0,05%, partindo do teor definido na etapa de ajuste do agregado miúdo, e novos limites são estabelecidos para os ensaios, estando o diâmetro de espalhamento da argamassa entre 250 e 280 mm e o tempo de escoamento no funil em V entre 5 e 10 segundos.

Por fim, iniciam-se os estudos em concreto, buscando a determinação do teor de agregado graúdo da mistura. Empregando-se a argamassa com relação a/c intermediária, definida na etapa anterior, preparam-se concretos com diferentes teores de agregados graúdos, sendo propostos os teores de 27; 28,5; 30; 31,5 e 33%, em relação ao volume total de concreto. Os ensaios são iniciados, então, utilizando o menor teor de agregado graúdo, prosseguindo-se com os demais teores.

São realizados os ensaios de slump flow, funil em V e caixa em L, ajustando-se o teor de aditivo para que se atinjam os requisitos exigidos sempre que houver perda nas propriedades de auto-adensabilidade, devido ao aumento de agregado. Os limites de aceitação para o CAA, de acordo com o método proposto são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Limites de aceitação para CAA (Fonte: MELO, 2005)

Método de ensaio	Valores aceitáveis para o CAA
Espalhamento (d)	600 a 700 mm
Funil-V (t)	< 10 s
Caixa-L (H ₂ /H ₁)	≥ 0,8

Após a definição dos materiais constituintes do concreto, resta apenas o ajuste final do aditivo superplastificante, feito por meio da variação do teor deste e realizando os ensaios de slump flow, funil em V e caixa em L, tendo como teor inicial o definido para argamassa, podendo ser acrescentado em 0,05%. Deve-se observar a ocorrência da perda de fluidez com o tempo dos concretos, por meio de ensaios adequados. A resistência à compressão deve ser avaliada, tanto para as argamassas, quanto para os concretos, objetivando detectar erros antes da produção dos mesmos.

A Figura 20 apresenta o fluxograma do método de dosagem Repette-Melo.

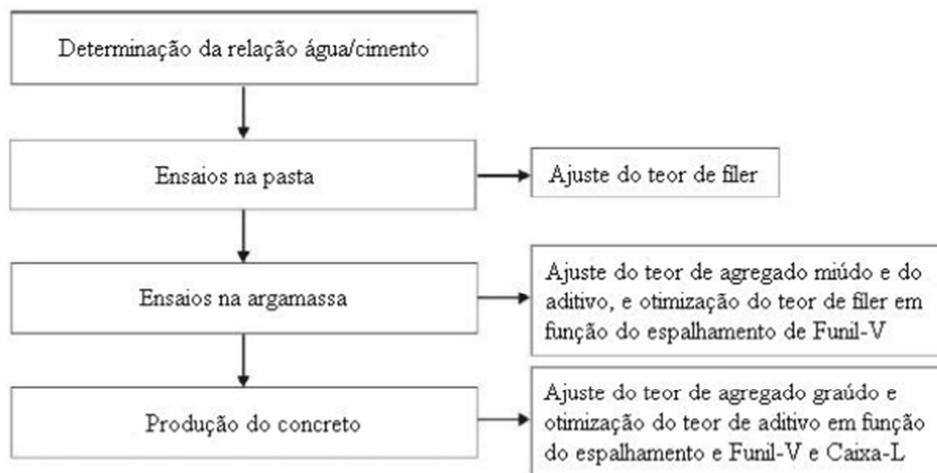


Figura 20: Fluxograma do método de dosagem (Fonte: MELO, 2005)

Segundo Laumet *et al.*, (2005), uma dosagem adequada de C.A.A. resulta em uma mistura econômica, trabalhável com resistência e durabilidade satisfatórias. Uma representação gráfica dos componentes do C.A.A. e do concreto convencional usado na parte experimental de seu estudo é mostrada na Figura 21.

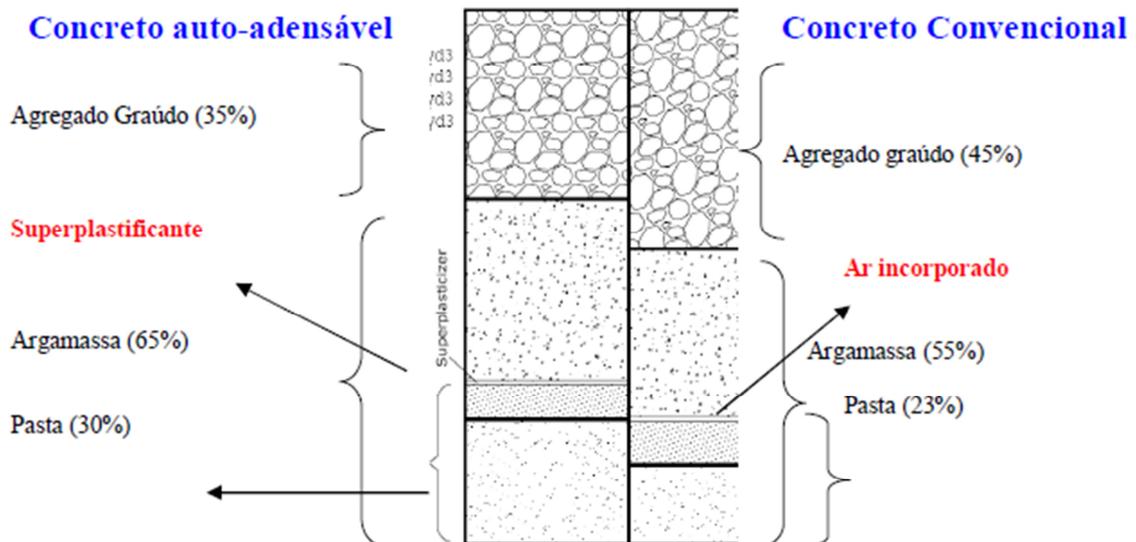


Figura 21: Comparação dos componentes do CAA e do CC (Modificado a partir de: LAUMET *et al.*, 2005)

2.6. Aplicações do CAA

Apesar de existirem aplicações práticas do CAA em obras de concreto armado em diversos países, onde se destacam àquelas encontradas no Japão e em países da Europa, sua utilização ainda é muito restrita e ainda bastante direcionada para estudos experimentais. Segundo Okamura e Ouchi (2003), a sua aplicação no Japão corresponde a 0,15 % do concreto usinado empregado no país, e 0,55% em pré-fabricados.

Relatos de Okamura *et. al.*, (2000), indicam que o primeiro protótipo de CAA foi desenvolvido no ano de 1988, utilizando materiais usualmente aplicados em concretos convencionais, tendo apresentado bons resultados de desempenho. Posteriormente, os estudos acerca do novo tipo de concreto cresceram em todo o mundo, desde instituições de ensino e pesquisa até grandes companhias construtoras. No Japão, teve-se a primeira aplicação do CAA em obra, em junho de 1990; seguida pela aplicação do concreto nas torres da ponte Shin-kiba Ohashi, em 1991, conforme visto na Figura 22.



Figura 22: Ponte Shin-Kiba Ohashi (Fonte: OKAMURA; OUCHI, 2003)

Um ano depois, o CAA foi utilizado no maior projeto de ancoragem da ponte Akashi-Kaikyo. Trata-se da ponte pênsil mais extensa do mundo, com 3.911 metros de extensão e com o vão central de 1.991 metros. O lançamento do concreto auto-adensável foi iniciado em novembro de 1992 e finalizado em março de 1994. Os quatro blocos de ancoragem, com 84,5 m x 63,0 m x 47,5 m de dimensão Figura 23, foram densamente armados, sendo que dois dos blocos foram concretados com concreto

convencional e os outros com concreto auto-adensável, conforme dosagens apresentadas nas Tabela 10 e Tabela 11.



Figura 23: Blocos de ancoragem na ponte Akashi-Kaikyo (Fonte: Comunidade da Construção, 2012)

Tabela 10: Características de dosagem do CC para os blocos de ancoragem (Fonte: OUCHI, 2003)

Resistência à compressão aos 91 dias	MPa	24,0
Diâmetro máximo do agregado	mm	40,0
Espalhamento (<i>Flow</i>)	cm	55,0 ± 5,0
Ar incorporado	%	4,0 ± 1,0
Temperatura máxima	° C	≤ 25,0
Exsudação	%	≤ 3,0
Densidade do concreto fresco	kg/m ³	≥ 2.300
Cimento	Baixo calor de hidratação	

Tabela 11: Características de dosagem do CAA para os blocos de ancoragem (Fonte: OUCHI, 2003)

		Bloco 01	Bloco 02
Diâmetro máximo do agregado	mm	40,0	40,0
Relação água/cimento	-	0,56	0,56
Agregado miúdo/graúdo	%	45	36
Materiais	Água	kg/m ³	145
	Cimento	kg/m ³	260
	Filer Calcário	kg/m ³	150
	Areia	kg/m ³	769
	Agregado graúdo	kg/m ³	965
Superplastificante	(C+F)x%	1,5	1,9

Para reduzir o calor de hidratação e as fissuras de retração térmica, fez-se uso do cimento com adição de escória de alto forno. O uso do concreto auto-adensável reduziu o tempo de construção de 30 meses para 24 meses dessa obra. O concreto foi misturado numa central próxima ao local e bombeado por aproximadamente 200 m, utilizando tubos de 3,00 a 5,00 m, providos a cada 5,0 m de uma saída para analisar e assegurar um material constante. O concreto foi lançado de uma altura de 3,00 m e não houve segregação, apesar da utilização de agregados com 40,0 mm de diâmetro máximo característico.

Três fatores foram considerados essenciais para o sucesso da aplicação do CAA:

1º) garantia da qualidade, apesar da alta fluidez e resistência à segregação do concreto;

2º) controle de fissuras de retração térmica, utilizando cimento de baixo calor de hidratação;

3º) lançamento de grandes volumes de concreto, aproximadamente 1.900 m³ por dia.

Os enfoques para uma dosagem racional do CAA foram:

1º) utilização de cimento com baixo calor de hidratação;

2º) diâmetro máximo característico do agregado de 40mm, para reduzir o consumo de cimento;

3º) adequada fluidez, requerida por 30 minutos para o bombeamento e lançamento sem segregação.

A fluidez foi garantida com o uso de aditivos superplastificantes, incorporadores de ar e filler calcário. Muitos testes foram realizados para garantir as propriedades do

concreto auto-adensável no estado fresco. Foram monitorados o tempo de mistura e a pressão lateral nas fôrmas durante sua aplicação.

Segundo Ouchi (1999), e Okamura (1997), o CAA foi utilizado novamente no Japão, nas paredes de um tanque de gás LNG pertencente a Osaka Gas Company como mostra a Figura 24, em 1998, as quais consumiram 12.000 m³ de concreto.



Figura 24: Tanque de gás (Fonte: Comunidade da Construção, 2012)

A utilização do CAA permitiu:

- Diminuir o número de etapas de 14 para 10, pois foi possível aumentar a altura das paredes;
- Reduzir o número de trabalhadores de 150 para 50;
- Diminuir o tempo de construção da estrutura de 22 para 18 meses.

Após esse período, não somente no Japão, mas em outros países, o CAA passou a ser utilizado largamente, em diversas situações: pontes, edifícios, túneis, elementos estruturais pré-moldados, tanques e produtos de concreto em geral.

A Ponte Ritto foi construída em pré-moldado para a New Meishin Expressway no Japão. Tratava-se de um pilar de 65 metros de altura, especificado com concreto de alta resistência (50 MPa) e armaduras que deveriam alcançar resistência de 685 MPa. Devido à grande densidade da armação, indicou-se o concreto auto-adensável.

O CAA foi indicado no viaduto Higashi-Oozu no Japão. Os pré-moldados protendidos em vigas tipo I foram projetados para concreto convencional com abatimento de 80 mm. Entretanto, foi verificado que este concreto, não conseguiria o acabamento esperado devido às dimensões da viga, o que dificultaria a sua vibração. Além disso,

havia o problema de ruído nas vizinhança da obra. Por essas razões, o concreto auto-adensável foi escolhido para a fabricação das vigas. Nessa obra foi especificado para o CAA a adição de 20% de cinza volante.

O projeto Sodra Lanken (SL) foi uma obra de infra-estrutura na Suíça (Osterberg T. *et al.*, 2003). A obra utilizou aproximadamente 225.000 m³ de concreto. Nesta obra, o concreto auto-adensável foi utilizado em paredes de 5 metros de altura, 9 a 16 metros de comprimento e 0,80 metros de largura e nos arcos dos túneis. A dosagem utilizada está apresentada na Tabela 12.

Tabela 12: Consumo de material seco para 1 m³ de concreto (Fonte: OSTERBERG, 2003)

Cimento (kg)	Filer calcáreo (kg)	Areia (kg)	Brita (8 a 16 mm) (kg)	Água (kg)
440	160	880	720	167

As resistências à compressão obtidas foram entre 70 a 80 Mpa, o espalhamento entre 720 a 770 mm e o ar incorporado variou de 4 a 7%. Desta obra foi possível analisar vários aspectos do concreto auto-adensável:

- produção;
- transporte;
- sistema de fôrmas;
- lançamento em obra;
- acabamento da estrutura e cura;
- juntas frias.

Na França, o CAA foi usado na Chamarande, em 1998. As peças concretadas eram longas paredes, com 2,30 metros de altura, 0,16 metros de espessura, 30 metros de comprimento e colunas altamente reforçadas. No mesmo período, na Suécia, o CAA foi utilizado nos dois andares inferiores em um edifício comercial. O edifício possuía sete andares. O CAA foi aplicado com e sem fibras de aço, totalizando cerca de 3.000 m³. Um ano mais tarde, foi usado novamente em outro edifício comercial. O volume total foi de aproximadamente 2.200 m³. O teste incluiu os seguintes elementos:

- Seis paredes com e sem fibras de aço, 2,70 a 3,40 m de altura e 25 a 30 metros de largura;
- Duas lajes de 30 e 35 cm de espessura, respectivamente;
- Dois pilares;
- Duas lajes de 8 cm de espessura.

Para a concretagem do túnel enclausurado, Oresund, na Suécia, foi utilizado o CAA, devido às condições locais que inviabilizavam o processo de vibração. A obra foi

realizada em 1999, e foram utilizados cerca de 80 m³ de concreto. O túnel possuía 40 metros de comprimento, com seções de 1 m x 1 m. No mesmo ano, em território Sueco, foi executado uma estrutura em forma de 'iglu', como mostra a Figura 25. Esta edificação possui 5 m de altura, 11,70 m de largura e 22 m de comprimento, e, devido à dificuldade de vibração imposta pelas suas fôrmas, optou-se por utilizar o CAA. A concretagem foi executada em duas partes e o volume total foi de, aproximadamente, 200 m³.



Figura 25: Estrutura em forma de "iglu" (Fonte: BERNABEU e LABORDE, 2000)

O CAA foi usado na França em 2000, na auto-estrada A46 em Lyon. Como os tubos coletores de água de 150 centímetros de diâmetro estavam em processo de deformação, foi executado um novo tubo coletor de água em concreto auto-adensável, de 110 centímetros de diâmetro, interno ao tubo antigo, o que totalizou um volume de 120 m³. Outra auto-estrada em que o CAA foi aplicado, foi a A85, no trecho de uma ponte, em Vierzon, em território francês do mesmo ano. Foram concretadas duas vigas 'H', com 38,50 metros de comprimento, 80 centímetros de altura e 30 centímetros de largura, totalizando cerca de 20 m³ de concreto. Nas pontes de Motala e Argoba, ambas na Suécia, especificou-se o CAA, consumindo cada uma, respectivamente, os volumes de 90 e 53 m³ de concreto.

No Chile, o CAA foi utilizado na construção de um túnel de aproximadamente 6.000 metros de extensão, com três diferentes diâmetros, variando de 2,5 a 3,0 metros, para uma média de profundidade de 9 metros. A escavação do túnel foi reforçada com placas metálicas. O concreto utilizado na obra tinha resistência à compressão de 30 MPa, relação a/c menor que 0,55 e consumo de cimento maior que 320 kg/m³ de concreto.

Em Singapura, o CAA foi aplicado na construção do edifício Raffles City, de 73 pavimentos. A fundação monolítica em radier, consumiu 11.000 m³ de concreto de 35 MPa e 250 mm de abatimento, concretada em 43 horas a partir de uma temperatura ambiente na faixa de 29 a 32 °C. Para obter a velocidade adequada de entrega, o concreto foi transportado de três usinas diferentes: duas ficavam a 25 minutos de

distância e uma a 45 minutos. O concreto contendo superplastificante foi colocado com abatimento de 0 a 250 mm, apesar da alta temperatura. Embora a alta densidade de armadura do radier, o concreto com superplastificante fluiu livremente por todas as áreas da peça, sem bombeamento e quase sem vibração. Mesmo com a alta temperatura ambiente, o concreto foi lançado sem o uso de gelo (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O CAA foi usado na fundação de um cais para sustentação de um moinho localizado em Milão, na Itália, com dimensões de 14 m de comprimento x 10 m de largura x 4 m de profundidade, totalizando um volume superior a 500 m³. As armaduras detalhadas no projeto de estruturas eram bastante densas, com diâmetros de 26 mm (PARIS *et al.*, 2003).

