



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL:**  
**ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL**

**JORDANA HERBSTER FERRAZ SERRA**

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL EM UMA  
OBRA DE EDIFICAÇÃO VERTICAL**

**FORTALEZA**

**2015**

JORDANA HERBSTER FERRAZ SERRA

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL EM UMA OBRA  
DE EDIFICAÇÃO VERTICAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral.

FORTALEZA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- S496 Serra, Jordana Herbster Ferraz.  
Avaliação da utilização do concreto autoadensável em uma obra de edificação vertical / Jordana Herbster Ferraz Serra. – 2015.  
105 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Fortaleza, 2015.  
Orientação: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral .
1. Concreto autoadensável. 2. Concreto convencional. 3. Produtividade. 4. Custos. I. Título.  
CDD 624.1
-

JORDANA HERBSTER FERRAZ SERRA

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL EM UMA OBRA  
DE EDIFICAÇÃO VERTICAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Construção Civil.

Aprovada em: 05/06/2015.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

À Deus.

Aos meus pais, Jansen e Altair.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, Fonte de tudo, de todas as energias e criações.

Aos meus amados pais, Jansen e Altair, pelo exemplo, apoio e amor incondicional que sempre me proporcionaram.

Ao meu amado marido, Tadeu, pela paciência concedida na execução deste trabalho, pelo apoio e todo amor a mim dedicado.

Aos meus irmãos, Alysson e Jamille, por fazerem parte de mim.

Aos meus sobrinhos: Jansen, Manuella e Valentina, por serem fonte de amor e exemplo de pureza.

Aos amigos de graduação, participantes do melhor grupo de estudos, o G5: Fabiola, Jornatã, Lucas e Danúzio, por todo apoio e incentivo.

Aos colegas e amigos de mestrado, representados por Afonso Henrique, pelo aprendizado dividido e amizade concedida.

Aos professores do mestrado, Dr. Bertini, Dr. Barros Neto, Dra. Vanessa e Dr. Heineck pelos ensinamentos e conhecimentos compartilhados.

Ao meu professor e orientador, Dr. Eduardo Cabral, pela dedicação, paciência e incentivo no decorrer desse estudo.

Ao Prof. MSc. Aldo Oliveira pela liberação do Laboratório de Materiais de Construção da UFC para desenvolvimento desta pesquisa.

Aos laboratoristas, Helano e Allisson, por todo auxílio concedido, transformando o trabalho em diversão.

Ao laboratorista Nonato, pelo auxílio direto na execução do ensaio de resistência à compressão.

Aos bolsistas, David Alysson e Tiago Macêdo, pelo auxílio nos ensaios laboratoriais.

Ao presidente do Sinduscon/CE, André Montenegro, pela permissão e divulgação da pesquisa por entre as construtoras afiliadas.

À JVS Engenharia Ltda., por ter acreditado na pesquisa e ter cedido um empreendimento para a execução do estudo de caso.

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFC pela oportunidade concedida.

“Nunca tenha certeza de nada, porque a sabedoria começa com a dúvida.”

(Sigmund Freud)

## RESUMO

O concreto autoadensável (CAA) surgiu da necessidade de se obter estruturas de concreto mais duráveis, econômicas e com menor tempo de execução. Esse tipo de concreto tem capacidade de se mover por conta própria, preenchendo todos os espaços destinados a ele na fôrma sem nenhuma forma de adensamento ou compactação, não segregando ou aprisionando ar em excesso. Portanto, sua utilização evita manifestações patológicas decorrentes de um adensamento mal executado no momento da concretagem. Além disso, reduz os ruídos gerados na execução da concretagem, a quantidade de funcionários e, conseqüentemente, também os riscos de acidentes de trabalho. Entretanto, apesar das várias vantagens, essa tecnologia ainda não é vastamente utilizada em obras de edificação vertical no Brasil. Especificamente na cidade de Fortaleza/CE não se tem conhecimento de nenhuma obra de edificação vertical onde o CAA tenha sido aplicado em toda a estrutura (lajes, vigas e pilares). O objetivo deste trabalho é avaliar a utilização do CAA em substituição ao concreto convencional (CCV) em uma obra de edificação vertical na cidade de Fortaleza. Para tanto, um traço de CAA foi desenvolvido em laboratório, tendo sido executados ensaios no estado fresco e no estado endurecido, onde foi possível verificar o atendimento às prescrições das respectivas normas brasileiras vigentes. Posteriormente, duas concretagens com CAA foram executadas em uma edificação vertical. Para efeito de comparação entre o CAA e o CCV, uma laje com CCV também foi executada e avaliada. As seguintes variáveis foram avaliadas: tempo de concretagem, aparecimento de manifestações patológicas posteriormente à concretagem, quantidade de mão de obra necessária para a concretagem, custos e o risco de acidentes de trabalho. Após essa análise, foi visto que a estrutura produzida com CAA quando comparada à estrutura produzida com CCV, obteve tempo de concretagem 60,5% menor, a quantidade de mão de obra reduziu 50%, os custos com mão de obra reduziram cerca de 62,8%, o fator de risco de acidentes de trabalho reduziu cerca de 260,8% e o custo total foi 56,4% menor.