Outra obra interessante em que o CAA foi especificado, foi uma base de fundação para um grande reservatório de peixes, no jardim zoológico de Rotterdam. As paredes eram bastante reforçadas, com espessuras de 25 cm e 30 cm, e altura de 7 m, a fim de absorver os esforços provocados por grandes aberturas de vidro para visibilidade dos espectadores (WALRAVEN, 2003).

Outro exemplo de aplicação do CAA ocorreu na cidade de Illinois nos Estados Unidos. A Universidade local desenvolveu um projeto que consiste em uma parede densamente armada em forma de “L” que seria indestrutível para simulação de diversos terremotos conforme indicado na Figura 26. A estrutura possuía vários tubos horizontais para futuras medições e os mesmos não poderiam se mover, portanto, o uso da vibração foi descartado. Utilizou-se o CAA e depois da desfôrma, observou-se que a parede não necessitava de reparos e que os tubos não haviam sido danificados. (TUTIKIAN e DAL MOLIN, *apud* GRACE, 2005).



Figura 26: Parede para simulação de terremotos (Fonte: TUTIKIAN e DAL MOLIN, *apud* GRACE, 2005)

Outros empreendimentos de aplicação do CAA:

Na Figura 27, uma obra realizada em 36 dias com o CAA, enquanto que o tempo estimado utilizando CC seria de 90 dias.

Na Figura 28, a aplicação de quase 300 m³ de concreto realizado em 6 horas, 30% do tempo estimado para um concreto convencional.

Na Figura 29, obra em que foi exigido a utilização do CAA pela prefeitura, devido à instabilidade, idade e delicadeza das construções existentes no entorno.



Figura 27: Pilares do anel rodoviário de Valência (Fonte: Comunidade da Construção, 2012)



Figura 28: Prefeitura de Mollet del Valles (Fonte: Comunidade da Construção, 2012)



Figura 29: Filmoteca de Barcelona (Fonte: Comunidade da Construção, 2012)

Tem crescido acentuadamente o uso do CAA em obras de reparo. Campion e Jost (2000), relatam a sua utilização no reforço da ponte de Rempenbruecke, na Suíça. Esta ponte foi construída no início dos anos 60, mas sofreu uma série de deterioração devido à corrosão das armaduras, induzida pela penetração de cloretos no concreto. Foi necessário reparar os problemas nas barras de aço. Mas para reforçar a estrutura como um todo, foi criada uma nova viga, a qual era densamente armada e de difícil acesso. A solução encontrada, foi a utilização do CAA, com resistência à compressão de 40 MPa.

No Reino Unido, foi feita a recuperação em uma ponte em que o CAA atingiu aos sete dias uma resistência à compressão média de 60 MPa (MCLEISH *apud* GOMES, 2002). Na Suíça, o CAA também foi utilizado na recuperação de uma ponte Figura 30, onde a resistência à compressão média atingiu 40 MPa aos 28 dias (CAMPION e JOST, 2000 *apud* GOMES, 2002).



Figura 30: Recuperação de uma ponte na Suíça (Fonte: GOMES, 2002)

A ponte The Katelbridge na Holanda mostrado na Figura 31, que foi recuperada em 2002, já tinha 45 anos de uso. Devido a grande densidade de armaduras mostrado na Figura 32, recomendou-se a utilização de CAA, pois dispensava a vibração (TUTIKIAN E DAL MOLIN, 2008).



Figura 31: Ponte recuperada (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008)

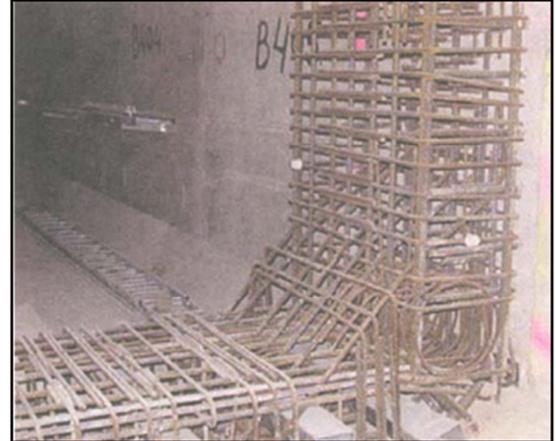


Figura 32: Armadura da estrutura da ponte (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008)

O CAA foi aplicado na recuperação estrutural de prédios em Twain, que foram parcialmente danificados por terremotos. Primeiramente foi usado o CC, e foram constatadas falhas por causa da vibração na alta densidade das armaduras conforme mostra a Figura 33.



Figura 33: Recuperação de estrutura (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008)

O CAA pode ser utilizado em obras civis e na indústria de pré-moldados, sendo dosado no canteiro de obras ou em centrais de concreto. Ele pode ser transportado por meio de caminhão-betoneira para as construções. Seu lançamento é feito por intermédio de bombas de concreto, gruas ou ferramentas manuais. (TUTIKIAN, 2004).

As principais indicações de uso do CAA são: fundações executadas por hélice contínua; paredes, vigas e colunas; paredes diafragma; estações; reservatórios de água e piscinas; pisos, lajes, pilares, muros, painéis; obras com acabamento em concreto aparente; obras de concreto em locais de difícil acesso; em peças pequenas, com muitos detalhes ou com formatos não convencionais, onde seja difícil a utilização de vibradores e em fôrmas de peças com grande concentração de ferragens (CAMARGOS, 2002).

Estudos sobre CAA vêm sendo desenvolvidos desde 1992, no Canadá, com aplicação voltada especialmente para pavimentação e reparos. Em Taiwan, investigações vêm ocorrendo desde 1994, com diversas aplicações estruturais já realizadas. Nos Países Baixos, o CAA foi aplicado em uma edificação em 1997, que resultou na formação de um grupo de pesquisa com objetivo de estudar a aplicação deste material em produtos de concreto. Na Suécia, em 1998 foram realizadas aplicações bem sucedidas do material em pontes, com planejamento de uso do CAA em edificações residenciais. Além destas, se tem relatos da investigação acerca do CAA em países como EUA, Áustria, Reino Unido, França, Tailândia, entre outros (OKAMURA *et. al.*, 2000).

No Brasil, poucas obras foram realizadas com o CAA, acreditando-se que esse fato deve-se à falta de estudos e adaptação da tecnologia à nossa realidade (TUTIKIAN *et. al.*, 2004).

A primeira grande obra no Brasil, ocorreu em Goiania, em 2004. As lajes do edifício Camila do residencial Sorelle, mostrado na Figura 34 foram concretadas com CAA.



Figura 34: Edifício Camila (Fonte: Realmix, 2005)

Porém, essa situação vem mudando com o passar do tempo, de modo que diversas instituições de ensino e pesquisa, assim como grandes empresas construtoras, em todo o país vêm buscando conhecimento acerca do novo material, com o objetivo de introduzir este tipo de concreto no mercado brasileiro.

A concretagem da laje de fundo dos poços Norte e Sul da estação Luz da Linha 4 - Amarela do Metrô de São Paulo mostrado na Figura 35, teve números grandiosos. Cerca de 8.000 m³ de concreto foram necessários para preencher a peça de mais de 2.000 m² de área de superfície e cerca de 3,5 m de altura. Para viabilizar a execução, a concretagem precisou ser dividida em dois finais de semana no final de 2007, nos meses de novembro e dezembro. Segundo o Consórcio Via Amarela, responsável pela construção da estação, essa foi uma das maiores concretagens já realizadas na história do Metrô de São Paulo. Além dos 7.400 m³ de concreto convencional fluido (slump entre 180 mm e 200 mm), foram aplicados cerca de 600 m³ de concreto auto-adensável fck > 35 MPa na região de engaste da laje com as paredes dos poços. Ali, em função da alta densidade da armadura, as equipes que executavam a concretagem teriam dificuldade em realizar a adequada vibração do concreto.



Figura 35: Concretagem da laje de fundo dos poços da estação (Fonte: Revista Técnica, 2008)

Inaugurado na década de 1980, em Goiânia, o Shopping Flamboyant passou por obras de ampliação em 2006. Nela, cerca de 3.000 m³ de concreto auto-adensável foram utilizados no reforço de algumas fundações e pilares de concreto já existentes. Sua escolha, dentre outros motivos, serviu para proporcionar maior velocidade na execução das lajes da nova estrutura, composta ainda por pilares e vigas metálicas. Além da possibilidade de avançar mais rápido no cronograma da obra, em função da maior produtividade propiciada pelo CAA, as equipes envolvidas na execução das concretagens - tanto da fornecedora, Realmix, quanto da construtora, Toctao - foram mais enxutas, já que o produto demandou menos trabalhadores no momento da aplicação.

Outros exemplos de aplicações são o Museu Iberê Camargo mostrado na Figura 36 e peças pré-moldadas indicados nas Figuras 37 e 38, com destaque para a fábrica de pré-moldados Verdi Construções, em Porto Alegre.



Figura 36: Museu Iberê Camargo (Fonte: Museu Iberê Camargo, 2009)



Figura 37: Pré-moldado em fachada (TUTIKIAN, 2008)



Figura 38: Arcos pré-moldados (TUTIKIAN, 2008)

Em Belém, no Pará, no ano de 2010, o CAA foi utilizado em obras industriais e residenciais conforme Figuras 39, 40 e 41:



Figura 39: Concretagem das estacas da Ponte do rio Guamá (Fonte: CONSTRUBASE, 2010)



Figura 40: Vigas do elevador Daniel Berg (Fonte: CONSTRUBASE, 2010)



Figura 41: Edifício Reserva Ibiapaba da construtora Gafisa (Fonte: CONSTRUBASE, 2010)

Recentemente, o CAA foi utilizado em Goiás, na estrutura de um condomínio composto de três edifícios residenciais de sete pavimentos, totalizando 72 apartamentos. Toda a estrutura (pilares, lajes e vigas) foi executada com o CAA.

2.7. Vantagens e Desvantagens do CAA

O crescente interesse acerca do CAA e o aumento contínuo dos estudos e aplicações do material em todo o mundo é justificado pelos inúmeros benefícios apresentados quando da aplicação deste concreto em obras. Algumas das vantagens advindas da aplicação do CAA são apresentadas a seguir, e foram descritas por diversos autores. (OKAMURA *et al.*, 2000, GETTU e AGULLÓ, 2003, EFNARC, 2005).

Dentre as vantagens, um grande destaque deve ser dado a excelente compactação do CAA no estado fresco, mesmo em áreas densamente armadas, evitando-se, assim, a presença de nichos no interior do elemento estrutural e garantindo um bom acabamento ao concreto e uma moldagem mais adequada dos corpos de prova. Essa situação permite a obtenção de resultados mais precisos do desempenho mecânico do concreto e a produção de estruturas mais duráveis, devido a eliminação de macro defeitos, bolhas de ar e falhas de concretagem.

Outra vantagem é que o CAA possui uma grande deformabilidade no estado fresco, ou seja, pode ser moldado facilmente nas mais diversas fôrmas. Por ter alta fluidez, o concreto acelera a edificação, proporcionando ganhos em relação a prazos para a execução de outras etapas.

Alguns resultados experimentais já mostraram que o CAA apresentou reduções significativas no coeficiente de permeabilidade e absorção capilar se comparado ao CC, um aspecto interessante quando se avalia a durabilidade do concreto.

Bosiljkov (2003), afirma que a adição de materiais finos no CAA melhora diversas propriedades, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Esta pesquisadora acredita que os finos atuam como pontos de nucleação, ou seja, quebram a inércia do sistema, fazendo com que as partículas de cimento reajam mais rapidamente com a água, obtendo-se, assim, ganhos de resistência nas primeiras idades. Esse fato, contribui para a retirada mais rápida das fôrmas, acelerando outros processos. Além disso, segundo a pesquisadora, aumentando-se o pacote de partículas finas, cresce a compacidade da pasta, dificultando a penetração de agentes externos agressivos e melhorando a zona de transição, o que também é importante, para a durabilidade do concreto.

A eliminação da etapa de vibração do concreto resulta, também, em uma importante vantagem, pois com a eliminação do ruído causado pelo vibrador, há uma melhora na qualidade do ambiente de trabalho, uma vez que os trabalhadores deixam de estar expostos a taxas de ruídos elevados. Esse fato, favorece ainda a concretagem em áreas urbanas, onde os ruídos em muitas situações são limitantes à construção e há por parte da obra uma diminuição do uso e manutenção de equipamentos elétricos e economia de energia elétrica, insumos estes relevantes no custo global da edificação.

Uma terceira consequência benéfica da elevada fluidez do CAA é a possível diminuição da equipe de trabalho, uma vez que não é necessário a presença de muitas pessoas no canteiro de obras para a realização das atividades de lançamento e espalhamento do concreto, que se auto-compacta, reduzindo custo de mão de obra e melhorando a segurança do trabalho, uma vez que há redução de pessoas em áreas de risco.

Além disso, a fabricação do CAA permite o uso de grande volume de aditivos minerais provenientes de resíduos industriais, contribuindo para a diminuição dos impactos ambientais e consequentemente para o desenvolvimento sustentável.

Outro aspecto importante, é que o CAA proporciona uma maior flexibilidade na área de projetos, principalmente na especificação de elementos esbeltos.

Entretanto, os construtores não são os únicos a usufruir das vantagens que o CAA pode proporcionar. As concreteiras podem, em sua grande maioria, obter vantagens que são diretamente mensuráveis se comparadas as produções de um de um CC, entre as quais podemos citar:

- Maior produtividade dos caminhões betoneira;
- Otimização nos ciclos de viagem;
- Facilidade no bombeamento;
- Aumento de vida útil dos equipamentos;
- Redução de manutenção dos equipamentos.

Um dos grandes ganhos da concreteira é sem dúvida, o aproveitamento logístico de frota.

Por outro lado, de acordo com Okamura *et al.*, (2000), a produção de CAA exige a diminuição da quantidade de agregado graúdo presente na mistura e o aumento da quantidade de finos (cimento, adições minerais e químicas). O custo destes materiais é elevado, tornando limitante a utilização do CAA em obras, que inclusive, se torna um grande desafio para as concreteiras, primeiro, porque impulsiona as fábricas a investir em pesquisas a fim de se determinar um traço ideal de CAA; segundo, porque obriga as usinas a monitorar o processo de fabricação do concreto para garantir a qualidade das

matérias-primas que o constituem, evitando possíveis variações do material no estado fresco que podem vir a ocorrer. Além disso, faz-se necessário treinamentos específicos das equipes de recebimento e aplicação do concreto na obra. O controle de verificação da fluidez do material por meio dos ensaios de caracterização é essencial para a liberação de aplicação do concreto. Já a cura criteriosa e adequada do CAA, vai evitar a ocorrência de fissuras por retração do concreto no momento da pega garantindo sua qualidade e durabilidade.

Outro aspecto relevante, é em relação ao controle dos processos de transporte e aplicação do concreto. O CAA necessita de cuidados especiais no seu transporte da usina até a obra, principalmente para evitar a sua segregação. Esse deslocamento é feito normalmente por intermédio de caminhões-betoneira. O tempo de aplicação do concreto auto-adensável é menor que o concreto convencional devido a utilização de aditivos químicos. Esse fator leva as empresas a ter uma logística de transporte eficiente, o que nem sempre é possível, em função dos problemas de trânsito. A obra também deve se programar para que no dia da concretagem todos os serviços inerentes ao processo já estejam concluídos e conferidos, o que nem sempre ocorre. Uma outra desvantagem do CAA é que a pressão de aplicação nas fôrmas é maior quando comparado ao CC. Essa situação se deve à característica reológica do concreto, de alta fluidez, que quando lançado na fôrma se comporta como um líquido, gerando maiores pressões. Necessariamente, cuidados maiores devem ser tomados na escolha do tipo de escoramento das fôrmas, o que muitas vezes, obriga os construtores a utilizarem equipamentos mais caros que garantam um travamento eficiente e completo de todas peças estruturais.

2.8. Custos do CAA

Atualmente, o custo de um material tem sido preponderante em relação as suas vantagens técnicas, produtivas e duráveis para a determinação da maioria das soluções construtivas. Um dos critérios para viabilizar a aplicação de um CAA é comparar o preço do seu m³ em relação ao CC, isso porque grande parte das empresas ainda enxerga o CAA como uma tecnologia viável apenas para situações extremas onde o CC não é a alternativa mais adequada.

Porém, o momento de desenvolvimento que o Brasil está vivendo, demonstra a necessidade de se utilizar o CAA no mercado como produto de linha convencional. É de extrema importância que os construtores percebam que é nos elementos convencionais

que se pode conseguir o máximo rendimento desse concreto no que se refere à sua produtividade e rentabilidade.

Apesar do CAA apresentar acréscimo no custo dos materiais, que, segundo as literaturas é de 15 a 25% em relação ao CC, a redução dos custos de mão de obra e dos prazos de execução são significativos.

A concretagem das lajes do edifício Camila em Goiânia, com CAA de $f_{ck}=20\text{MPa}$, em dezembro de 2004, permitiu uma redução em torno de 70% da mão de obra de lançamento e adensamento e uma velocidade perceptível e satisfatória na execução das estruturas (GEYER E SÁ, 2005).

Em estudo realizado por Repette (2007), foi comparado o custo de aplicação do concreto auto-adensável com o concreto convencional. Para isso, monitorou-se a construção de duas lajes consecutivas in loco, uma de concreto auto-adensável e outra de concreto convencional, ambas com resistência à compressão e módulo de elasticidade de no mínimo 25 MPa e 18 GPa aos 28 dias, respectivamente. A área total de cada laje foi de 504 m^2 e o sistema de fôrmas foi o mesmo para ambas as lajes. Todas as etapas de concretagem foram filmadas sem pausas e depois analisadas. O resumo dos resultados é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13: Resumo dos resultados obtidos no estudo comparativo (Fonte: REPETTE, 2007)

	CAA	REF
Volume de concreto	57 m ³	64 m ³
Tempo de concretagem	2h 32min	2h 28min
Taxa de concretagem	22,5 m ³ /h	25,9 m ³ /h
Número de Trabalhadores	2,5	11
Produtividade	9 m ³ /h/trab.	2,35 m ³ /h/trab.

Esses resultados mostram que a produtividade durante a aplicação do CAA foi maior do que na aplicação do concreto convencional.

Para o cálculo de custo, apenas os trabalhadores diretamente envolvidos na concretagem e o número de horas trabalhadas foram computados. Assim, aplicando a média salarial mensal de R\$ 860,00 por trabalhador com uma jornada de 200 horas mensais (média dos valores praticados pela construção civil na cidade de Florianópolis em dezembro de 2004), e considerando o tempo de mobilização/desmobilização de 1 hora, chegou-se ao montante de R\$ 1,30/m³ para o custo de concretagem com CAA e de R\$ 5,38/ m³ com o CC.

Apesar da redução significativa nos custos de mão de obra de concretagem ao se empregar o CAA, o custo do material foi mais elevado em relação ao CC. Na época, o valor do m³ do concreto bombeado com abatimento de 10 cm e resistência à compressão de 30 MPa foi de R\$ 199,50, enquanto que o do concreto auto-adensável utilizado foi de R\$ 283,50.

Na obra do residencial Pateo, realizada em 2008, em São Paulo, pela construtora BKO, foram comparados os custos da concretagem de dois pavimentos de 250 m², um com concreto convencional e o outro com concreto auto-adensável. Em ambas as concretagens, foram utilizados equipamentos com as mesmas características técnicas. A laje e as vigas do 4º pavimento foram concretadas com concreto convencional em 4h e 40 min. Com o uso de concreto auto-adensável no 5º pavimento, o tempo total de concretagem caiu para 2h e 20min. Além disso o custo da mão de obra para a concretagem, foi de R\$ 7,18/m³ para o concreto convencional e R\$ 0,70/ m³ para o concreto auto-adensável (FARIA, 2008).

Na obra do edifício Parthenon Residence, em Novo Hamburgo, no Rio Grande do Sul, executada pela Mosmann Incorporações, o concreto auto-adensável foi utilizado em duas torres justapostas com 11.529,41 m² a partir do 5º pavimento. Os custos de produção e execução desse concreto e do convencional, assim como a mão de obra utilizada no lançamento e vibração, a depreciação dos equipamentos e o custo da energia elétrica foram levantados e comparados conforme dados das Tabelas 14 e 15, chegando-se à conclusão de que o custo do CAA ficou cerca de 1,1% superior ao CC, mas essa diferença foi compensada pela produtividade propiciada pelo CAA (FARIA, 2008).

Tabela 14: Custos de execução com CC (Fonte: TÉCHNE, nº 132, 2008)

CONCRETO CONVENCIONAL							
Descrição	Unidade	Qtde.	Custo Unitário (R\$)		Custo Total (R\$)		Total (R\$)
			Material	Mão-de-obra	Material	Mão-de-obra	
Laje							
Mão-de-obra para lançamento de concreto convencional	h	117,00	-	14,90	-	1.743,30	
Mão-de-obra para execução de mestras	h	8,80	-	14,90	-	131,12	
Concreto convencional dosado em central, abatimento de 9±1 cm, brita 0 e 1 e f _{ck} de 30 MPa	m ³	62,00	221,64	-	13.741,68	-	
Vibrador para concreto	un/dia	2,00	25,00	-	50,00	-	
Régua vibratória para concreto	un/dia	1,00	35,00	-	35,00	-	
Energia elétrica comercial	kW	29,25	0,28	-	8,19	-	
Pilares							
Mão-de-obra para lançamento de concreto convencional	h	30,00	-	14,90		447,00	
Concreto convencional dosado em central, abatimento de 9±1 cm, brita 0 e 1 e f _{ck} de 30 MPa	m ³	15,00	221,64	-	3.324,60	-	
Vibrador para concreto	un/dia	2,00	25,00	-	50,00	-	
Energia elétrica comercial	kW	15,00	0,28	-	4,20	-	
Custo Total (R\$)					17.213,67	2.321,42	19.535,09

Tabela 15: Custos de execução com CAA (Fonte: TÉCHNE, nº 132, 2008)

CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL							
Descrição	Unidade	Qtde.	Custo Unitário (R\$)		Custo Total (R\$)		Total (R\$)
			Material	Mão-de-obra	Material	Mão-de-obra	
Laje							
Mão-de-obra para lançamento de concreto auto-adensável	h	60,19	-	14,90	-	896,83	
Concreto auto-adensável, espalhamento de 60 cm, brita 0 e 1 e f_{ck} de 30 MPa	m ²	62,00	242,00	-	15.004,00	-	
Pilares							
Mão-de-obra para lançamento de concreto auto-adensável	h	14,56	-	14,90	-	216,94	
Concreto auto-adensável, espalhamento de 60 cm, brita 0 e 1 e f_{ck} de 30 MPa	m ²	15,00	242,00	-	3.630,00	-	
Custo Total (R\$)					18.634,00	1.113,78	19.747,78

O estudo realizado por Toralles-Carbonari *et al.*, (2009), verificou a viabilidade técnica e econômica da aplicação do CAA em uma fábrica de peças pré-moldadas. Neste estudo, para um concreto convencional (REF) e um concreto auto-adensável (CAA), foram verificados os tempos de execução da mistura, transporte, lançamento, adensamento, acabamento e reparos, assim como foram levantados os custos dos concretos. Os resultados mostraram que a aplicação do CAA nos elementos pré-moldados foi viável técnica e economicamente, já que o CAA teve um custo global próximo ao do CC. O aumento do custo provocado pelos componentes do CAA foi compensado por ganhos na redução da mão de obra, no adensamento, no acabamento e nos reparos. Verificaram-se também as vantagens de redução do ruído e o uso de resíduos industriais em substituição ao cimento.

Estudo realizado por Alencar, Helene e Folch (2008), sobre viabilidade e produtividade do CAA na pré-fabricação, mostrou que o custo unitário do CAA foi cerca de 15% maior que o do concreto convencional, mas, ao se analisar o custo de produção, verificou-se que essa diferença caiu para 2%. Além dos aspectos considerados na análise, levou-se em conta a melhoria da qualidade de acabamento das peças pré-fabricadas, a economia de energia e o menor desgaste das fôrmas, o que, tornou a aplicação do CAA vantajosa.

Tutikian & Dal Molin (2008), descrevem a utilização do CAA em uma indústria de pré-moldados. Foram comparados os custos globais entre o CCV e o CAA, abrangendo todas as etapas do processo, desde a composição unitária dos insumos até a etapa de reparos. A Tabela 16 mostra o resultados obtidos para um concreto de f_{ck} 25 MPa. O custo global do CAA foi 3% inferior ao do CCV, apesar dos materiais terem apresentado um custo 24% superior.

Tabela 16: Comparação de custos globais CAA x CC (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008)

EMPRESA X				
ETAPA	CCV		CAA	
	Nº DE PESSOAS	CUSTO (R\$/m³)	Nº DE PESSOAS	CUSTO (R\$/m³)
COMPOSIÇÃO DO CONCRETO	0	142,46	0	177,29
MISTURA DO CONCRETO	1	3,43	1	3,43
TRANSPORTE	1	15,49	1	15,49
APLICAÇÃO DO DESMOLDANTE	3	10,66	3	10,66
ADENSAMENTO	5	26,70	2	5,34
ACABAMENTO	4	7,03	2	1,41
REPAROS	2	14,55	0	0,00
TOTAL		216,89		210,19

É importante salientar que a redução do custo dos aditivos superplastificantes, moduladores de viscosidade e seu avanço tecnológico ao longo dos últimos anos, conforme apresentado na Figura 42, pode contribuir para o aumento da sua aplicação em obras convencionais futuras.

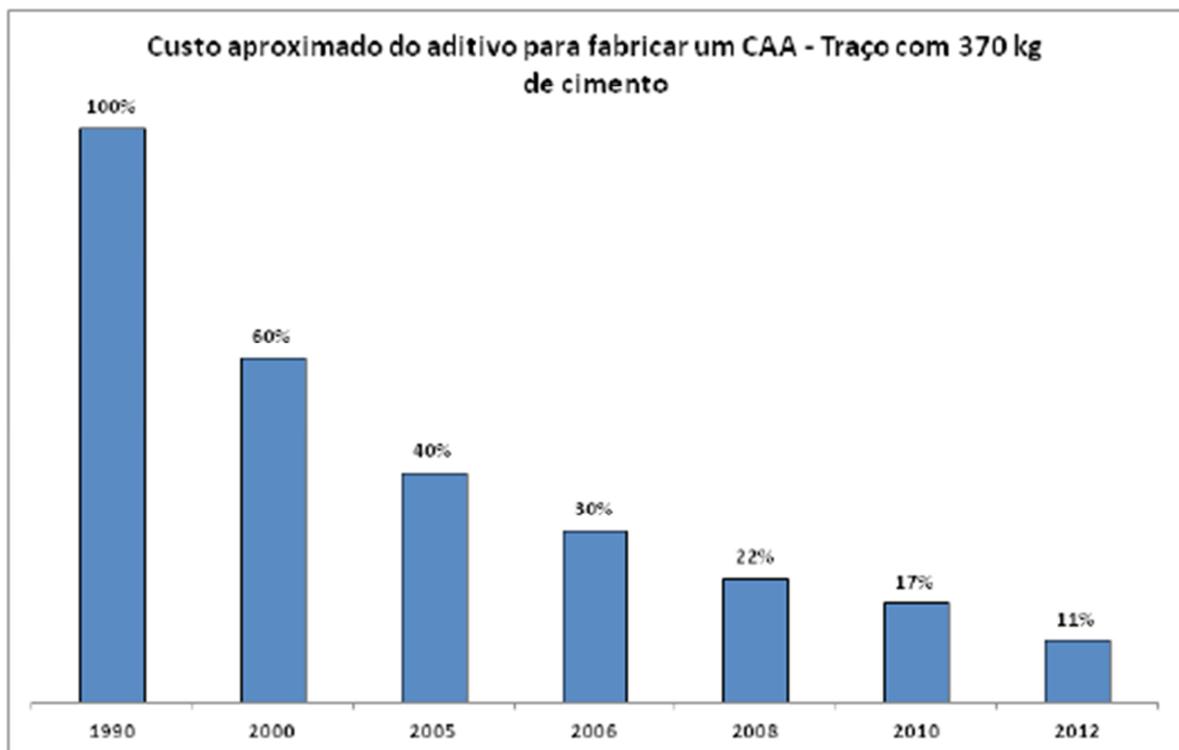


Figura 42: Redução do custo dos aditivos superplastificantes nos últimos anos (Fonte: Comunidade da Construção, 2012)

3. FERRAMENTAS PARA CONTROLE DE QUALIDADE E ACEITAÇÃO DO CAA

3.1. Fabricação e dosagem na usina

Inicialmente, as centrais de concreto devem conhecer bem as propriedades e características dos materiais constituintes do concreto. Para esse fim, elas se valem de ensaios que permitem analisar o comportamento dos mesmos nas mais diversas condições. Definido o tipo de cimento, os agregados, determinam-se os aditivos adequados para o traço a ser desenvolvido, levando-se em consideração alguns aspectos específicos, tais quais: distância entre usina e obra; prazo de desfôrma; resistência inicial, coesão entre os constituintes, dentre outros. A quantidade de água será determinada a partir do controle de umidade dos demais materiais. Posteriormente, são realizados os ensaios de caracterização descritos no capítulo anterior, a fim de avaliar as características de fluidez, habilidade passante e de segregação do CAA.

No proporcionamento do CAA, alguns princípios básicos devem ser considerados:

1º) para se conseguir elevada fluidez, a pasta do concreto deve lubrificar e espaçar adequadamente os agregados, de forma que o atrito interno entre os mesmos não comprometa a sua capacidade de escoamento;

2º) para que o CAA apresente resistência à segregação e seja capaz de passar por restrições sem que haja bloqueio, a pasta deve ter viscosidade suficientemente elevada a fim de manter os agregados em suspensão, evitando que separem pela ação da gravidade. Outros fatores que controlam a segregação são a quantidade e a distribuição granulométrica dos agregados, sendo que as distribuições contínuas são as mais adequadas para esse fim;

3º) a capacidade de passar pelos espaços entre as armaduras, e dessas com as paredes das fôrmas, limita o teor e a dimensão dos agregados graúdos na mistura.

Um dos aspectos que merecem particular atenção é que grande parte dos métodos usados com sucesso para a dosagem de concretos convencionais não são adequados para o proporcionamento racionalizado do CAA. Além disso, os aditivos não devem ser usados para corrigir traços inadequados.

A obtenção de CAA a partir de traços de concretos convencionais pela simples incorporação de finos, do uso de superplastificante de base ácido carboxílico e do aumento do seu teor, geralmente resulta em CAA de baixa qualidade e com custo elevado. O teor de cimento pode ser reduzido pela adição de finos ativos ou inertes, de forma a garantir o teor necessário de finos para assegurar adequadas coesão e

estabilidade no estado fresco. Além disso, o uso de métodos de dosagem apropriados para CAA, como, por exemplo, o de Okamura e o de Repette-Melo, apresentados anteriormente, é o primeiro passo para se alcançar, na plenitude, os benefícios do uso do CAA.

A utilização de adições minerais também é benéfica para o CAA. Ele se torna sustentável, principalmente, quando se utiliza um resíduo industrial, evitando que o mesmo seja jogado no meio ambiente; econômico, pois pode ser substituído pelo cimento, reduzindo o custo do m³ do concreto; e tecnológico, por proporcionar melhorias em suas propriedades no estado fresco, por meio de ausência de segregação e exsudação e no estado endurecido, por meio da melhoria de suas propriedades mecânicas, tais quais: resistência, permeabilidade e durabilidade (METHA e MALHOTRA, 1996 *apud* CAVALCANTI, 2006).

3.2. Transporte e recebimento na obra

O transporte do concreto sempre está sujeito a influência de fatores externos como o trânsito e a temperatura ambiente. Normalmente, quando produzidos em centrais distantes da obra, todos os aditivos que compõem o CAA são adicionados na própria usina. O transporte até a obra é feito por intermédio de caminhões-betoneira com capacidade de 8 m³, como mostra a Figura 43. É importante que o motorista do caminhão consiga realizar o trajeto em um tempo hábil que garanta as características do CAA a uma temperatura que, preferencialmente, não sofra grandes alterações.



Figura 43: Descarga de concreto feito pelo caminhão betoneira (Fonte: REALMIX, 2005)

De acordo com algumas concreteiras, a partir da primeira adição de água, o tempo ideal de transporte que decorre desde o início da mistura até a entrega do concreto, deve ser:

- Fixado de forma que o fim do adensamento não ocorra após o início de pega do concreto e das camadas ou partes contínuas a essa remessa (evitando a formação de junta fria);

- Inferior a 90 minutos e fixado de maneira que o fim da descarga ocorra em no máximo 150 minutos. Para prazos maiores, devem ser introduzidos ao concreto aditivos específicos.

A logística de recebimento das bombas e dos caminhões deve ser planejada de tal forma que toda a operação de concretagem possa ser realizada sem impedimentos e que os trajetos até o local de aplicação sejam de fácil acesso . É importante que o local de descarga seja um ponto estratégico dentro da obra, de modo a facilitar as manobras dos caminhões, a comunicação e a visão da equipe de operação e as descargas em tempos reduzidos.

Atualmente, os caminhões-betoneira saem da usina lacrados, sendo uma garantia do fornecedor de que o concreto não será desviado ou direcionado para outros fins. O lacre só deve ser rompido na obra mediante autorização do responsável técnico que deve conferir a nota fiscal de simples remessa que vai junto com o motorista, verificando os seguintes itens:

- Os dados da obra;
- As características do concreto (fck, volume, consistência, tipo e consumo de brita, fator a/c, módulo de elasticidade, tipo e consumo de cimento, tipo de aditivo utilizado)
- Os horários de carregamento e saída do caminhão da usina para mensurar o tempo para aplicação do concreto.

3.3. Preparação para aplicação

É preciso tomar algumas medidas preliminares na obra para liberar o lançamento do concreto. Neste aspecto, a conferência do sistema de escoramento, fôrmas e a consistência do concreto são essenciais.

O escoramento deve ser executado de modo a impedir que sob a ação do peso das fôrmas, das ferragens, do concreto a ser aplicado e das cargas acidentais, ocorram deformações prejudiciais à estrutura ou esforços na fase de endurecimento do CAA.