**Palavras-chave:** Concreto autoadensável. Concreto convencional. Produtividade. Custos.

## ABSTRACT

The self-compacting concrete (SCC) arose from the need to obtain more durable concrete structures, economic and less runtime. This type of concrete has the ability to move on their own, filling all the spaces for it in the pan without any form of consolidation or compression, not segregating or trapping excess air. Therefore, their use prevents pathological manifestations resulting from a poorly executed density at the time of concreting. It also reduces the noise generated in the execution of concrete, the number of employees and, consequently, the risk of industrial accidents. However, despite the several advantages, this technology is not yet widely used in vertical building projects in Brazil. Specifically in the city of Fortaleza / CE is not aware of any work of vertical building where the CAA has been applied throughout the structure (slabs, beams and columns). The objective of this study is to evaluate the use of CAA replacing conventional concrete (CC) into a work of vertical building in the city of Fortaleza. Thus, a CAA trait was developed in the laboratory, have been performed tests in fresh and hardened state, it was possible to verify compliance with the provisions of their existing Brazilian standards. Later, two concreting with CAA were performed in a vertical building. For comparison between the CAA and the CC, a slab with CC was also performed and evaluated. The following variables were evaluated: time concrete, appearance of pathological manifestations, the amount of labor required for concrete, costs and risk of accidents. After this analysis, it was seen that the structure produced with CAA compared to the structure produced with CC, got time concreting 60.5% lower, the amount of manpower reduced 50%, the cost of labor decreased about 62,8%, the risk factor of occupational accidents decreased approximately 260.8% and the total cost was 56.4% lower.

**Keywords:** Self-compacting concrete. Conventional concrete. Productivity. Cost.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Execução do ensaio de espalhamento.....	27
Figura 2	– Ensaio Funil V.....	29
Figura 3	– Comparação entre as proporções utilizadas no CAA e no CCV.....	35
Figura 4	– Passo-a-passo do método de Tutikian e Dal Molin (2007).....	36
Figura 5	– Método de dosagem Repette-Melo (2005).....	37
Figura 6	– Ponte Akashi-Kaikyo no Japão.....	39
Figura 7	– Edifício Burj Khalifa em Dubai.....	40
Figura 8	– Laje do metrô de São Paulo.....	41
Figura 9	– Processo de produção de obras.....	43
Figura 10	– Diagrama que descreve o método de dosagem de Gomes <i>et al.</i> ....	51
Figura 11	– Ensaio Cone de Marsh em laboratório.....	52
Figura 12	– Colocação do aditivo superplastificante na obra.....	54
Figura 13	– Ensaio <i>slump flow</i> no laboratório.....	61
Figura 14	– Ensaio Anel J no laboratório.....	62
Figura 15	– Ensaio Caixa em L em laboratório.....	62
Figura 16	– Aspecto do corpo de prova de CAA.....	63
Figura 17	– Aspecto do pilar confeccionado em laboratório.....	64
Figura 18	– Ensaio <i>slump flow</i> na obra.....	67
Figura 19	– Foco na extremidade do CAA no ensaio <i>slump flow</i> .....	67
Figura 20	– Aplicação do CAA na obra.....	68
Figura 21	– Acabamento superficial do pilar.....	71
Figura 22	– Acabamento superficial da laje.....	71
Figura 23	– Manifestação patológica na viga com CCV.....	72
Figura 24	– Manifestação patológica no pilar com CCV.....	72
Figura 25	– Vazamento de concreto pelas fôrmas.....	82

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comportamento reológico de vários tipos de concreto .....	25
Gráfico 2 – Resultado da pesquisa de opinião realizada .....	59
Gráfico 3 – Resultado do ensaio de resistência à compressão .....	69
Gráfico 4 – RUP das concretagens.....	73
Gráfico 5 – Quantidade de homens/hr por m <sup>3</sup> de concreto.....	75
Gráfico 6 – Tempo total das concretagens .....	76
Gráfico 7 – Tempo de lançamento e espera.....	76
Gráfico 8 – Tempo de lançamento, adensamento e sarrafeamento das concretagens.....	78
Gráfico 9 – Custo total com a administração da obra .....	78
Gráfico 10 – Quantidade de operários .....	79
Gráfico 11 – Comparativo entre custos de mão de obra .....	80
Gráfico 12 – Custo total com a mão de obra parada devido às esperas dos caminhões.....	83
Gráfico 13 – Custo total com mão de obra .....	84
Gráfico 14 – Fator de risco de acidentes de trabalho .....	85
Gráfico 15 – Custo concretagem por m <sup>3</sup> de concreto acabado .....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Classe de espalhamento .....	27
Tabela 2	– Classe da viscosidade plástica aparente.....	28
Tabela 3	– Classe do ensaio Funil V .....	29
Tabela 4	– Classe da habilidade passante .....	30
Tabela 5	– Influência na pressão das formas .....	31
Tabela 6	– Fatores que influenciam a resistência à aderência das armaduras .....	34
Tabela 7	– Características químicas do cimento .....	47
Tabela 8	– Ensaio físico do cimento 1 .....	47
Tabela 9	– Ensaio físico do cimento 2.....	47
Tabela 10	– Granulometria da areia .....	48
Tabela 11	– Granulometria da brita.....	48
Tabela 12	– Índices físicos da areia e da brita .....	48
Tabela 13	– Características físicas do fíler calcário .....	49
Tabela 14	– Características químicas do fíler calcário .....	49
Tabela 15	– Características do superplastificante .....	49
Tabela 16	– Características do plastificante.....	49
Tabela 17	– Quadro administrativo das 3 concretagens .....	57
Tabela 18	– Distribuição dos colaboradores não administrativos da obra nas 3 concretagens.....	57
Tabela 19	– Traço do concreto convencional .....	60
Tabela 20	– Traço de CAA encontrado na dosagem experimental.....	61
Tabela 21	– Resultado dos ensaios do CAA no estado fresco .....	61
Tabela 22	– Resultado dos ensaios do CAA no estado endurecido .....	63
Tabela 23	– Traço de CAA corrigido .....	64
Tabela 24	– Resultado dos ensaios executados no estado fresco na 1ª e 2ª concretagem com CAA.....	65
Tabela 25	– Resultado do <i>slump flow</i> na 1ª e 2ª concretagem .....	65
Tabela 26	– Resultado de resistência à compressão (MPa) .....	69
Tabela 28	– Custos extras com mão de obra na 1ª e 2ª utilização do CAA.....	82
Tabela 29	– Quantidade de Homens/hora.....	83
Tabela 30	– Gastos com vibrador.....	85
Tabela 31	– Volume de concreto.....	86

Tabela 32 – Comparação entre o custo total do CAA e do CCV.....	88
---	----

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAA	Concreto Autoadensável
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CCV	Concreto Convencional
CP	Corpo de Prova
f/c	Relação fíler/cimento
Fck	Resistência à compressão
FGV	Fundação Getúlio Vargas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira
PF	Perda ao Fogo
RI	Resíduo Insolúvel
RUP	Razão Unitária de Produção
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\tau_0$	Tensão de escoamento inicial
$\eta$	Viscosidade plástica
$\gamma$	Taxa de cisalhamento
%	Porcentagem
R\$	Reais
$\text{CaCO}_3$	Carbonato de Cálcio
$\text{MgCO}_3$	Carbonato de Magnésio
$\text{MgO}$	Óxido de magnésio
$\text{R}_2\text{O}_3$	Óxidos Compostos
$\text{SiO}_2$	Óxido de Silício
$\text{SO}_3$	Trióxido de enxofre

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>18</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>20</b>
<b>1.2.1</b>	<b><i>Geral.....</i></b>	<b>20</b>
<b>1.2.2</b>	<b><i>Específicos .....</i></b>	<b>21</b>
<b>1.3</b>	<b>Limitações .....</b>	<b>21</b>
<b>1.4</b>	<b>Estrutura de apresentação da pesquisa .....</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BILIOGRÁFICA .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2</b>	<b>Propriedades do CAA no estado fresco .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.1</b>	<b><i>Espalhamento (Slump Flow Test).....</i></b>	<b>26</b>
<b>2.2.2</b>	<b><i>Tempo de escoamento (<math>T_{500}</math>).....</i></b>	<b>28</b>
<b>2.2.3</b>	<b><i>Funil V .....</i></b>	<b>28</b>
<b>2.2.4</b>	<b><i>Caixa L.....</i></b>	<b>30</b>
<b>2.2.5</b>	<b><i>Pressão do CAA nas formas .....</i></b>	<b>30</b>
<b>2.3</b>	<b>Propriedades do CAA no estado endurecido.....</b>	<b>31</b>
<b>2.3.1</b>	<b><i>Resistência à compressão e à tração .....</i></b>	<b>32</b>
<b>2.3.2</b>	<b><i>Módulo de elasticidade .....</i></b>	<b>32</b>
<b>2.3.3</b>	<b><i>Retração e fluência.....</i></b>	<b>33</b>
<b>2.3.4</b>	<b><i>Resistência à aderência da armadura.....</i></b>	<b>34</b>
<b>2.4</b>	<b>Dosagem do CAA.....</b>	<b>34</b>
<b>2.5</b>	<b>Vantagens e desvantagens da utilização do CAA .....</b>	<b>37</b>
<b>2.6</b>	<b>Utilização do CAA no Brasil e no mundo .....</b>	<b>38</b>
<b>2.7</b>	<b>Produtividade da mão de obra .....</b>	<b>42</b>
<b>2.8</b>	<b>Acidentes de trabalho .....</b>	<b>44</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>46</b>
<b>3.1</b>	<b>Pesquisa de opinião sobre a utilização do CAA em Fortaleza .....</b>	<b>46</b>
<b>3.2</b>	<b>Dosagem do CAA.....</b>	<b>46</b>
<b>3.2.1</b>	<b><i>Materiais utilizados.....</i></b>	<b>46</b>
<b>3.2.2</b>	<b><i>Dosagem do CAA.....</i></b>	<b>50</b>
<b>3.3</b>	<b>Estudo de caso da aplicação do CAA em uma obra de edificação vertical.....</b>	<b>52</b>

3.3.1	<i>Características do empreendimento</i> .....	53
3.3.2	<i>Processo de recebimento, lançamento e cura do concreto</i> .....	53
3.3.3	<i>Controle tecnológico</i> .....	55
3.4	<b>Análise comparativa entre CAA e CCV</b> .....	55
3.4.1	<i>Mão de obra</i> .....	55
3.4.2	<i>Acidentes de trabalho</i> .....	58
3.4.3	<i>Ferramentas e equipamentos</i> .....	58
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	59
4.1	<b>Pesquisa de opinião sobre a utilização do CAA em obras de edificações verticais em Fortaleza</b> .....	59
4.2	<b>Dosagem do CAA</b> .....	60
4.3	<b>Resultados dos ensaios no estado fresco, endurecido e aspecto das peças concretadas</b> .....	65
4.3.1	<i>Resultado dos ensaios no estado fresco</i> .....	65
4.3.2	<i>Resultado dos ensaios no estado endurecido</i> .....	68
4.3.3	<i>Aspecto das peças concretadas com CAA</i> .....	70
4.4	<b>Outros resultados</b> .....	73
4.4.1	<i>Resultados da produtividade da mão de obra</i> .....	73
4.4.1.1	<i>Segundo a RUP</i> .....	73
4.4.1.2	<i>Segundo a quantidade de Homem/hora por m<sup>3</sup> de concreto</i> .....	74
4.4.2	<i>Comparativo entre os tempos de concretagem</i> .....	75
4.4.3	<i>Comparativo entre a quantidade de operários e seus custos</i> .....	79
4.4.4	<i>Custos extras com mão de obra</i> .....	81
4.4.5	<i>Custo total com mão de obra</i> .....	83
4.4.6	<i>Acidentes de trabalho</i> .....	84
4.4.7	<i>Custo com o uso de vibradores</i> .....	85
4.4.8	<i>Fôrmas</i> .....	86
4.4.9	<i>Volume de concreto</i> .....	86
4.4.10	<i>Custo total</i> .....	87
5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	89
5.1	<b>CONCLUSÃO</b> .....	89
6	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	91
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	92

<b>APÊNDICE.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>101</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Justificativa

O concreto autoadensável (CAA), também chamado de concreto autocompactável, já é utilizado em vários países e representa um dos maiores avanços na tecnologia do concreto das últimas décadas. Seu nome está relacionado com o aumento na produtividade, melhora do ambiente construtivo e contribuição da tecnologia sustentável do concreto, sendo caracterizado como um material ambientalmente amigável (CAVALCANTI, 2006).