Cabe ressaltar que a pressão que o CAA exerce nas fôrmas é maior que o CC, logo é importante conferir os travamentos de todos os painéis.

As fôrmas devem ser conferidas (nivelamento, alinhamento dos painéis, dimensões, posicionamento) para garantir que a geometria e o acabamento da estrutura corresponda ao projeto. O interior das fôrmas deve estar limpo e as juntas vedadas, para evitar a fuga da pasta. Nas fôrmas de paredes, pilares ou vigas estreitas e altas, devem ser deixadas aberturas próximas ao fundo, para limpeza. Quanto às formas absorventes, é preciso molhá-las até a saturação. Quando as superfícies das fôrmas precisarem de tratamento anti aderente para facilitar a desmoldagem, esse tratamento deve ser feito antes da colocação da armadura. Os produtos empregados não devem deixar na superfície do concreto resíduos que sejam prejudiciais ou possam dificultar a retomada da concretagem ou a aplicação de revestimentos.

É necessário conferir a consistência do concreto verificando se o material está em conformidade com as especificações normativas e de projeto. Para este fim, é utilizado o Slump Flow Test. É recomendável que a base onde o CAA será espalhado, esteja plana e limpa, feita com material não absorvente, conforme indica a Figura 44. Dependendo do resultado, talvez faz-se necessário dosar o concreto novamente, adicionando uma complementação de aditivo ou de água à mistura, em volumes pré-estabelecidos pelo engenheiro calculista ou o tecnologista de concreto. A Figura 45, ilustra esse procedimento.



Figura 44: Base para espalhamento do CAA no ensaio Slump Flow Test (Fonte: QRTZ Incorporações – Belo Horizonte)



Figura 45: Dosagem de aditivos em obra (Fonte: Edifício Camila - Goiânia)

3.4. Lançamento

O lançamento do CAA é liberado após a avaliação da amostra de concreto do caminhão-betoneira e da dosagem de aditivos e outros constituintes (quando necessário).

O concreto deve ser lançado o mais próximo possível de sua posição final, evitando-se incrustações de argamassa nas paredes das fôrmas e nas armaduras. Para os lançamentos a seco, em recintos sujeitos a penetração de água, devem ser tomadas todas as precauções para que não haja contato de líquidos nos locais de aplicação. Em caso de chuvas fortes, é essencial proteger as regiões com lona evitando que o material seja lavado.

Quando a altura do lançamento for muito elevada, é recomendável utilizar anteparos ou funil, para a desagregação do concreto. Quando o lançamento for submerso, o concreto deve ter no mínimo 350 kg de cimento por metro cúbico, ter consistência plástica e ser levado para dentro da água por uma tubulação, mantendo-se a ponta do tubo imersa no concreto já lançado. Após o lançamento, o concreto não deve ser manuseado para não alterar sua forma definitiva.

Quando o lançamento do concreto for interrompido e, assim, formar-se uma junta de concretagem, convém tomar precauções para que, ao reiniciar o lançamento, haja suficiente ligação do concreto endurecido com o do novo trecho. Antes de reiniciar o lançamento, é necessário remover e efetuar a limpeza da superfície da junta, garantindo sua resistência aos esforços a que estará submetida. As juntas devem localizar-se onde for menor o esforço de cisalhamento, de preferência em posição normal aos esforços de compressão, salvo se for demonstrado que a junta não diminuirá a resistência da peça. O

concreto deve se auto adensar até a superfície da junta. Se for necessário, usa-se uma fôrma para garantir o adensamento. No caso de vigas ou lajes apoiadas em pilares ou paredes, o lançamento deve ser interrompido no plano de ligação do pilar ou parede com a face inferior da laje ou viga, ou no limite inferior de capitéis. Essa interrupção se faz necessária para evitar que o assentamento do concreto produza fissuras ou descontinuidade na vizinhança daquele plano.

Concretos auto-adensáveis não necessitam ser auto nivelantes, até porque quanto mais fluido for o concreto, maior será seu custo. Além disso, é difícil fazer um controle de aplicação e o rastreamento do CAA de elevada fluidez na concretagem de vigas e lajes, pois o concreto literalmente "foge" do lugar de aplicação. Mesmo assim, é válido a utilização de algumas ferramentas de controle no decorrer do processo.

Conforme Fiates (1995), a qualidade não pode se separar das ferramentas básicas utilizadas no controle, melhoria e planejamento da qualidade, visto que estas fornecem dados, que ajudam a compreender a razão dos problemas e determinam soluções para eliminá-los.

Dentro do sistema de gestão da qualidade, podemos identificar 4 ferramentas que podem auxiliar os construtores e gerentes no controle de aplicação do CAA e na obtenção de dados para análise de índices qualitativos e quantitativos:

- Procedimento executivo;
- Lista de verificação de serviço;
- Rastreabilidade de concreto;
- Controle de consumo de concreto.

a) Procedimento executivo:

O procedimento executivo é um documento que descreve todos os passos a serem seguidos na execução do serviço, visando à sua padronização. Além disso, ele deixa claro quem são os responsáveis pela execução, quais os equipamentos, materiais e EPI's (equipamentos de proteção individual) necessários e enfatiza algumas informações que podem auxiliar a chefia em tomadas de decisão.

No processo de concretagem de estruturas com CAA, 4 procedimentos executivos são importantes:

- Procedimento executivo de fôrma apresentado no Anexo 1;
- Procedimento executivo de armação apresentado no Anexo 2;
- Procedimento executivo de transporte, aplicação de concreto estrutural e execução de lajes apresentado no Anexo 3.

b) Lista de verificação de serviço:

As listas de verificação de serviço são planilhas ou tabelas utilizadas para registro de dados visando à conformidade ou não-conformidade do serviço. Ela contém uma coluna para registro de data, local e responsável pela avaliação. Além disso, ela descreve os pré-requisitos para o início do serviço, os instrumentos necessários para conferência, as tolerâncias permitidas, o percentual de amostras necessário e um campo para descrição das não-conformidades e soluções a serem dadas.

No processo de concretagem de estruturas com CAA, 03 listas de verificação de serviço são importantes:

- Lista de verificação de serviço de fôrma apresentado no Anexo 4;
- Lista de verificação de serviço de armação apresentado no Anexo 5;
- Lista de verificação de serviço de transporte, aplicação de concreto estrutural e execução de lajes apresentado no Anexo 6.

c) Rastreabilidade do concreto:

A rastreabilidade do concreto é uma planilha que identifica o local em que o concreto será aplicado, bem como suas características (fck, slump, brita, fator a/c), o número da nota fiscal (para identificação do caminhão e volume de concreto descarregado), além de campos para registros de datas e fornecedor. Em anexo a este documento há um croqui do projeto, indicando a região de ocupação do concreto.

Por meio desta ferramenta apresentada no Anexo 7, é possível se comparar o volume solicitado pela obra com o volume descarregado pelo caminhão-betoneira e em caso de alguma não-conformidade relacionada a baixa resistência por exemplo, é possível identificar a região onde o concreto foi aplicado.

d) Controle de consumo de concreto:

O controle de consumo de concreto é uma planilha que compara o volume previsto em projeto com o volume real aplicado. Por meio dela conforme mostrado no Anexo 8, se obtém índices de perda na etapa e no processo global. É importante a utilização dessa ferramenta na aplicação do CAA, uma vez que a pressão exercida nas fôrmas é grande, sendo necessário monitorar as espessuras de laje e larguras de vigas.

As Figuras 46 e 47 abaixo, apresentam detalhes das operações de lançamento e sarrafeamento do CAA em lajes.



Figura 46: Sarrafeamento do CAA (CAINELLI, 2009)



Figura 47: Lançamento do CAA (CAINELLI, 2009)

3.5. Cura

A cura é extremamente importante pois impede a perda de água do concreto. Dessa forma, no processo de concretagem de estruturas, todas as superfícies devem ser mantidas permanentemente úmidas.

Enquanto não atingir o endurecimento satisfatório, o concreto deve ser protegido contra agentes prejudiciais e mudanças bruscas de temperatura, secagem, vento, chuva forte, água torrencial, agentes químicos, choques e vibrações de intensidade tal que possam produzir fissuras no concreto ou prejudicar sua aderência à armadura.

O endurecimento do concreto pode ser antecipado por meio de tratamento térmico adequado e devidamente controlado, sem dispensar as medidas de proteção contra secagem (ABESC, 2012).

A proteção contra secagem prematura, pelo menos durante os sete primeiros dias após o lançamento do concreto (aumentando esse mínimo quando a natureza do concreto exigir), pode ser feita mantendo a superfície umedecida ou protegendo-a com uma película impermeável ou em determinadas circunstâncias, utilizando fibras associadas ao próprio CAA.

Em caso de utilização da cura com água, esta deverá ser permanente, não devendo-se criar ciclos de molhagem ou secagem, os quais podem comprometer a estrutura.

3.6. Controle Tecnológico

O controle tecnológico do CAA é importante para a determinação da sua resistência à compressão e segregação, fluidez, viscosidade e habilidade passante. Grande parte dos ensaios é realizado nos laboratórios das concreteiras – é o caso do Funil V, Caixa L, Tubo U e o rompimento dos corpos de prova para análise de resistências. É importante a contratação de empresas de controle tecnológico de concreto por parte das obras, primeiro, para monitorar todas as concretagens (realizar a moldagem e identificação dos corpos de prova, avaliar a consistência do concreto), e, segundo, para realizar os mesmos ensaios de caracterização do concreto feito pelas usinas, porém, em seus próprios laboratórios. Dessa forma, é possível confrontar resultados.

A moldagem dos corpos de prova, como mostra a Figura 48, vai permitir a obtenção dos resultados de resistência à compressão do concreto mediante o rompimento dos mesmos em laboratório especializado. Devido a elevada fluidez do CAA, ele por si só já se auto adensa. Portanto, não é necessário golpear o concreto nas fôrmas, procedimento necessário no caso do CC. Após 28 dias, o CAA deve atingir a resistência à compressão especificada em projeto.



Figura 48: Moldagem dos corpos de prova (Fonte: QRTZ Incorporações – Belo Horizonte)

A verificação da consistência do CAA é obtida mediante ensaio do Slump Flow Test, baseado na norma NBR 15823 (ABNT, 2010). Os equipamentos utilizados para o ensaio são: o cone de Abrams, de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998); uma chapa de acrílico com medidas de 1,0 m x 1,0 m e um cronômetro (no caso da aplicação do T500). Para que o concreto seja considerado satisfatório, o valor do espalhamento tem que estar dentro dos limites estabelecidos pelos fornecedores de concreto.

3.7. Variáveis intervenientes no processo de qualidade do CAA

A implantação e a garantia de qualidade do CAA vai depender das variáveis abaixo:

- Projeto;
- Planejamento de execução;
- Logística;
- Controle das matérias-primas;
- Capacitação da mão de obra;
- Indicadores qualitativos e quantitativos

a) Projeto:

O trabalho integrado entre obra, fornecedor e consultores permite uma prescrição prévia das características do CAA em projeto, dando condições aos envolvidos de fazer

uma análise em relação às adaptações, metodologias e possíveis revisões, visando sua melhor adequação.

Os projetos necessários na execução de estruturas são basicamente os de: forma, escoramento, armação, elétrico e hidráulico (para locação de furos, shafts, caixas e distribuição de eletrodutos embutidos). Para a obtenção do desempenho esperado nos projetos de fôrma, projeta-se um sistema de suporte constituído por escoras e tirantes, encarregados de transferir ou equilibrar os esforços solicitantes. Esses projetos visam garantir o travamento das peças estruturais até que o concreto atinja a resistência pré-determinada, além da altura, o nivelamento, o prumo e as dimensões especificadas. Estudos preliminares contribuí para a escolha de soluções técnicas mais adequadas, favorece as compatibilizações dos projetos citados e auxilia o engenheiro da obra a projetar e planejar a melhor logística de canteiro.

b) Planejamento de execução:

O processo de planejamento de execução deve ser feito pela obra em conjunto com o fornecedor do concreto. É importante uma visita de campo dos responsáveis técnicos das centrais para visualização das condições oferecidas pela obra, a fim de favorecer o estabelecimento das alternativas mais convenientes. É necessário também a realização de testes prévios antes de uma grande concretagem, buscando adequar fatores como ciclos, pontos de aplicação, a identificação dos possíveis gargalos e dificuldades advindas da utilização do CAA.

c) Logística:

A logística para a aplicação do CAA envolve: a entrega do concreto pela usina, o recebimento e a aplicação do concreto pela obra.

As centrais de concreto devem cumprir os prazos de programação de entrega e montagem dos equipamentos de bombeamento e de início da concretagem. É importante que elas estimem a capacidade produtiva de bombeamento de concreto (m^3/h) baseado nas condições da obra e no histórico de obras anteriores. Esse dado favorece os gestores da obra a mensurar o tempo do ciclo de concretagem para obtenção de índices. O ideal é que as concretagens ocorram em horários flexíveis, de maneira a facilitar o trajeto dos caminhões (usina-obra), permitindo, dessa forma, que as frotas sejam contínuas e dinâmicas.

O recebimento pela obra deve favorecer a manobra dos caminhões, a localização estratégica da bomba a fim de facilitar a comunicação da equipe de produção e o percurso de tubulações até o local de aplicação.

d) Controle das matérias-primas:

O controle dos constituintes do CAA é essencial ao longo dos processos de dosagem e transporte pelas usinas, recebimento e aplicação pelas obras. Esse procedimento vai garantir a eficiência, a qualidade e a durabilidade do material. As especificações, as quantidades, a uniformidade, os testes, os métodos de manuseio das matérias primas durante a dosagem do CAA nas centrais são fatores determinantes para o desenvolvimento e elaboração do traço ótimo que atenda tecnicamente às exigências das obras. O cuidado no transporte do concreto é importante para evitar que o mesmo sofra variações de temperatura e perca suas características de fluidez. Já no seu recebimento, é necessário avaliar se há necessidade ou não de algum tipo de complementação (água ou aditivo) em função do resultado obtido no ensaio de consistência. Durante sua aplicação, é importante avaliar a fluidez e o adensamento do CAA nos elementos estruturais, se atentando para que o tempo de aplicação seja o menor possível, para não comprometer suas propriedades no estado fresco. Outro controle essencial é o procedimento para promover a hidratação do cimento. A cura por molhagem ou por membrana vai favorecer as propriedades do CAA no estado endurecido.

e) Capacitação da mão de obra:

A questão da deficiência na formação e, conseqüentemente, na qualidade técnica dos envolvidos no processo de construção civil é o principal fator para a não obtenção de estruturas de concreto duráveis ou de bom desempenho (CEB – Boletim 183).

É necessário preparar a equipe de execução, investir em formação, capacitação e treinamento para que a aplicação do CAA não seja uma surpresa e confira confiabilidade ao processo. O que se espera da equipe é que ela se adapte a metodologia de aplicação do CAA, esteja aberta a novas orientações e elimine a cultura do “eu sempre fiz assim”.

f) Indicadores Qualitativos e Quantitativos:

Os indicadores qualitativos e quantitativos são dados numéricos obtidos a partir de trabalhos de monitoramento e controle das etapas que norteiam um processo, que permite viabilizá-lo ou não tecnicamente e financeiramente.

Os indicadores quantitativos refletem os gastos e economias físicas e financeiras ao longo da obra. Em se tratando do CAA, merece atenção os índices relacionados a consumo de concreto (m^3 real x m^3 de projeto) avaliando possíveis perdas, custo do material (R\$/ m^3 bombeado) e custo de mão de obra (R\$ homem-hora/ m^3 bombeado).

Os indicadores qualitativos vão refletir a qualidade de adensamento, o tempo para desfôrma, o acabamento final pós-desfôrma e a durabilidade do concreto.

4. ESTUDO DE CASO

O trabalho estudado foi realizado em duas obras que aplicaram o CAA durante a fase de estrutura em Belo Horizonte-MG. A primeira, o Hotel TULIP INN, da construtora Direcional Engenharia. A segunda, o Residencial Mirante Boulevard, da empresa Quartzo Incorporações de Imóveis Ltda. Ambas contrataram a usina de concreto Supermix para fornecer o CAA por meio de sistema de bombeamento.

Neste capítulo será apresentado por meio de dados, planilhas, gráficos e figuras, os processos de fabricação, dosagem e transporte realizados pela Supermix, os processos de recebimento, lançamento, cura e controle tecnológico praticados pelas 2 obras em lajes de pavimento tipo e os resultados e indicadores obtidos pelas mesmas com a utilização do CAA.

Características dos Empreendimentos:

- HOTEL TULIP INN:

Número de pavimentos: 19, sendo: 1 andar de subsolo, 1 andar térreo, 2 pavimentos diferenciados, 15 pavimentos tipo;

Número de unidades: 240;

Padrão: luxo;

Área do pavimento tipo: 840 m²;

Volume de concreto do pavimento tipo: CAA – 63 m³ (Vigas: 23,33 m³, Lajes: 39,35 m³); CC – 25 m³ (Pilares: 20,59 m³, Escada: 4,24 m³), totalizando: 88 m³.

Especificações do concreto: fck 30 MPa; a/c 0,5 ; brita 0, cimento CPV ARI RS, areia natural/artificial; slump flow 65 ± 5 cm. Foi introduzido ao concreto aditivo superplastificante e aditivo modificador de viscosidade.

- RESIDENCIAL MIRANTE BOULEVARD:

Número de pavimentos: 5 pavimentos tipo por bloco;

Número de unidades: 280, sendo 14 blocos com 20 apartamentos cada;

Padrão: baixo;

Área do pavimento tipo: 185 m²;

Volume de concreto do pavimento tipo: CAA – 60 m³ (Paredes: 33,5 m³; Lajes: 23,5 m³; Escada: 3,5 m³);

Especificações do concreto: fck 25 MPa; a/c 0,447; brita 0; cimento CPV ARI RS, slump flow 65 ± 5 cm. Foi introduzido ao concreto aditivo superplastificante, aditivo modificador de viscosidade e fibra de polipropileno.

a) Desafios das obras:

- HOTEL TULIP INN: Implantar uma inovação tecnológica para execução da estrutura do edifício, tendo em vista a aceleração nos prazos de execução do empreendimento (obra com foco na Copa de 2014) e, conseqüentemente, o início de outras atividades pós-estrutura; atendimento à restrição de horário de abastecimento de concreto devido à localização geográfica do hotel e, principalmente, seu enquadramento no orçamento da obra.

- RESIDENCIAL MIRANTE BOULEVARD: Implantar um concreto especial para execução das estruturas de 14 blocos que contemplavam lajes e paredes, tendo em vista o acabamento e a durabilidade das estruturas, principalmente das paredes externas, a facilidade de adensamento e a viabilidade financeira (obra do programa minha casa, minha vida).

b) Planejamento e procedimentos iniciais:

A Direcional Engenharia e a Quartzo Incorporações não haviam utilizado o CAA em nenhuma de suas obras até então. O primeiro passo para se chegar na solução do uso do concreto auto-adensável foi a busca de informações sobre essa tecnologia em bibliografias especializadas, analisando as formas de utilização e realizando reuniões com a concreteira e com os projetistas estruturais. Inicialmente, a Supermix propôs um teste do CAA em uma obra piloto que contava com condições favoráveis relacionadas ao canteiro e à localização. A obra foi escolhida para que as empresa juntamente com os responsáveis técnicos pudessem conhecer as características do produto e avaliassem os benefícios do CAA em comparação ao CC. Partiu-se, primeiramente, de um dia sem restrições de horários (a concretagem foi feita em um sábado), porém, com alternativa de reversão para o concreto convencional caso houvesse algum problema.

Estabelecida a parceria, a concreteira estudou a melhor logística para aplicação do concreto em ambas as obras e se comprometeu a fabricar um traço que atendesse às exigências de projeto e às condições específicas de cada empreendimento. No residencial Mirante Boulevard por exemplo, foi exigido por parte da administração da obra, a utilização de fibras de polipropileno misturadas ao concreto para ajudar no combate a possíveis fissuras por efeito de retração. Além disso, nessa obra especificamente, os volumes dos caminhões-betoneira deveriam ser reduzidos em função de uma rampa de elevada inclinação que havia próxima a área estabelecida para a bomba. No hotel Tulip Inn, a programação das concretagens em dias normais deveria

cumprir a restrição exigida por lei municipal de circulação de caminhões entre os horários de 10h e 16h. Portanto, a estratégia adotada foi partir de uma condição controlável até a condição normal da obra.

c) Metodologia de fabricação do CAA implantado pela usina de concreto:

No processo de fabricação do CAA, observamos os controles realizados pela Supermix em relação aos materiais constituintes e os ensaios de caracterização para avaliação das propriedades do concreto.

Os materiais utilizados pela usina foram: cimento CPV ARI RS (ambas as empresas queriam um concreto que apresentasse uma resistência maior nas primeiras idades, reduzindo o tempo para desfôrmas e reescoramentos); areia natural associada a areia artificial; brita 0 obtida por meio de rocha calcárea; aditivos: retardadores, superplastificantes e aceleradores; água.

Na usina, cada material foi analisado em laboratório por meio de ensaios, todos eles prescritos por norma, para avaliar suas propriedades. Em alguns casos, o material foi submetido a processamentos de forma a alcançar o desempenho desejável naquele concreto auto-adensável específico. A princípio, cada material foi obtido de um mesmo fornecedor, o que facilitava o controle dos mesmos, até porque os ensaios não eram frequentes e não ocorriam a cada entrega. Entretanto, segundo informações dos laboratoristas, quando o material vinha de outro fornecedor, este era submetido a novos ensaios para avaliar se ele seria ou não adequado na fabricação do concreto auto-adensável. Apesar dos ensaios serem eventuais, a Supermix armazenava amostras de cada lote recebido para avaliações posteriores, conforme indicado na Figura 49.



Figura 49: Amostras de aditivos, agregados graúdos e cimento (Fonte: Supermix – Belo Horizonte)

O cimento Portland de alta resistência inicial, fabricado pela Holcim, foi submetido ao ensaio de resistência à compressão de acordo com a NBR 7515 (ABNT, 1996) e ao ensaio BLAINE de acordo com a NBR NM 76 (ABNT, 1998). Por meio dos ensaios, gerou-se o relatório apresentado no Anexo 9, que permitiu avaliar a curva de rompimento do cimento e o tempo de pega em minutos. Com esses dados, por meio de um software específico, foi possível simular variados comportamentos do cimento ao longo do tempo em função da aplicação de aditivos.

Os agregados foram submetidos a ensaios que avaliavam sua granulometria, massa unitária e específica, teor de argila, materiais pulverulentos, absorção, impurezas orgânicas, módulo de finura, diâmetro máximo e coeficiente de vazios. Todos os resultados foram descritos em dois relatórios apresentados nos Anexos 10 e 11, sendo que para o caso específico do CAA o ensaio de módulo de finura, foi o determinante para a Supermix viabilizar ou não a utilização do agregado. Foi possível observar também o controle feito no recebimento dos agregados. A areia por exemplo, foi recebida e estocada em um local para passar por um controle de umidade. No dia seguinte, esta foi transportada para docas de armazenamento como mostra a Figura 50.



Figura 50: Docas de armazenamento de agregados miúdos (Fonte:Supermix – Belo Horizonte)

Os aditivos foram recebidos pela Supermix por meio de tambores e galões conforme Figura 51.



Figura 51: Aditivos químicos para o CAA (Fonte:Supermix – Belo Horizonte)

No caso do concreto auto-adensável, foram utilizados basicamente 4 tipos: um superplastificante acelerador, um retardador de pega, um acelerador de coesão, e, eventualmente, um superplastificante retardador de menor intensidade. O tipo e a quantidade do aditivo dependia de alguns fatores: o tempo de deslocamento do concreto entre usina e obra; a necessidade de coesão dos demais constituintes do concreto; a resistência de compressão do concreto; a finalidade da aplicação; dentre outros. No caso das duas obras em questão, os aditivos já eram dosados na central.

A água foi mensurada a partir da umidade dos demais constituintes, sendo adicionada no próprio caminhão-betoneira.

Os ensaios de caracterização realizados pela Supermix para avaliar as propriedades do CAA no estado fresco foram: o slump flow test, seguido do ensaio T_{500} para avaliar a sua consistência e a existência ou não de segregação do concreto e a caixa L para avaliar sua fluidez e capacidade de escoamento. A usina não possuía o Funil V, o Anel J nem o Tubo em U, porém, de acordo com o engenheiro responsável pela avaliação do CAA, os ensaios realizados foram suficientes para caracterizar suas propriedades no estado fresco.

O controle da introdução dos materiais nos caminhões foi feito por meio de um sistema automatizado, conforme mostra a Figura 52, no qual os operadores conseguiam coordenar e visualizar todo o processo de dosagem: a posição do caminhão-betoneira, dos silos, o início e término da colocação de cada insumo, os volumes adicionados, a temperatura na betoneira, o tempo de mistura, dentre outras etapas. A emissão das notas fiscais foram feitas pelo sistema. Havia também uma comunicação sonora do equipamento a cada passo do processo, o que permitia que o funcionário estivesse ciente do que estava acontecendo mesmo não estando na frente da tela dos monitores. No caso de falhas no sistema, a Supermix utilizava um equipamento manual mostrado na Figura 53, que permitia a continuidade do processo.

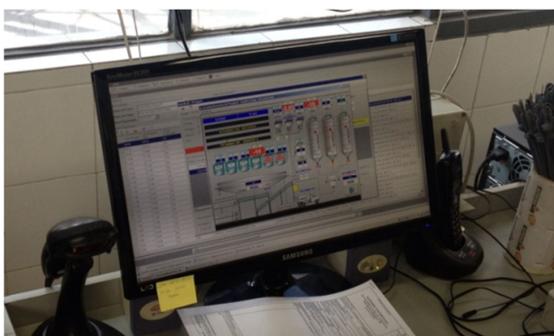


Figura 52: Controle automatizado de dosagem do CAA (Fonte: Supermix – Belo Horizonte)



Figura 53: Controle manual de dosagem do CAA (Fonte: Supermix – Belo Horizonte)

d) Adequação do transporte do concreto:

O transporte do concreto para as obras foi feito por meio de caminhões-betoneira com capacidade máxima para 8 m³. Em função da rota e das condições da obra, que apresentava inclinações elevadas, o residencial Mirante Boulevard recebia volumes de 5 m³. Ao monitorar-se uma concretagem, constatou-se que o tempo médio gasto de transporte do concreto entre a usina e a obra com trânsito normal foi de 35 minutos. Já o Hotel Tulip Inn recebia caminhões de 6 m³. Apesar da rota plana, os gerentes em consenso com a concreteira acharam conveniente não receber volumes superiores. Verificou-se que o tempo médio gasto de transporte do concreto entre a usina e a obra com trânsito normal foi de 45 minutos. Em ambas as obras, a aditivação foi realizada na usina, logo, se o trânsito estava normal, as entregas eram contínuas. O tempo médio de descarga contando o tempo de entrada e saída de caminhões no residencial Mirante Boulevard sem nenhum tipo de ocorrência foi de 20 minutos e no Hotel Tulip Inn foi de 15 minutos. De acordo com a Supermix, a fim de garantir as características do CAA no estado fresco, 1 hora e 30 minutos foi o tempo máximo estipulado para sua aplicação desde sua dosagem na usina. Em condições normais, as 2 obras conseguiram atender o prazo de descarga estabelecido.

e) Treinamento das equipes de produção envolvidas no processo:

Para receber e utilizar o CAA, as obras investiram no treinamento das equipes de produção. Inicialmente, foram realizadas visitas ao laboratório da concreteira contando com a presença de engenheiros, almoxarifes, mestres e encarregados. Em seguida, houve um treinamento em campo em uma obra teste da empresa, em que tecnologistas e engenheiros da Supermix orientaram os funcionários envolvidos no processo.

Observou-se ao longo do ciclo de concretagem e em diálogo com os funcionários, que os treinamentos foram válidos. O trabalhador sabia realizar o ensaio de consistência, de moldagem dos corpos de prova e tinha consciência dos cuidados na execução do CAA. Foi perceptível a aplicação de desmoldantes, a limpeza das fôrmas antes do despejo do concreto, a preocupação de garantir a estanqueidade das mesmas. Havia um cuidado em relação a colocação de espaçadores visando garantir o cobrimento das armaduras. Outro ponto observado foi o comprometimento da equipe durante a aplicação e o acabamento do CAA, observando os desníveis e evitando perdas e excessos de concreto.

f) Metodologia de controle do CAA implantado nas obras:

O controle do concreto auto-adensável realizado pelas obras seguiu as seguintes etapas:

- Preparação das estruturas a serem concretadas: foi feito um check list nos locais de aplicação do concreto, averiguando o posicionamento das armaduras, as folgas de cobrimento, o posicionamento das mangueiras de elétrica, as passagens hidráulicas, o travamento e a limpeza das fôrmas. No Hotel Tulip Inn, observamos o registro dos itens mencionados por meio de uma ficha de conferência de serviços, realizado pelo próprio engenheiro. No residencial Boulevard, a conferência foi feita visualmente pelo engenheiro em presença do mestre de obras e do encarregado de fôrma. A Figura 54 ilustra um trecho de laje conferido e pronto para receber o concreto.



Figura 54: Trecho de laje liberado para o concreto
(Fonte: QRTZ Incorporações – Belo Horizonte)

- Conferência da nota fiscal: o responsável indicado pela obra fez a verificação de todas as características do concreto. Em seguida ele autorizou a abertura do lacre do caminhão betoneira. No residencial Boulevard a conferência da nota fiscal ficou a cargo do almoxarife, já no Hotel Tulip Inn, essa tarefa foi delegada ao estagiário. É possível observar, conforme mostra a Figura 55, que a Supermix informa na nota fiscal: todos os dados da obra, os tempos de dosagem e saída da usina, o horário de chegada do caminhão, todos os constituintes do CAA e seus respectivos quantitativos.

RUA: _____ Nº: _____		Cidade: _____	
CEP: _____		UF: _____	
MATERIALS ADQUIRIDOS DE TERCEIROS PARA PREPARO E APLICAÇÃO			
TIPO DE SERVIÇO	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
CEMENTO: CPVRS	53	425,8	22.551,4
AREIA: AREIA NATURAL / AREIA ARTIFICIAL	82 / 14	8,498 / 8,194	696,46
AREIA: W	81	8,559	693,38
MOVEDIÇOS: 212A 5000 FTW / 05 - MC 51481 528	48 / 78	3,421 / 8,008	1.641,84
TOTAL: 25.883,08			
O DOCUMENTO HÁBIL PARA O LANÇAMENTO CONTÁBIL E FISCAL, SERÁ A NOTA FISCAL DE SERVIÇOS A SER EMITIDA POSTERIORMENTE.			

Figura 55: Nota fiscal de concreto (Fonte: Supermix - Belo Horizonte)

- Verificação da consistência do concreto: em ambas as obras, essa etapa foi realizada por um tecnologista de concreto por meio do ensaio Slump Flow Test, de forma bem similar. A base de espalhamento do CAA foi posicionada em área plana e limpa, próxima ao caminhão conforme mostrado na Figura 56. A aferição das medidas foi acompanhada pelo engenheiro da obra que autorizava o lançamento do concreto.



Figura 56: Espalhamento do CAA no ensaio Slump Flow Test (Fonte: QRTZ Incorporações – Belo Horizonte)

- Complementação de aditivos: no estudo de caso que fizemos, as descargas foram contínuas, portanto, não houve a necessidade de complementação de aditivos. Entretanto, caso houvesse necessidade, as obras possuíam aditivos em estoque. A aplicação destes era feita pelo tecnologista de concreto da usina, que acompanhava todas as concretagens.

- Moldagem dos corpos de prova: no início das descargas dos caminhões foi retirado um volume de concreto pelo laboratorista para moldagem dos corpos de prova. Tratavam-se de fôrmas cilíndricas de dimensão 20 cm x 10 cm, 100% limpas. Nos procedimentos de moldagem, não foi necessário adensar o CAA. Posteriormente, cada

peça foi corretamente identificada, conforme mostra a Figura 57. Para cada caminhão foram moldados 4 corpos de prova para rompimentos nas idades de 3, 7 e 28 dias.



Figura 57: Identificação dos corpos de prova
(Fonte: QRTZ Incorporações – Belo Horizonte)

- Aplicação do concreto: nesta etapa, uma equipe composta por 3 funcionários da concreteira coordenava o processo de aplicação do concreto, sendo uma dupla na laje e um controlando a bomba no térreo. A equipe da laje direcionava a tubulação ao longo das estruturas e se comunicava com o bombista por intermédio de rádio. Em ambas as obras, a equipe de produção era composta por: 1 armador, 1 eletricista, 2 carpinteiros, o encarregado de fôrmas, o mestre de obras e o engenheiro. Para o trabalho de sarrafeamento e acabamento de concreto o Hotel Tulip Inn utilizou mão de obra terceirizada enquanto que no residencial Boulevard o trabalho foi feito por 2 serventes. Outra diferença entre as obras foi em relação ao sistema de fôrmas. O Hotel Tulip Inn implantou o sistema de fôrmas de madeira convencional, composto por chapas de compensado plastificado e madeirite resinado. Já o residencial Boulevard implantou o sistema de fôrmas metálicas em todos os elementos estruturais: (lajes, escadas e paredes). Ambas as obras utilizaram o sistema de escoramento metálico. As Figuras 58, 59, 60 e 61, mostram, respectivamente, o processo de lançamento do CAA e os sistemas de fôrma utilizados pelas obras.