O CAA foi originado no Japão na década de 1980, tendo sido desenvolvido inicialmente para suprir a deficiência de mão de obra qualificada no que diz respeito ao adensamento do concreto, uma vez que a má execução desta etapa pode comprometer severamente a durabilidade das estruturas (REPETTE, 2011).

Além da falta de mão de obra qualificada, existia outra preocupação: a baixa trabalhabilidade do concreto e seu tempo de lançamento, tendo em vista a dificuldade de adensar elementos estruturais com fôrmas complexas e com alta taxa de armadura (BILLBERG, 1999).

O CAA tem a capacidade de preencher todos os espaços destinados a ele na fôrma por conta própria, sem nenhuma intervenção externa. Portanto, este não necessita ser adensado com vibrador e, além disso, não segrega e não aprisiona ar em excesso. Com isso, sua aplicação é mais fácil, rápida, requer menos mão de obra, evita manifestações patológicas, como ninhos de concretagem, bem como diminui o ruído ocasionado por vibradores (REPETTE, 2011).

Sua estrutura é mais densa, isto é, há menor volume de vazios, o que proporciona uma melhor aderência entre o concreto e o aço (ALMEIDA FILHO, 2006). Isto pode proporcionar melhores resultados no comportamento mecânico dos elementos estruturais quando comparado àqueles que utilizaram o concreto convencional (CCV).

As principais diferenças entre o CCV e o CAA são as características reológicas. Essas características estão relacionadas à fluidez e à deformabilidade, que normalmente são alcançadas no CAA através de uma maior proporção de pasta de cimento-agregado do que a usualmente utilizada em concretos convencionais (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A obtenção dos benefícios oferecidos pelo CAA depende de forma direta de uma eficiente dosagem de seus materiais e da escolha correta dos aditivos e adições empregados (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

De acordo com Gomes e Barros (2009), é notório que o interesse por esse tipo de concreto em todo o mundo tem crescido por conta dos inúmeros trabalhos publicados em congressos, simpósios e seminários que tratam especificamente de CAA, além dos eventos que tratam de tecnologia do concreto e pelas várias aplicações que são justificadas pelas vantagens bastante atrativas para as construtoras. Na América do Sul, especificamente no Brasil, as pesquisas vêm crescendo a cada dia e a aplicação de CAA aumenta todo ano.

Como exemplo do interesse na utilização do CAA, uma empresa em São Paulo fez um estudo comparativo entre as aplicações do CCV e do CAA em um edifício residencial. Foram analisados custos, tempo de aplicação e quantidade de funcionários e foi possível verificar com esse estudo que o tempo total de aplicação do CAA na obra foi metade do tempo necessário para aplicar o CCV; a somatória final dos custos do CAA ficou 1,09% maior e; foi preciso cerca de 20% menos funcionários. Então, a empresa concluiu com o estudo que o custo do CAA foi compensatório tendo em vista a maior produtividade e velocidade de execução da obra (FARIA, 2008).

Já em Goiânia, uma construtora fez um estudo do uso do CAA em três torres residenciais, cada uma com 27 pavimentos. A escolha se deu por conta da velocidade de lançamento do concreto, a facilidade de se distribuir pelas fôrmas, a dispensa do uso de vibradores ou régua vibratórias, além de permitir que o sarrafeamento fosse mais simples e rápido. Segundo o diretor de produção dessa empresa, a obra encurtou cerca de um mês o cronograma físico do empreendimento, diminuiu a quantidade de funcionários envolvidos na concretagem e houve ainda economia de fôrmas, pois elas se soltaram com mais facilidade, tendo em vista que as superfícies ficaram com acabamento liso (PINI, 2010).

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), em conjunto com a Fundação Getúlio Vargas (FGV), formulou um questionário para avaliar a opinião das empresas construtoras sobre sua produtividade. O resultado foi que apenas 4% das empresas responderam estar totalmente satisfeitas; 35% declararam estar insatisfeitas. A grande maioria, que corresponde a 61%, afirma estar satisfeita com a produtividade, mas considera que ela poderia ser melhor. Ao apontar os investimentos prioritários para melhorar a produtividade da empresa, 55% indicam a necessidade de treinamento da mão de obra; 39%, a

adoção de novos processos produtivos; e 22% o investimento em máquinas e equipamentos. Nesse contexto, 90% das empresas declaram estar em busca de novos processos produtivos.

Souza (2006) afirma que já há muito tempo a indústria da construção é caracterizada pela má produtividade no uso da mão-de-obra. Se tal colocação já merecia atenção há algumas décadas, então torna-se cada vez mais preocupante na medida em que se tem um mercado cada vez mais competitivo, buscando a minimização do desperdício do esforço humano.

Sobrepondo a isso, Carraro, Reis e Souza (1997) afirmam que, na década de 90, a mão de obra tinha se caracterizado como o gargalo da construção civil, cujo os gastos são bastante expressivos e o controle, uma difícil tarefa. Ademais, Vargas (1996), em um levantamento feito em mais de cem canteiros, verificou que 47% da jornada de trabalho dos operários corresponde a esperas, paradas e retrabalhos. Então, medir a produtividade da mão de obra, assim como procurar meios para melhorá-la é de grande importância para a construção civil.