Figura 58: Aplicação do CAA em lajes (Fonte: QRTZ Incorporações – Belo Horizonte)



Figura 59: Aplicação do CAA em lajes (Fonte: Direcional Engenharia – Belo Horizonte)

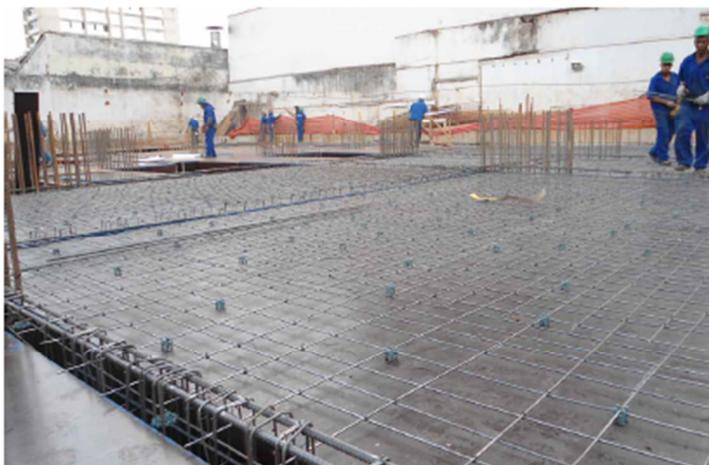


Figura 60: Sistema de fôrmas em lajes (Fonte: Direcional Engenharia – Belo Horizonte)



Figura 61: Sistema de fôrmas em lajes e paredes (Fonte: QRTZ Incorporações – Belo Horizonte)

- Processo de cura do concreto: em ambas as obras, adotou-se o sistema de cura úmida, caracterizado pela aplicação manual de água por meio de mangueiras durante os três períodos do dia (manhã, tarde e noite). As empresas optaram em seguir as orientações da Supermix quanto ao tempo de cura. A Tabela 17, mostra os critérios estabelecidos pela concreteira:

Tabela 17: Tempo de cura do concreto (Fonte: Supermix – Belo Horizonte)

Tipo de Cimento	Relação Água/Cimento			
	0,35	0,55	0,65	0,70
CP I e CP II	2 dias	3 dias	7 dias	10 dias
CP IV	2 dias	3 dias	7 dias	10 dias
CP III	2 dias	5 dias	7 dias	10 dias
CP V-ARI	2 dias	3 dias	5 dias	5 dias

Como foi utilizado nas duas obras um CAA com cimento CPV-ARI e fator a/c entre 0,35 e 0,55, a cura foi feita durante o período de 3 dias consecutivos.

- Processo de controle tecnológico: nos relatórios dos rompimentos dos corpos de prova, verificou-se que o CAA atendeu as expectativas de resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias, não apresentando não-conformidades. Apesar disso, não observou-se o controle referente a rastreabilidade do concreto em nenhuma das duas obras, o que dificultaria a identificação das áreas críticas, no caso de baixas resistências.

g) Indicadores qualitativos e quantitativos obtidos em comparação ao CC:

O balanço feito pelas empresas foi positivo, apontando para diversos aspectos favoráveis à implantação do CAA:

Hotel Tulip Inn:

- Redução da perda de concreto, passando de 8% no CC para 2%. Em algumas situações a perda chegou a 0%.

- Redução da mão de obra: para o CC estavam envolvidos 2 oficiais, 2 serventes e mais uma empresa especializada para o sarrafeamento e/ou polimento quando necessário. Com a introdução do CAA a equipe foi reduzida, pois eliminou-se a etapa de vibração e de espalhamento do concreto.

- Redução do tempo de concretagem: o CAA gasta em média, para descarga do concreto, entre 6 e 7 minutos por caminhão. O tempo de todo o processo é calculado por meio da soma da concretagem normal, dividido pelo número total de caminhões. Isso resulta em 15 minutos entre a chegada, última batida, retirada do lacre, início e término da concretagem por caminhão, ou seja, em torno de 1 minuto por metro cúbico (laje 65 m³).

- Redução de hora extra: com o concreto convencional, sendo o início da concretagem às 10h devido à restrição de horário de circulação de caminhão, a concretagem é encerrada após às 18h, gerando hora extra. As horas extras não são pagas apenas aos oficiais e aplicadores, mas a toda a estrutura que deve estar disponível enquanto a obra roda (porteiro, técnico de segurança, almoxarife). Com o CAA a concretagem se inicia às 10h, encerrando às 14h30. Às 17h a área já está limpa e os funcionários liberados.

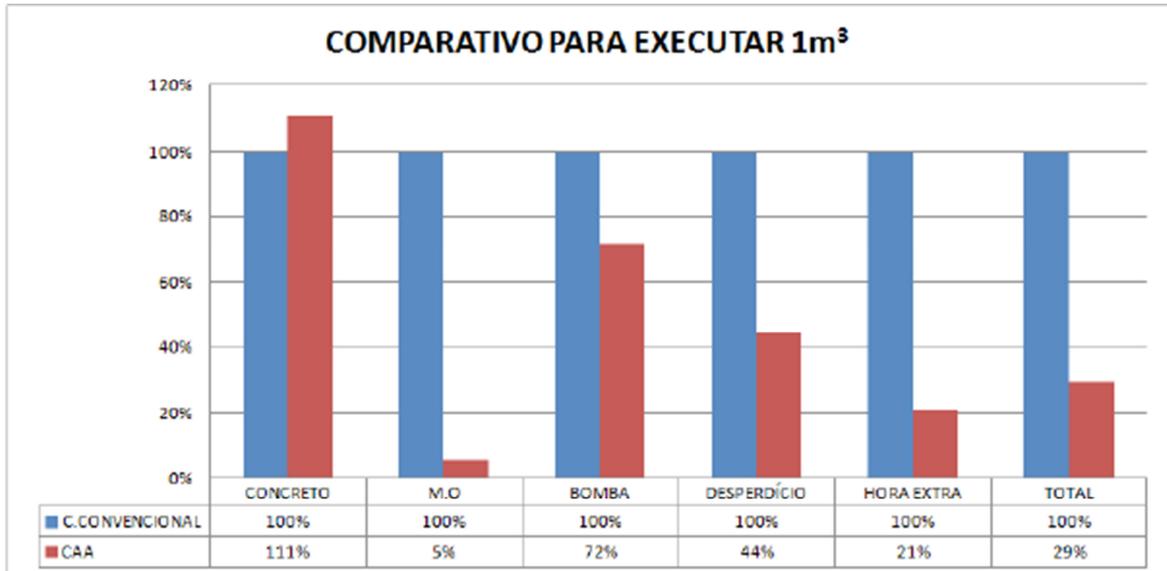
- Redução do custo de locação da bomba: como o contrato entre construtora e concreteira é realizado por hora de locação da bomba, com a adoção do CAA o tempo de concretagem é reduzido, assim como o tempo em que a bomba fica alocada na obra, gerando redução do custo com este item.

- Não houve necessidade de adaptação de fôrmas para a utilização do CAA.

- Melhor controle de espessura da laje: geralmente o controle da espessura da laje fica na responsabilidade de quem está aplicando o concreto, o que pode gerar diferenças de centímetros. Dependendo da área da laje, 1 cm de espessura a mais pode gerar um volume considerável de concreto. Com o uso do CAA, o controle de espessura é realizado de maneira mais fácil devido a trabalhabilidade deste concreto.

Nessa obra em particular, foi feito um comparativo entre CAA e CC para executar 1 m³ de concreto. Nesta análise está incluso: material, mão de obra, equipamentos e perdas. Os dados estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Comparativo entre CAA e CC (Fonte: Comunidade da Construção, 2012)



Residencial Boulevard:

- Perdas de concreto desprezíveis, quase nulas;
- Redução da mão de obra: contribuiu para a seleção de melhores equipes;
- Ganho de prazo: foi possível antecipar etapas subsequentes;
- Redução de retrabalhos;
- Economia significativa de mão de obra e equipamentos, apesar do CAA ter apresentado um custo 30% superior ao CC.
- Qualidade do acabamento visual do concreto: ausência de porosidade e segregações.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho contribuiu para compreender melhor as vantagens que o concreto auto-adensável proporciona em lajes moldadas in-loco. Observou-se que para alcançar os níveis de qualidade satisfatórios faz-se necessário uma conscientização dos envolvidos quanto ao controle das matérias-primas que o constituem e ao entendimento de como os aditivos afetam o seu comportamento. Salientou-se também a responsabilidade das obras de adequar os canteiros, as metodologias executivas e de promover treinamentos para as equipes de produção.

Na pesquisa bibliográfica foram apresentados inúmeros aspectos favoráveis à implantação do concreto auto-adensável. Por meio da eliminação das etapas de adensamento, de heterogeneidade causada pelas vibrações e de sistemas que não sofrem alterações significativas, tais quais: o de fôrmas, o de transporte, o de lançamento e o de cura, foi constatado o ganho de tempo, de qualidade e durabilidade do concreto, de segurança e de saúde no trabalho. Além disso, ficou evidente que o CAA proporcionou uma redução significativa de mão de obra na etapa de concretagem. Entretanto, mais do que torná-los transparentes, observou-se que quanto mais criteriosos e analíticos forem os procedimentos para controle de aceitação do CAA, maiores serão as contribuições para a melhoria dos processos de fabricação e dosagem nas usinas e de aplicação e monitoramento nas obras.

Os ensaios de caracterização permitem que os tecnólogos e os engenheiros de concreto e de obra avaliem as propriedades do concreto no estado fresco. Os testes prévios antes de uma grande concretagem, buscam adequar fatores como logística, ciclos e pontos de aplicação. Já as ferramentas da qualidade, tais quais: procedimentos executivos, listas de verificação de serviço e registros de controle, facilitam o treinamento da mão de obra, a padronização dos serviços e permitem a obtenção de indicadores.

Conforme dados apresentados e comprovados, fica notório que para o emprego mais difundido do CAA é necessário a redução do custo dos materiais que o constituem, sobretudo, dos aditivos superplastificantes e modificadores de viscosidade, devido à maior demanda e os custos de produção.

O acompanhamento constante das etapas garante a adequação correta do produto, economia financeira em alguns aspectos e contribui para as demais etapas subsequentes da construção. No estudo de caso, a concreteira Supermix mostrou estar consciente da importância do controle dos materiais constituintes do CAA, por meio da realização de ensaios e simulações em laboratórios. Além disso, a usina investiu em sistemas de monitoramento para dosagem e transporte do concreto. Na visita em campo, foi

observado a verificação dos critérios de calibração dos equipamentos de ensaio e a integridade das “facas” do caminhão. No Hotel Tulip Inn, percebeu-se que o CAA contribuiu para a redução do tempo de concretagem das lajes, solucionando o problema de localização do empreendimento, que se situava em área urbana com restrições de horários e níveis de poluição sonora. Verificou-se também, que apesar do custo mais alto do CAA em relação ao CC, a obra conseguiu economizar em mão de obra e hora de bomba. Outro aspecto favorável e identificado nessa obra, foi a adoção do sistema de fôrmas de madeira para a aplicação do CAA, que se adequou perfeitamente ao processo. No residencial Boulevard, a grande preocupação dos gestores era em relação ao mal adensamento do concreto e ao possível surgimento de brocas, sobretudo, nas paredes externas dos apartamentos, que além de estreitas, apresentavam elevado volume de armaduras. A adoção do CAA nesta obra propiciou melhor acabamento às superfícies, perdas reduzidas de concreto e ciclos de concretagem contínuos.

Espera-se ter demonstrado com o estudo de caso, que é possível implementar o CAA em um sistema de concretagem de lajes desde que haja um planejamento prévio. Porém, em se tratando de obtenção de indicadores, é comum haver variações nas análises numéricas, até porque cada empreendimento vai apresentar características específicas. Dessa forma, é necessário padronizar as coletas de dados para minimizar essas ocorrências.

Ao longo deste estudo, observou-se que ainda há dúvidas quanto a análise do módulo de elasticidade do CAA quando comparado ao CC, o que instiga a futuras investigações em laboratórios para melhor avaliação desse dado. É conveniente verificar também, em trabalhos futuros, até que ponto é necessário realizar os ensaios de caracterização do Funil V, do Anel J e do Tubo em U para avaliação do concreto auto-adensável no estado fresco, uma vez que uma usina de concreto não os utilizou.

Cabe finalmente citar, ao se analisar os resultados mostrados, que há uma forte tendência no Brasil para que o CAA seja mais utilizado, primeiro, pela configuração das arquiteturas modernas, segundo, pela exigência no que desrespeito a durabilidade das estruturas, preconizado na nova norma de desempenho de edificações habitacionais – NBR 15575 (ABNT, 2013). As pesquisas realizadas sobre o tema permitem que empresas tenham resultados significativos, colaborando para a condução de empreendimentos de sucesso.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITCIN, P. C.; JOLICOEUR, C.; MACGREGOR, J. **Superplasticized: how they work and why they occasionally don't**. Concrete international, 1994.

AL-AMOUDI et al. **Effect of superplasticizer on plastic shrinkage of plain and silica fume cement concretes**. Construction and Building Materials, 2006.

ALENCAR, R.S.A. **Dosagem do Concreto Auto-Adensável: Produção de Pré-Fabricados**. Dissertação de mestrado, São Paulo, 2008.

ALMEIDA FILHO, F. M. **Contribuição ao estudo da aderência entre barras de aço e concretos auto-adensáveis**. Tese de Doutorado, São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008.

ARAUJO, J.L.; BARBOSA, N.P.; DOS SANTOS, S.B; REGIS, P.A. **Concreto auto-adensável com materiais locais no nordeste brasileiro**. In: 45º Congresso Brasileiro do Concreto. CD-ROM, Vitória, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto auto-adensável - NBR 15823**, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão-deformação - NBR 8522**, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova - NBR 5738**, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Agregados para concreto - NBR 7211**, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone - NBR NM 67**, 1998.

BANFILL. P. F. G. **Reological methods for accessing the flow properties of mortar and related materials**. Construction and Building materials, v. 8, n. 1, p. 43-49, 1994.

BARROS, A.R. **Avaliação do comportamento de vigas de concreto auto-adensável reforçado com fibras de aço**. Dissertação de Mestrado, Maceió, 2009.

BARTOS, P.J.M. **Measurement of key properties of fresh self-compacting concrete**. In: CEN/STAR PNR Workshop. Paris, 2000.

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

BOSILJKOV, V.B. **SCC mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler**. In: Cement and Concrete Research, n.33, p. 1279-1286, 2003.

CAMARGOS, U. A. **Concreto Auto-Adensável e Autonivelante**. Técnica, São Paulo, n. 59, p. 04-05, fevereiro 2002.

CAMPION, M.J.; JOST, P. **Expanding the possibilities of concrete design and placement**. In: Concrete International, p.31-34, April 2000.

CATOIA, T.; PEREIRA, T.A.C; CATOIA, B.; SANCHES JR, J.E.R; CATAI, E.; LIBORIO, J.B.L. **Concreto auto-adensável de alta resistência mecânica e baixo consumo de cimento**. Concreto e Construções. São Paulo, ano XXXVII, n.55, jul-ago-set, 2009.

COLLEPARDI, M. **A very close precursor of self-compacting concrete (SCC)**. In: Supplementary volume of the Proceedings of Three-day CANMET/ACI International Symposium on Sustainable Development and Concrete Technology, Setembro 16-19, 2001.

COLLEPARDI, M. **Self compacting concrete: what is new?** In: Proceedings of 7th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, p.1-16, Outubro 20-24, 2003.

COLLEPARDI, M.; BORSOI, A.; COLLEPARDI, S.; TROLI, R. **Strength, shrinkage and creep of SCC and flowing concrete**. In: Proceedings of the 4th International Symposium on Self Compacting Concrete, Chicago – USA, 2005.

COSTA, O. J.; BARBOSA, M. P.; SALLES, F. M. **Avaliação da Zona de Interface entre o Aço e o Concreto Auto-Adensável Por meio dos Ensaios de Determinação do Coeficiente de Conformação Superficial das Barras de Aço**. In: 48º Congresso Brasileiro do Concreto, CD-ROOM, Rio de Janeiro, 2006.

DAL MOLIN, D. C. C. **Adições minerais para concreto estrutural**. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização. Edição G. C. Isaia. São Paulo: Ibracon, 2005. V1, pp. 345-379.

D'AMBROSIA, M. D., LANGE, D. A., BRINKS, A. J. **Restrained shrinkage and creep of self-consolidating concrete**. In: Proceedings of the 2nd North American Conference on Self Consolidating Concrete, Chicago, IL, 2005.

EDMATSU, Y.; SUGAMATA, T.; OUCHI, M. **A mix-design method for self-compacting concrete base on mortar flow and funnel tests**. In: International Rilem Symposium on Self-Compacting Concrete, 2003.

EFNARC. **Specificacion and Guidelines for Self-Compacting Concrete**. EFNARC, 2002.

EN. **Aggregates for concrete** – EN 12620, 2013.

ESPING, O. **Methods for characterization of fillers and fines for self-compacting concrete**. O. Wallevik and I, Nielsson. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 3st, 2003, Reykjavik. Proceedings...France: RILEM Publications, 2003, p.208-219.

FARIA, R. **Solução fluida**. Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/132/artigo76078-1.asp>. Acesso em: 04 de dezembro de 2009.

FERREIRA, R. B.; LIMA, M. B.; PEREIRA, A. C.; ARAUJO DA SILVA, M. V.; SOUZAANDRADE, M.A. **Comparativo de Custo entre o Concreto Convencional e o Concreto Auto-Adensável na Região de Goiânia/GO**. In: 48º Congresso Brasileiro do Concreto, CD-ROOM, Rio de Janeiro, 2006.

FIATES, G. G. S. **A utilização do QFD como suporte a implementação do TQC em empresas do setor de serviços.** Dissertação de mestrado do programa de pós-graduação em engenharia de produção – UFSC, 1995.