Com isso, a utilização do CAA pode vir a ser uma forma de melhorar a produtividade da mão de obra na fase de estrutura dos empreendimentos, tendo em vista suas várias vantagens, como: a redução da mão de obra necessária para o momento da concretagem e dos tempos de espera. Todavia, apesar das várias vantagens, poucas obras foram realizadas com o CAA no Brasil. A falta de estudos, a adaptação da tecnologia para a realidade brasileira e, em geral, o maior custo deste tipo de concreto, são os motivos para que ainda sejam poucas as obras que utilizam essa tecnologia construtiva (TUTIKIAN; DAL MOLIN; CREMONINI, 2005).

No Ceará, em especial na cidade de Fortaleza, o panorama não é diferente, pois apesar de o volume de obras de edificação vertical ser grande, as construtoras ainda não utilizam essa tecnologia em concreto. Segundo dados do SINDUSCON/CE, foram lançadas em média 614 unidades por mês no ano de 2014 (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2014). Assim, surge a necessidade de se fazer um estudo sobre utilização do CAA em obras de edificação vertical, visando sua difusão no meio empresarial.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Geral**

O objetivo da pesquisa é avaliar a utilização do concreto autoadensável em substituição ao concreto convencional em uma obra de edificação vertical.

### **1.2.2 Específicos**

- Pesquisar sobre a utilização e o interesse na utilização do CAA no mercado da construção civil da cidade de Fortaleza;
- Realizar a dosagem de um traço de concreto autoadensável com materiais locais que atenda aos critérios previstos na NBR 15823;
- Aplicar o concreto autoadensável em uma obra de edificação vertical;
- Avaliar o tempo de concretagem, a quantidade de mão de obra utilizada, as possíveis manifestações patológicas na estrutura decorrentes da concretagem e os custos.

### **1.3 Limitações**

Existem algumas limitações impostas ao estudo desenvolvido, sendo elas:

- Os materiais utilizados para dosagem do concreto, como a areia e a brita, foram fornecidos pela concreteira. Então, para efeito de comparação é preciso observar a caracterização e a composição adotada;
- O fíler calcário utilizado foi da marca Carbomil e a mudança na marca do fíler também pode gerar diferenças no momento de comparar;
- A concretagem foi executada em uma obra de edificação vertical de apenas 7 pavimentos.

### **1.4 Estrutura de apresentação da pesquisa**

Este trabalho está dividido em 7 capítulos.

O capítulo 1 apresenta uma introdução sobre o concreto autoadensável, onde se encontra a justificativa do trabalho, bem como se apresenta o objetivo principal e os específicos, além das limitações da pesquisa.

No capítulo 2 encontra-se a revisão bibliográfica. Este capítulo contempla informações sobre o CAA, como as características do mesmo no estado fresco e endurecido,

os métodos de dosagem, as vantagens e desvantagens da sua utilização, assim como a utilização no Brasil e no mundo, além de explicar sobre a produtividade da mão de obra e acidentes de trabalho.

O capítulo 3 versa sobre a metodologia, descrevendo a pesquisa de opinião feita, a apresentação das características dos materiais utilizados na dosagem do CAA, o método de dosagem utilizado e o estudo de caso, onde é descrito o processo de recebimento, lançamento e cura do CAA, o controle tecnológico e a forma em que o CAA e o CCV serão comparados.

O capítulo 4 descreve os resultados encontrados na pesquisa de opinião, dosagem do CAA e na análise comparativa entre o CAA e o CCV, no que se refere à mão de obra, segurança do trabalho e ferramentas e equipamentos.

Já o capítulo 5 discorre sobre as considerações finais e a conclusão obtida no presente estudo.

O capítulo 6 mostra as sugestões para trabalhos futuros.

No capítulo 7 são listadas as referências bibliográficas utilizadas nesse trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Introdução

O uso do concreto como material de construção remonta ao antigo Império Romano. É considerado o mais importante material de todas as épocas da civilização humana. O seu desenvolvimento e aperfeiçoamento como material estrutural variou com o nível de conhecimento de cada época da história do Homem (ISAIA, 2011).

A vasta utilização do concreto fez com que surgissem problemas no processo de adensamento, decorrentes principalmente da complexidade das estruturas executadas. Este problema começou a afetar os requisitos de durabilidade, levando a redução da qualidade das construções no Japão (OKAMURA, 1997). Então, surgiu a necessidade de se desenvolver um concreto que apresentasse uma propriedade reológica capaz de dispensar o adensamento, o qual foi denominado concreto autoadensável (CAA).

O CAA foi desenvolvido, pelo Professor Hajime Okamura na década de 1980, na Universidade de Tóquio, Japão. O objetivo do CAA é fazer com que as estruturas sejam mais duráveis, econômicas e tenham menor tempo de execução, tendo em vista a proporção otimizada dos componentes da mistura e a ausência da necessidade do adensamento mecânico do concreto (GOMES; BARROS, 2009). O primeiro protótipo foi concluído em 1988 usando materiais já existentes no mercado. Esse protótipo teve suas propriedades consideradas satisfatórias (OKAMURA; MASAHIRO, 2003).

Bartos (2000) afirma que o CAA não é um material novo, pois era usado em concretagens submersas, já que era impossível fazer compactação ou adensamento externo nesse tipo de concretagem. Outro estudo considera que o CAA foi estudado e usado na prática a 20-25 anos atrás em Hong Kong, Nova Iorque e Trieste (COLLEPARDI, 2001).

Segundo Bakhtiyari *et al.* (2011), o CAA é um material que possui capacidade de se moldar às fôrmas, sem aplicação de vibração mecânica ou compactação, preenchendo os espaços pela ação do seu peso próprio. Para tanto, é preciso alcançar homogeneidade adequada.