FURNAS. **Concreto – determinação da habilidade de preenchimento do concreto auto-adensável utilizando-se o cone de Abrams (slump flow test) – método de ensaio.** Manual de qualidade, p.1-6, 2004a.

GEYER, A.L.B.; SENA, A. de M. **Avaliação do Comportamento Mecânico do Concreto Auto-Adensável com Relação ao Concreto Convencional.** In: 44º Congresso Brasileiro do Concreto. CD-ROOM, Belo Horizonte, 2002.

GEYER, A. L. B.; SÁ, R .R., **Concreto auto-adensável: Uma tecnologia à disposição da construção civil de Goiânia.** REALMIX Informativo Técnico, Abr. 2005. Disponível em: <http://www.realmixconcreto.com.br/downloads/informativorealmix .pdf>. Acesso em: 30 de novembro de 2009.

GIOVANETTI, E. (1989). **Princípios Básicos sobre Concreto Fluido.** IBRACON/ PINI; São Paulo – SP.

GOMES, P. C. C. **Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete.** Catalunya, Espanha: Tese de Doutorado, Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya, 2002.

GOMES, P. C. C.; UCHOA, S. B. B.; BARROS, A. R. **Propriedades de durabilidade do Concreto auto-adensável - Self-compacting concrete durability properties.** In: 48º Congresso Brasileiro do Concreto, CD-ROOM, Rio de Janeiro, 2006.

GUIA MELHORES PRÁTICAS DA COMUNIDADE DA COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Aplicação de Concreto Auto-Adensável.** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. São Paulo: Pini, 2005.

HAYAKAWA, M., Matsuoka, Y. and Shindoh, T. **Development and Application of Super-Workable Concrete.** Proc. International RILEM Workshop on Special Concretes Workability and Mixing, P. J. M. Bartos (editor), E&FN Spon, pp. 183-190, 1993.

HEWLETT, P. **The Concept of Superplasticized Concrete.** In: CANMET/ACI International Symposium on the use of superplasticizers in concrete. Proceedings. Ottawa, 1978.

JOLICOEUR, C.; SIMARD, M. A. **Chemical admixture-cement interactions: phenomenology and physico-chemical concepts.** Cement and Concrete Composites, v. 20, 1998.

KHAYAT, K.H; HU, C.; MONTY, H. **Stability of self-consolidating concrete, advantages, and potencial applications.** Edição: A. Skarendhal; Petersson. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 1st, 1999, Stockholm. Proceedings... France: RILEM Publications, 1999, p.143-152.

KLUG, Y; HOLSCHEMACHER. **Comparison of the hardened properties of self-compacting and normal vibrated.** Edição: O. Wallevik and I, Nielsson. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 3st, 2003, Reykjavik. Proceedings... France: Rilem Publications, 2003, p.596-605.

LISBOA, E.M. **Obtenção do concreto auto-adensável utilizando o resíduo de serragem de mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas.** 2004. p1-115. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2004.

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

MELO, K. A. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de filler calcário.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. 2005.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 2ª ed., Ed. Pini, São Paulo, 1997.

NOGATAKI, Shigueyoshi. **Concreto de Elevado Desempenho,** 1997.

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

OKAMURA, H. **Self-Compacting High-Performance Concrete**. International Concrete, v. 19, n. 7, 1997, p. 50-54.

OKAMURA, H.; OUCHI, M., **Self-compacting concrete**, Journal of Advanced Concrete Technology, v.1, n.1, 2003, p.5-15.

OUCHI, Massahiro; et al. **Applications of Self-Compacting Concrete in Japan, Europe and The United States**. 2003 p.01-20.

PERSSON, B. **A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete**. Cement and Concrete Research n°31, 2001.

PERSSON, B. **Self Consolidating Concrete, High Performance and Normal Concrete affected by creep at different age, curing, loading level, strength and water-cement ratio with some interrelated properties**. In: IV International ACI/CANMET Conference on Quality of Concrete Structures and Recent Advantaces in Concrete Materia. Anais: CDROOM, Olinda,PE, 2005.

PETERSSON, O. **Workability**. SCC Final Report-Task 2. Brite EuRam: 1999.

PROSKE, T. GRAUBNER, C.-A. **Influence of the coarse aggregates on the concrete properties of SCC**. In: Annual Journal on Concrete and Concrete Structures, V. 20. Darmstadt, 2005.

RONCERO, J. **Effect of superplasticizers on the behavior of concrete in the fresh and hardened states: Implications for high performance concretes**. 2000, 189.p. Tese – Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, 2002.

ROZIÈRE, E.; TUCRY, P.; LOUKILI, A.; CUSSIGH, F. **Influence of paste volume, addition content and addition type on shrinkage cracking of self-compacting concrete**. In: Second North American Conference and Fourth RILEM International Conference on Self Compacting Concrete. Chicago, USA, 2005.

ROZIÈRE, E.; GRANGER, S.; TURCRY, Ph; LOUKILI, A. **Influence of paste volume on shrinkage cracking and fracture properties of self-compacting concrete**. Cement & Concrete Composites 29, 2007.

SARI, M.; PRAT, E.; LABASTIRES, J.F. **High strength self-compacting concrete—original solutions associating organic and inorganic admixtures**. Cement and Concrete Research, v. 29, 1999.

SENG, V.; SHIMA, H. **Creep and shrinkage of self-compacting concrete with different limestone powder contents**. SCC2005, Chicago, USA, 2005.

SHEHATA, I. A. E. M. , SHEHATA, L. C. D., **"Influencia de la resistencia de los hormigones en la cuantía mínima de refuerzo transversal en vigas"**, Revista Ingeniería de Construcción. no. 2, 20, 103-114. Chile, 2005.

SHEINN, D.; HO, D. W. S.; TAM, C. T. **Effect of particle shape on paste rheology of SCC**. Edição: O. Wallevik; I. Nielsson. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 3rd, 2003, Reykjavik. Proceedings... France: RILEM Publications, 2003, p.232-239.

SHINDOH, T.; MATSUOKA, Y. **Development of combination-type self-compacting concrete and evolution test methods**. In: Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 1, n.1, p. 26-36, 2003.

SONEBI, M. **Medium Strength Self-Compacting Concrete Containing Fly Ash: Modeling: Using Factorial Experimental Plans**. Cement and Concrete Research n° 34, 2004.

SU, N. et al. **A Simple Mix Design Method for Self-Compacting Concrete**. Cement and Concrete Research n° 31. 2001.

TUTIKIAN, B.F., **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

ANEXOS

DOCUMENTO DO SISTEMA DE GESTÃO
DA QUALIDADE

PROCEDIMENTO EXECUTIVO

Código: PE-CNT-005
PPD nº: 007/07Nº páginas:
1/8

TÍTULO: FORMA PARA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

1 – Executor: Carpinteiro, ½ Oficial e Servente	
2 – Equipamentos	- Disco de vídea
- Linha de nylon	- Pé de cabra para desforma
- Trena e metro	- Alavanca
- Prumo de centro	- Travamento de pilar
- Prumo de face	- Travamento de vigas
- Mangueira de nível, nível laser ou nível alemão	- Cimbramento metálico
- Esquadro metálico	- Furadeira
- Martelo	- Broca para madeira
- Serrote	- Pincel
- Serra circular	
3 – Materiais	- Pregos 18x30, 17x21e 15x15
- Chapas de madeira compensada	- Desmoldante
- Pontaletes de madeira	- Tinta à óleo ou borracha clorada
- Tábua	- Arame PG 7 e 18
4 – EPI's	- Capacete
- Botina	- Cinto de segurança

Execução dos serviços**1 – Confeção dos painéis****1.1 – Pilares**

1.1.1 – **Painéis laterais:** Cortar e estruturar os painéis usando sarrafos de 7cm em cutelo em todo o perímetro do painel, deixando uma folga de 8cm no pé do painel para que o mesmo possa ser encaixado no colarinho e na vertical a cada ± 30 cm travando no meio da altura com um sarrafo na horizontal, conforme figura 01 em anexo 2.

1.1.2 – **Painéis dos fundos:** Cortar e estruturar os painéis usando sarrafos de 7cm em cutelo em todo o perímetro do painel e na horizontal a cada ± 60cm.

1.2 – Cabeças dos pilares

1.2.1 – Cortar e estruturar os painéis usando sarrafos de 7 cm em cutelo em todo o perímetro do painel. O compensado de painel deve sobrepor o concreto do pilar no mínimo 25 cm, conforme foto 01 em anexo 2.

1.2.2 – Para pilares menores ou iguais a 20x20 de seção que não ficarão aparentes, os painéis poderão ser de tábuas engravatadas com sarrafos de 7cm a cada ± 30 cm.

1.3 – Vigas

1.3.1 – **Painéis laterais:** Cortar e estruturar os painéis usando sarrafos de 7cm em cutelo em todo o perímetro do painel deixando uma folga de 15 cm, para que o mesmo possa ser encaixado na cabeça do pilar e na vertical a cada ± 37cm conforme foto 02 em anexo 2.

1.3.2 – **Painéis dos fundos** - Cortar e estruturar os painéis usando sarrafos de 7cm em cutelo em todo o perímetro do painel e a cada ± 1 m no sentido transversal.

1.3.3 – Para as vigas de pavimentos atípicos, podem ser confeccionados painéis de tábuas engravatadas com sarrafos de 7cm espaçados a cada 37cm no máximo.

1.3.4 – **Faixas de reescoramento:** Cortar conforme projetos de escoramento e reescoramento aprovados.

1.4 – Critérios gerais

1.4.1 – As superfícies de corte devem ser planas e lisas, sem apresentar serrilhas. Identificar os painéis com a numeração prevista no projeto, marcando-os com tinta a óleo e de preferência com o gabarito de letras e números em local visível.

1.4.2 – Selar os topos das chapas com tinta à óleo ou selante à base de borracha clorada, de preferência tão logo as peças sejam serradas na bancada.

Anexo 1: Exemplo de procedimento executivo de fôrma



DOCUMENTO DO SISTEMA DE GESTÃO
DA QUALIDADE

PROCEDIMENTO EXECUTIVO

Código: PE-CNT-006

Revisão: 01

Página 1 de 2

TÍTULO: ARMAÇÃO PARA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

1 - Executor: Armador e ajudante de armação ou servente	
2 - Equipamentos	- Arco e lâmina de serra
- Policorte	- Metro ou trena
- Disco de 12" c/ furo de 5/8" e esp. 1/8" com 2 telas ou o que servir na policorte usada na obra	- Torquês
- Banca de ± 12m com pinos de dobrar aço com diâmetros de acordo com o aço de projeto	- Protetores para esperas de pilares conforme NR-18
- Chaves para dobrar aço	- Cantoneira metálica
	- Extintor pó químico
3 - Materiais	- Pastilhas / espaçadores de dimensões condizentes com o cobrimento especificado
- Aço (especificação conforme projeto)	
- Arame PG-7	
4 - EPI's	- Avental de couro
- Botina	- Cinto de segurança
- Capacete	- Protetor facial
- Luva de raspa	- Protetor auricular

Execução dos serviços

1 - Corte e dobra (obs.: Para o caso de aço cortado e dobrado na obra)

1.1 - *Cortar o aço na bancada principal procurando o melhor aproveitamento.

1.2 - Dobrar o aço cortado utilizando os pinos conforme projeto estrutural, etiquetando e identificando todas as posições. Em caso de dúvida, consulte a tabela a seguir:

Bitola	CA 25	CA 50	CA 60
< 10 mm	3&	3&	3&
10mm ≤ & ≤ 20mm	4&	5&	6&
> 20 mm	5&	8&	---

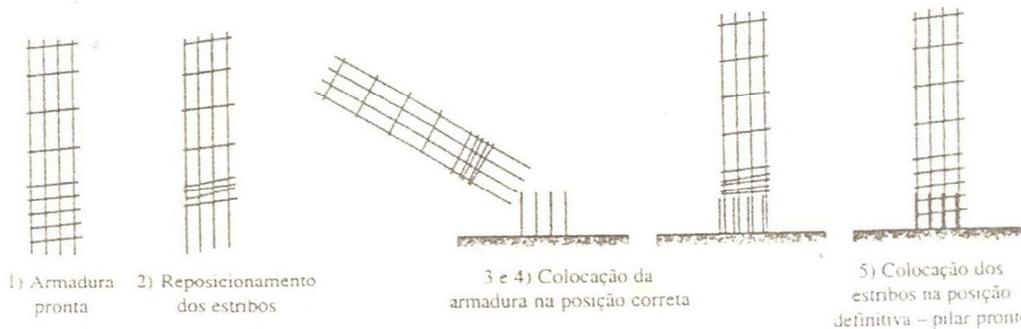
1.3 - Pré-montar as peças que forem possíveis, levando-se em consideração a capacidade de transporte e facilidade de colocação nas formas (verificar interferências nas ligações entre vigas e entre viga e pilar).

1.4 - Após a liberação da forma, transportar as peças até o local de sua aplicação, de preferência em feixes formando kits identificados.

2 - Montagem dos pilares

2.1 - Posicionar as peças já pré-montadas.

2.2 - Para minimizar problemas com pilares, elevar os estribos da armadura de pilar que interfere nas esperas, posicionar a ferragem na posição correta e, em seguida, retornar os estribos à sua posição definitiva, amarrando-os nas esperas, conforme figura abaixo.



Posicionamento das armaduras de pilar

2.3 - Colocar um estribo no topo das esperas e outro na altura da laje, garantindo a posição das barras de aço longitudinais.

Anexo 2: Exemplo de procedimento executivo de armação



**DOCUMENTO DO SISTEMA DE GESTÃO
DA QUALIDADE**

PROCEDIMENTO EXECUTIVO

Código: PE-CNT-008

Página 1 de 3

Revisão: 01

**TÍTULO: TRANSPORTE, APLICAÇÃO DE CONCRETO ESTRUTURAL E EXECUÇÃO DE LAJE E
PISO ACABADO TIPO ZERO**

1 - Executor: Oficial e Servente	
2 - Equipamentos	- Sistema de iluminação para concretagem noturna
- Gericas e/ou carrinhos de mão	- Mangueira ou aspersor de água.
- Guincho, grua ou bomba para concreto	- Caminhos para circulação de gericas, carrinhos e pessoas (para concreto virado na obra)
- Pás	- Nível a laser
- Enxadas	- Vibradores de imersão com mangotes apropriados
- Régua de alumínio	- Proteção de periferia, conforme NR-18
- Desempenadeira	- Régua vibratória
- Mestras	- Acabadora de concreto (helicóptero/bambolê)
- Moldes para corpos-de-prova	
- Equipamentos para slump-test	
3 - Materiais	- Água
- Concreto virado na obra ou usinado com definição de suas características, conforme projeto estrutural	- Cimento e areia
4 - EPI's	- Luvas de borracha ou látex
- Botina	- Óculos de segurança
- Bota de borracha	- Capas de chuva
- Capacete	- Cinto de segurança
- Luvas de raspa ou borracha granulada	- Protetor auricular

Execução do serviço

<p>1 - Transporte do concreto</p> <p>a) <u>Com guinchos e gericas ou carrinho de mão</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilizar 06 gericas, sendo 02 gericas no nível da betoneira, 02 gericas no elevador e 02 no nível da laje ou 09 carrinhos, sendo 03 carrinhos no nível da betoneira, 03 carrinhos no elevador e 03 no nível da laje. Verificar sempre o travamento dentro da cabine do guincho durante o transporte vertical. • Molhar as gericas e os carrinhos antes da concretagem e lavá-las ao término do serviço, mantendo-as constantemente limpas para evitar acúmulo de concreto ou argamassa aderidos. • O sistema de transporte deverá, sempre que possível, permitir o lançamento direto nas formas, evitando-se depósito intermediário. <p>b) <u>Com grua</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Molhar a caçamba antes da concretagem e lavá-la ao término do serviço, mantendo-a sempre limpa para evitar acúmulo de concreto ou argamassa aderidos. • Verificar o travamento do fundo da caçamba no momento de seu carregamento. <p>c) <u>Por bombeamento</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Travar a tubulação, principalmente as curvas, em razão de problemas decorrentes de grande empuxo envolvido. • Lubrificar a tubulação com nata de cimento ou argamassa fluida. <p>2 - Lançamento e adensamento de concreto</p> <p>2.1 - Molhar as formas por etapas antes da concretagem.</p> <p>2.2 - Lançar o concreto após o seu batimento.</p> <p>2.3 - Lançar o concreto o mais próximo possível de sua posição final, evitando-se incrustações de argamassa nas formas e armaduras e grandes acúmulos de concreto em um ponto isolado da forma.</p> <p>2.4 - No caso de pilares, cortinas e arrimos, estes devem ser concretados em camadas com espessura aproximadamente igual a $\frac{3}{4}$ do comprimento da agulha do mangote e cada camada deve ser vibrada independente da outra. Se a altura for superior a 2,80m, devem ser tomadas medidas para se evitar segregação (separação dos materiais), tais como executar a concretagem por etapas de 2,80m, abrindo janelas nas formas, utilizar trombas, tremonas ou funis.</p> <p>2.5 - Introduzir e retirar a agulha lentamente, de modo que a cavidade formada se feche naturalmente.</p> <p>2.6 - Em geral, 15 segundos são suficientes para adensar a área em que a agulha está imersa. Não é aconselhável produzir uma vibração além da necessária e nem vibrar através das armaduras, porque poderá ocorrer segregação do concreto. Várias vibrações mais próximas e por menos tempo produzem melhores resultados.</p>