Para ser considerado autoadensável o concreto precisa alcançar três propriedades simultaneamente, são elas: fluidez, habilidade passante e resistência à segregação (EFNARC, 2002).

Tutikian e Dal Molin (2008) definem a fluidez como a propriedade que caracteriza a capacidade do concreto de fluir dentro da fôrma e preencher todos os espaços; habilidade passante como a propriedade que caracteriza a capacidade da mistura de escoar pela fôrma, passando por entre as armaduras de aço sem obstrução do fluxo ou segregação e; resistência à segregação como a capacidade de se manter coeso ao fluir dentro das fôrmas, passando ou não por obstáculos.

A fim de obter o adequado comportamento do CAA é necessário fazer ensaios para garantir que as propriedades no estado fresco e no estado endurecido atendam aos requisitos exigidos pelas normas.

## 2.2 Propriedades do CAA no estado fresco

Os estudos relacionados à reologia do concreto são recomendados para que a caracterização do concreto no estado fresco seja adequada, principalmente quando se trata de CAA, tendo em vista que assim torna-se possível a determinação de parâmetros fisicamente mensuráveis (DACZKO; CONSTANTINER, 2001).

Reologia (rheos=fluir e logos=estudo) é a ciência que estuda o fluxo e a deformação dos materiais quando submetidos a uma determinada tensão ou solicitação mecânica externa, sendo usualmente empregada na análise do comportamento de fluidos homogêneos, como os líquidos, as emulsões e as suspensões de partículas (WATANABE; ISHIKAWA; WAKAMATSU, 1989).

O CAA é um fluido que apresenta dois parâmetros reológicos para sua caracterização, viscosidade plástica ( $\eta$ ) e a tensão de escoamento inicial ( $\tau_0$ ) (FERRARIS, 1999). A primeira é a constante de proporcionalidade que relaciona a taxa de cisalhamento ( $\dot{\gamma}$ ) e a tensão de cisalhamento ( $\tau$ ) aplicada, enquanto a segunda indica a tensão mínima para o início do escoamento (ROMANO; CARDOSO; PILEGGI, 2011).

São considerados fluidos ideais aqueles que possuem viscosidade constante e tensão de escoamento nula, os quais são chamados newtonianos, como por exemplo a água. Todavia, os fluidos de interesse tecnológico geralmente têm características reológicas que não estão dentro da idealidade. Podendo apresentar os seguintes comportamentos (independentemente do tempo) (ROMANO, CARDOSO E PILEGGI, 2011):

—Pseudoplástico: a viscosidade aparente, definida como a razão entre a tensão e a taxa de cisalhamento, diminui com o aumento da taxa de cisalhamento;

—Dilatante: a viscosidade aumenta com o aumento da taxa de cisalhamento.

Entretanto, as variações desses comportamentos básicos podem gerar três outros tipos de comportamento, em que o fluido requer uma tensão mínima de cisalhamento para iniciar o escoamento:

—Fluido de Bingham: semelhante ao newtoniano com tensão de escoamento;

—Pseudoplástico com tensão de escoamento;

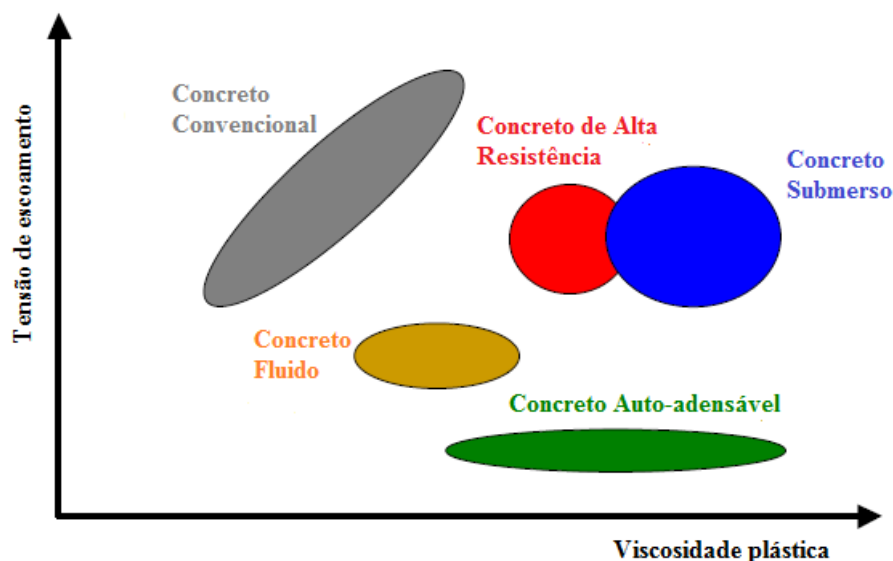
—Dilatante com tensão de escoamento.

O CCV e o CAA, no estado fresco, começam a fluir somente após a tensão de cisalhamento exceder a tensão de escoamento  $\tau_0$ . No caso mais simples, o concreto fresco pode ser comparado com um fluido de Bingham. Os estudos reológicos têm permitido compreender o comportamento do CAA, favorecendo uma dosagem mais racional desse concreto especial (GOMES; BARROS, 2009).

De acordo com Gomes (2002), a tensão de escoamento no CAA deve ser baixa, para que ocorra aumento da fluidez, e a viscosidade deve ser moderada, para que tenha a estabilidade necessária. Contudo, esses parâmetros diferem daqueles definidos para os concretos convencionais, os quais exigem tensões de escoamento muito mais altas e viscosidades muito mais baixas.

O Gráfico 1 apresenta faixas de propriedade reológica para diversos tipos de concreto. Pode-se observar que o CAA tem alta viscosidade plástica e baixa tensão de escoamento, já o CCV possui alta tensão de escoamento e baixa viscosidade plástica.

Gráfico 1 - Comportamento reológico de vários tipos de concreto



Fonte: Elaborado pelo autor e adaptado de Nunes (2001).

As características reológicas podem ser medidas através da utilização de um equipamento chamado reômetro. Atualmente, existem diferentes tipos de reômetros e viscosímetros. Entretanto, por conta do custo elevado, esses equipamentos quase não existem em laboratórios. Além disso, existem outros ensaios mais simples que comprovam que o CAA atende às condições locais de aplicação (GOMES; BARROS, 2009).

Com isso, para caracterizar as propriedades do CAA no estado fresco foram desenvolvidos vários métodos de ensaios ao longo do tempo, usando técnicas recentemente desenvolvidas e outros que estão, ainda, em fase de evolução. Algumas dessas propriedades é a capacidade de preenchimento, determinada pelos ensaios de espalhamento no cone de Abrams e Funil V, de acordo com as normas NBR 15823-2 (ABNT, 2010a) e NBR 15823-5 (ABNT, 2010b) e a capacidade de passagem entre as armaduras, determinada pelo o ensaio da Caixa L, de acordo com a norma NBR 15823-4 (ABNT, 2010c). Outra característica importante no estado fresco é a verificação quanto à presença de segregação, através do ensaio de coluna de segregação, de acordo com a NBR 15823-6 (ABNT, 2010d).

Segundo Repette (2011), os objetivos dos ensaios são:

— Ensaio de espalhamento (“*Slump Flow Test*”): fornecer indicações da fluidez do CAA e de sua habilidade de preenchimento em fluxo livre.

— Funil V (V-Funnel): determinar a viscosidade plástica aparente do concreto;

— Caixa L (L-Box): avaliar a capacidade do CAA de escoar e de resistir ao bloqueio ao passar entre as armaduras e nos espaços entre a parede e a armadura. É um dos ensaios mais exigentes para a avaliação do CAA.

Todavia, para a caracterização utilizada neste trabalho, foram feitos somente os ensaios: *Slump Flow test*,  $T_{500}$ , Funil V e Caixa L, os quais estão descritos a seguir.

### **2.2.1 Espalhamento (*Slump Flow Test*)**

O ensaio de *slump flow* consiste em verificar se o concreto é capaz de se espalhar até atingir determinada dimensão, em determinado tempo e uma dimensão limite, através do seu próprio peso (GOMES; BARROS, 2009).

É baseado no ensaio de *slump test* para a determinação da consistência dos concretos convencionais, por isso ambos os ensaios utilizam o equipamento cone de Abrams. Por conta da alta fluidez do concreto, mede-se o espalhamento do concreto após a retirada do

cone, sendo necessária uma base firme, na qual são marcadas duas circunferências: uma de 200mm, para centralizar o cone, e outra de 50 mm, para determinação do tempo que o concreto leva para atingir esse diâmetro ( $T_{500}$ ) (KLEIN, 2008). Observa-se, na Figura 1, o cone de Abrams centralizado na placa para execução do ensaio de espalhamento.

Figura 1 - Execução do ensaio de espalhamento



Na Tabela 1 são apresentadas as classes de espalhamento, de acordo com a NBR 15823-1 (ABNT, 2010e). A classe SF 1 indica que o concreto pode ser aplicado em estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura, CAA bombeado e estruturas que exigem curta distância de espalhamento horizontal, como por exemplo: lajes, revestimento de túneis, estacas e algumas fundações profundas. Já a classe SF 2 é adequada para a maioria das aplicações correntes, como por exemplo: paredes, vigas e pilares. A SF3 é indicada para estruturas com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa, como por exemplo: pilares-parede, paredes-diafragma e pilares.

Tabela 1 - Classe de espalhamento

<b>Classe</b>	<b>Espalhamento (mm)</b>	<b>Método de ensaio</b>
SF 1	550 a 650	ABNT NBR 15823-2:2010
SF 2	660 a 750	
SF 3	760 a 850	

Fonte: NBR 15823-1:2010 (ABNT, 2010e).

### 2.2.2 *Tempo de escoamento ( $T_{500}$ )*

Quando se faz necessário que o concreto tenha um acabamento superficial bom ou quando a quantidade de armadura é densa, é importante determinar a viscosidade plástica aparente. Se a viscosidade do CAA é baixa, este apresenta um rápido espalhamento, mas de curta duração. Porquanto, se a viscosidade do CAA é alta o concreto pode continuar a se mover de forma lenta e progressiva por um tempo mais prolongado. A viscosidade pode ser avaliada igualmente pela medida do  $T_{500}$  ou pelo tempo medido no ensaio do Funil V, de acordo com a 15823-1 (ABNT, 2010e).

Na Tabela 2 são apresentadas as classes de viscosidade plástica aparente, conforme NBR 15823-1 (ABNT, 2010e). A classe VS 1 indica que o concreto é adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura, mas exige controle da exsudação e da segregação, pode ser utilizado em lajes, paredes-diafragma, pilares-parede e outros. Já a classe VS 2 indica que o concreto é adequado para a maioria das aplicações correntes, mas pode ocorrer efeitos negativos em relação à superfície de acabamento, no preenchimento de cantos e suscetibilidade a interrupções ou demora entre sucessivas camadas, podendo ser utilizado em vigas, pilares e outros.

Tabela 2 - Classe da viscosidade plástica aparente

<b>Classe</b>	<b><math>T_{500}</math> (s)</b>	<b>Método de ensaio</b>
VS 1	$\leq 2$	ABNT NBR 15823-2
VS 2	$> 2$	

Fonte: NBR 15823-1 (ABNT, 2010e).

Se o tempo estiver abaixo do limite inferior significa que o concreto está muito fluido, e se o tempo estiver acima do limite superior, indica que o concreto está muito coeso, nos dois casos o concreto deve ser corrigido (TUTIKIAN, 2004).