Anexo 3: Exemplo de procedimento executivo de transporte, aplicação de concreto e execução de lajes

REGISTRO DO SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE				REGISTRO: 60					
LISTA DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO				VERSÃO: 01					
PE-CNT-005 : Forma para estrutura de concreto armado				PÁG.: 01/ 02					
UNIDADE DE INSPEÇÃO →				Folha /					
Item	Pré requisitos para confecção de painéis			Visto	Visto	Visto	Visto	Visto	Visto
1	Plano de concretagem dos pilares que define o número de painéis a serem fabricados			Data	Data	Data	Data	Data	Data
Item	Confecção de painéis			Visto	Visto	Visto	Visto	Visto	Visto
2	Selagem de topo	Tolerância	Amostra	Instrumento	Data	Data	Data	Data	Data
3	Identificação	-	100%	Visual					
Item	Pré requisitos montagem de pilares			Visto	Visto	Visto	Visto	Visto	Visto
4	Projeto de travamento dos pilares que não se enquadram na tabela do PE			Data	Data	Data	Data	Data	Data
Item	Montagem de pilares			Visto	Visto	Visto	Visto	Visto	Visto
5	Localção de colarinhos / distância entre pilares	Tolerância	Amostra	Instrumento	Data	Data	Data	Data	Data
6	Prumo após a concretagem	± 1 mm	100%	Trena					
Item	Pré requisitos da montagem de cabeça de pilares, vigas e lajes			Visto	Visto	Visto	Visto	Visto	Visto
7	Projetos de escoramento e reescoramento (quando necessário)			Data	Data	Data	Data	Data	Data
Item	Montagem cab. pilares, vigas e lajes			Visto	Visto	Visto	Visto	Visto	Visto
8	Pé direito	Tolerância	Amostra	Instrumento	Data	Data	Data	Data	Data
9	Esquadro	± 3 mm	100%	Trena					
10	Alinhamento dos painéis laterais das vigas	± 1 mm	100%	Trena					
11	Nivelamento dos fundos das vigas	± 1 mm	100%	Trena					
12	Nivelamento das lajes	± 2 mm	100%	Nível					
13	Amarração das vigas	± 2 mm	100%	Nível					
14	Terminalidade e limpeza	-	100%	Visual					
Item	Pré requisitos da desforma de cabeça de pilares, vigas e lajes			Visto	Visto	Visto	Visto	Visto	Visto
15	Resultado do rompimento dos corpos de prova e liberação pelo Engenheiro de Produção			Data	Data	Data	Data	Data	Data
Item	Desforma cab. pilares, vigas e lajes			Visto	Visto	Visto	Visto	Visto	Visto
16	Reescoramento	Tolerância	Amostra	Instrumento	Data	Data	Data	Data	Data
	Legenda			Visto do mestre de obra					
<input type="radio"/>	Conforme			Data					
<input type="checkbox"/>	Não Conforme			Visto do engenheiro					
<input checked="" type="checkbox"/>	Não Conformidade solucionada			Data					

Anexo 4: Exemplo de lista de verificação de serviço de fôrma

DOCUMENTO DO SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE				REGISTRO: 60					
LISTA DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO				VERSÃO: 02					
PE-CNT-006 : Armação para estrutura de concreto armado				PÁG.: 01/ 02					
UNIDADE DE INSPEÇÃO →				Folha /					
Item	Pré requisitos para lançamento da armação			Visto	Visto	Visto	Visto	Visto	Visto
1	Apicoamento do concreto nas juntas de concretagem			Data	Data	Data	Data	Data	Data
2	Desmoldante aplicado no caso de cabeça de pilar, vigas e lajes								
Item	Armação			Visto	Visto	Visto	Visto	Visto	Visto
3	Comprimento das esperas dos pilares	Tolerância	Amostra	Instrumento	Data	Data	Data	Data	Data
4	Estribo dos pilares no topo das esperas dos pilares e no nível da laje	± 2 cm	100%	Trena					
5	Pastilhas/espacedores	-	100%	Visual					
6	Caranguejos	-	100%	Visual					
7	Penetração do mangote em locais críticos	-	100%	Mangote ou gabarito					
8	Conferência da ferragem - armação igual ao projeto	-	100%	Visual					
9	Terminalidade e limpeza	-	100%	Visual					
	Legenda			Visto do mestre de obra					
<input type="radio"/>	Conforme			Data					
<input type="checkbox"/>	Não Conforme			Visto do engenheiro					
<input checked="" type="checkbox"/>	Não Conformidade solucionada			Data					

Anexo 5: Exemplo de lista de verificação de serviço de armação

		REGISTRO DO SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE						REGISTRO: 60	
		LISTA DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO						VERSÃO: 01	
		PE-CNT-008 : Transporte, aplicação de concreto estrutural e execução de laje e piso acabado tipo zero						Folha /	
		UNIDADE DE INSPEÇÃO →							
Item	Pré requisitos								
		Visto	Visto	Visto	Visto	Visto	Visto	Visto	Visto
		Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data
1	Forma, escoramento, reescoramento e armação								
2	Tubulações e passagens das instalações								
3	Proteções de periferias e vãos conforme NR-18								
4	Ganchos para fixação posterior de salva-vidas e guinchos								
5	Acesso de caminhão e bomba								
6	Caminho para gericas/carrinhos, desde a descarga até guincho								
7	Caminho para gericas/carrinhos, sobre a laje								
8	Mestras								
9	Sistema de iluminação para concretagem noturna								
Item	Transporte e aplicação	Tolerância	Amostra	Instrumento					
					Visto	Visto	Visto	Visto	Visto
					Data	Data	Data	Data	Data
10	Quantidade (Previsto x Realizado)	± 5%	100%	Projeto					
11	Slump-test	Definida por traço	Caminhão	Laboratório					
12	Moldagem dos corpos de prova	-	Caminhão	Laboratório					
13	Terminalidade	-	100%	Visual					
Item	Brocas e nivelamento	Tolerância	Amostra	Instrumento					
					Visto	Visto	Visto	Visto	Visto
					Data	Data	Data	Data	Data
14	Brocas e nivelamento	-	100%	Visual					
15	Nivelamento- garagens	± 8 mm	100%	Régua de 3m e trena					
16	Nivelamentos- pavimentos tipos	± 6 mm	100%	Régua de 3m e trena					
Item	Resistência do concreto	Tolerância	Amostra	Instrumento					
					Visto	Visto	Visto	Visto	Visto
					Data	Data	Data	Data	Data
17	Fck	zero	CP's	Laboratório					
Legenda				Visto do mestre de obra					
<input type="radio"/>	Conforme			Data					
<input type="checkbox"/>	Não Conforme			Visto do engenheiro					
<input checked="" type="checkbox"/>	Não Conformidade solucionada			Data					

Anexo 6: Exemplo de lista de verificação de serviço de transporte, aplicação de concreto estrutural e execução de lajes



RELATÓRIO DE ENSAIO DE CIMENTO

DATA DO ENSAIO: 25.09.2013

RESPONSÁVEL PELO ENSAIO: AMON

MATERIAL: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

TIPO: CPV ARI

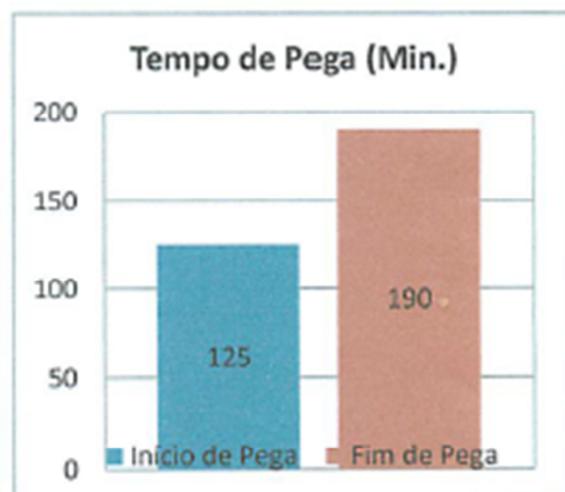
FABRICANTE: HOLCIM

COLETA : 20.09.2013

NOTA FISCAL Nº: CURVA 09/2013

PROCEDÊNCIA: MIX I

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (NBR 7215/96)				ENSAIO BLAINE (NBR NM 76/98)	
Idade (dias)	Média (MPa)	Desvio relativo máximo (%)	Limites da NBR 5733 EB-2/91	Resultado (m ² /kg)	Limites da NBR 5733 EB-2/91
1	22,5	-	≥14,0	464	≥300
3	34,6	-	≥24,0		
7	45,5	-	≥34,0		
28	53,2	-	-		



EQUIPAMENTOS UTILIZADOS:

- Balança TC-BD 001 - Certificado de Calibração nº 00115-2012
- Argamassadeira ARG 002- Certificado de Calibração nº 60684/12
- Aparelho de Vicat VIC 001- Certificado de Calibração nº 17058/12
- Aparelho de Permeabilidade ao Ar (BLAINE) TC-AB 001 - Certificado de Calibração nº 82451/1
- Prensa PS 003 - Certificado de Calibração nº 9234A13
- Cronômetro TC-CR 003 - Certificado de Calibração nº 79749/11
- Câmara Úmida CAM 001 - Certificado de Calibração nº 17071/12

Anexo 9: Exemplo de relatório de ensaio de cimento

ANÁLISE DE AGREGADO

MATERIAL :	CALCÁRIO 1	CERTIFICADO No. :	A4.275.2013
FORNECEDOR:	ICAL	DATA DO ENSAIO :	14.10.2013

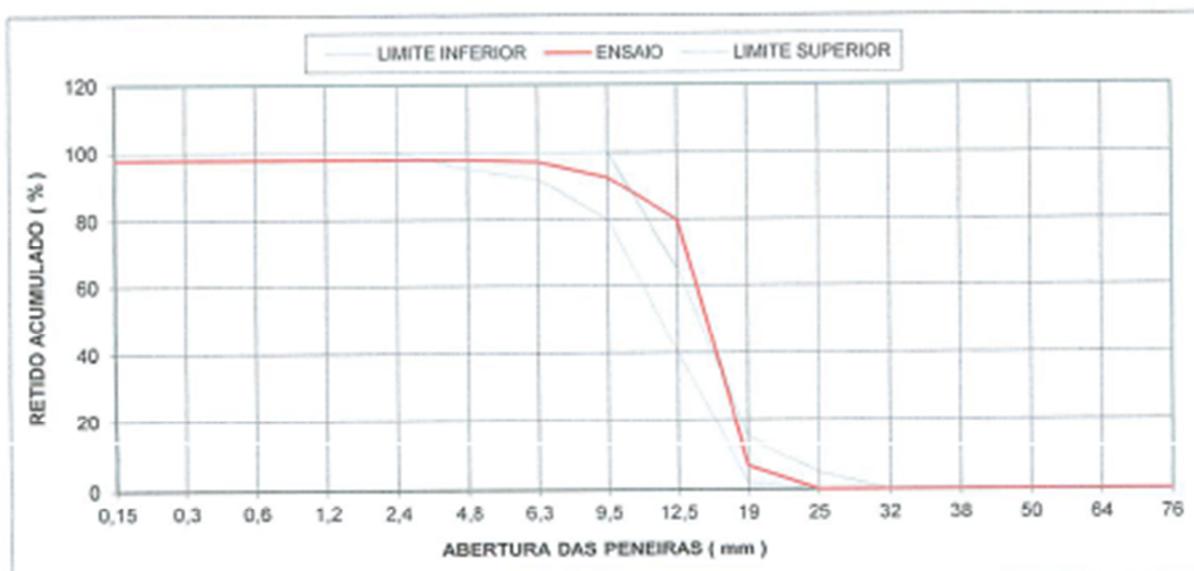
GRANULOMETRIA

PENEIRA (mm)	PESO RETIDO	PORCENTAGEM	
		RETIDA	ACUMUL.
76			
64			
50			
38			
32			
25			
19	702	7,0 %	7,02 %
12,5	7276	72,8 %	79,78 %
9,5	1271	12,7 %	92,48 %
6,3	453,0	4,5 %	97,01 %
4,8	65,0	0,7 %	97,66 %
2,4			97,66 %
1,2			97,66 %
0,6			97,66 %
0,3			97,66 %
0,15			97,66 %
FUNDO	233,6	2,3 %	100%
TOTAL	10000	100 %	

ENSAIOS

DESCRIÇÃO	RESULTADOS
MASSA UNITÁRIA NBR NM 53	1,414 kg/dm ³
MASSA ESPECÍFICA NBR NM 53	2,727 kg/dm ³
TEOR DE ARGILA NBR 7218	%
MATERIAIS PULVERULENTOS NBR NM 46	0,3 %
ABSORÇÃO NBR NM 53	%
IMPUREZAS ORGÂNICAS NBR NM 49	
MÓDULO DE FINURA NBR 7211	6,855
DIÂMETRO MÁXIMO NBR 7211	25,0 mm
COEFICIENTE DE VAZIOS -	48,16 %

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVAÇÕES:

MATERIAL COLETADO NA SUPERMIX OLHOS DA ÁGUA
AMOSTRA PARA CURVA DO MÊS DE OUTUBRO 2013.

Anexo 10: Exemplo de relatório de ensaio de agregado graúdo

ANÁLISE DE AGREGADO

MATERIAL :	AREIA NATURAL	CERTIFICADO No. :	A1.853.2013
FORNECEDOR:	D. BRASIL	DATA DO ENSAIO :	12.11.2013

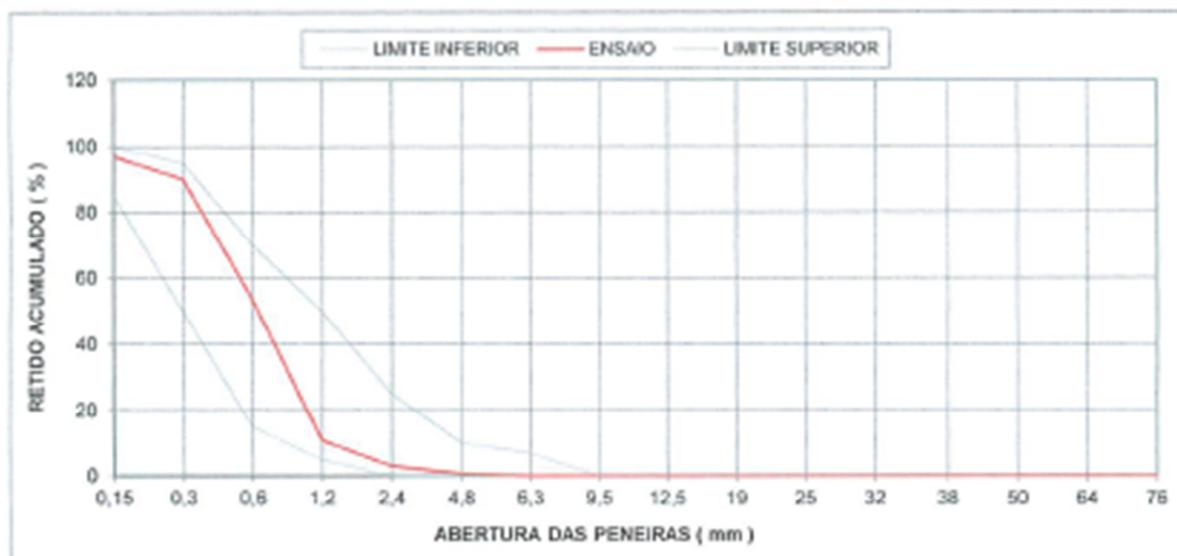
GRANULOMETRIA

PENEIRA (mm)	PESO RETIDO	PORCENTAGEM	
		RETIDA	ACUMUL.
76			
64			
50			
38			
32			
25			
19			
12,5			
9,5			
6,3			
4,8	3,8	0,8 %	0,76 %
2,4	10,9	2,2 %	2,94 %
1,2	40,0	8,0 %	10,94 %
0,6	213,3	42,7 %	53,60 %
0,3	182,7	36,5 %	90,14 %
0,15	34,4	6,9 %	97,02 %
FUNDO	14,9	3,0 %	100%
TOTAL	500	100 %	

ENSAIOS

DESCRIÇÃO	RESULTADOS
MASSA UNITÁRIA NBR NM 52	1,400 kg/dm ³
MASSA ESPECÍFICA NBR NM 52	2,660 kg/dm ³
TEOR DE ARGILA NBR 7218	0,38 %
MATERIAIS PULVERULENTOS NBR NM 46	0,4 %
ABSORÇÃO NBR NM 52	%
IMPUREZAS ORGÂNICAS NBR NM 49	< 300 ppm
MÓDULO DE FINURA NBR 7211	2,554
DIÂMETRO MÁXIMO NBR 7211	2,4 mm
COEFICIENTE DE VAZIOS	47,36 %

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVAÇÕES:

**MATERIAL COLETADO NO PATIO DA SUEPERMIX OLHOS DA ÁGUA.
MATERIAL COLETADO PARA CURVA DO MÊS DE NOVEMBRO 2013.**

Anexo 11: Exemplo de relatório de ensaio de agregado miúdo