### 2.2.3 *Funil V*

O ensaio do Funil-V foi desenvolvido para simular a capacidade de passagem do CAA através do estreitamento de uma seção, apenas sob a ação e seu próprio peso. Além disso, esse ensaio também é utilizado para verificar a presença de segregação (quando o

concreto é impedido de escorrer pela saída do funil) (GOMES; BARROS, 2009 *apud* OZAWA *et al.*, 1994).

Este ensaio consiste em medir o tempo em que uma amostra de CAA de aproximadamente 10 litros de concreto necessita para fluir totalmente através do orifício inferior do funil, onde a seção deve ter dimensão mínima de três vezes o tamanho máximo do agregado. Depois do ensaio de espalhamento, com o cone de Abrams, o Funil-V é o mais utilizado nos laboratórios e no local da construção para verificar a fluidez do concreto (GOMES; BARROS, 2009). A Figura 2 mostra o ensaio Funil V.

As classes deste ensaio estão apresentadas na Tabela 3, conforme NBR 15823-1 (ABNT, 2010e). As classes VF1 e VF2 correspondem as classes VS1 e VS2 já mencionadas no item anterior.

Figura 2 - Ensaio Funil V



Tabela 3 - Classe do ensaio Funil V

<b>Classe</b>	<b>Funil V (s)</b>	<b>Método de ensaio</b>
VF 1	< 9	ABNT NBR 15823-5
VF 2	9 a 25	

Fonte: NBR 15823-1 (ABNT, 2010e).

### 2.2.4 Caixa L

O ensaio da caixa L mede a fluidez do concreto simultaneamente com a habilidade deste de passar por obstáculos (TUTIKIAN, 2004). A habilidade passante fornece informações sobre a capacidade de o concreto fresco fluir sem perder sua uniformidade ou causar bloqueio, através de espaços confinados e descontinuidades geométricas, como áreas de alta densidade de armadura e embutidos. Na definição de habilidade passante é necessário considerar a geometria da armadura e do elemento estrutural a ser concretado, segundo a NBR 15823-1 (ABNT, 2010e).

As classes deste ensaio estão descritas na Tabela 4, conforme NBR 15823-1 (ABNT, 2010e). A classe PL1 é indicada para elementos estruturais com espaçamento de armadura de 80 mm a 100 mm, podendo ser aplicado em lajes, painéis e elementos de fundação. Já a PL 2 é indicada para a maioria das aplicações correntes e elementos estruturais com espaçamento de 60 mm a 80 mm, exemplos de aplicações: vigas, pilares, tirantes e indústria de pré-moldados.

Tabela 4 - Classe da habilidade passante

Classe	Caixa L (H2/H1)	Método de ensaio
PL 1	≥0,8 com duas barras de aço	ABNT NBR 15823-4
PL 2	≥0,8 com três barras de aço	

Fonte: NBR 15823-1 (ABNT, 2010e).

### 2.2.5 Pressão do CAA nas formas

A alta fluidez e taxa de preenchimento do CAA faz com que a pressão nas formas seja maior do que a do CCV. Proske e Graubner (2002) afirmam que existem dezoito parâmetros que influenciam na pressão vertical das fôrmas no concreto convencional. Todos os parâmetros afetam a pressão nas fôrmas com diferentes níveis de intensidade. A Tabela 5 apresenta os dezoito parâmetros divididos em três intensidades, sendo o primeiro parâmetro o mais intenso, seguido pelo segundo parâmetro e, por último, o terceiro, o qual é menos intenso. Os parâmetros 1.3, 1.4 e 2.4 são desconsiderados para o CAA.

Estes autores consideram que a pressão do CAA nas fôrmas cresce com o aumento do nível de concreto (pressão vertical) e diminui no processo de pega e solidificação. Todavia, o parâmetro mais importante sempre será a velocidade de lançamento (PROSKE; GRAUBNER, 2002).

Tabela 5 - Influência na pressão das formas

<b>1. Primeiro</b>	<b>2. Segundo</b>	<b>3. Terceiro</b>
1.1 Velocidade de lançamento	2.1 Tempo de pega	3.1 Tipo de lançamento
1.2 Densidade do concreto	2.2 Relação cimento/aditivo	3.2 Tamanho máximo dos agregados
1.3 Tipo de compactação	2.3 Pressão da água	3.3 Tipo de cimento
1.4 Consistência do concreto	2.4 Tempo de vibração	3.4 Temperatura do ambiente
1.5 Temperatura do concreto fresco	2.5 Desenho da fôrma	3.5 Altura de lançamento e altura total
	2.6 Permeabilidade da fôrma	3.6 Reforço da construção

Fonte: Elaborada pelo autor e adaptada de Proske e Graubner (2002).

Tendo em vista os parâmetros citados na tabela acima, é possível identificar os motivos do aumento da pressão nas formas quando se é utilizado o CAA, pois a velocidade de lançamento desse tipo de concreto é maior e a densidade também é maior.

### **2.3 Propriedades do CAA no estado endurecido**

No CAA, a homogeneidade na interface entre a pasta e os agregados é maior do que no concreto convencional devido à maior dispersão das partículas do cimento pela ação de aditivos superplastificantes de elevado desempenho (REPETTE, 2011). Assim, a diferença na composição do CAA e do CCV faz com que o estudo do concreto no estado endurecido seja importante.

As principais diferenças entre o CAA e o CCV no estado endurecido estão descritas a seguir (KLUG; HOLSCHEMACHER, 2003):

—As modificações na composição da mistura podem influenciar os valores de resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade, por conta da maior quantidade de finos e menor granulometria dos agregados que causam alterações na composição do esqueleto granular do concreto;

—As modificações na microestrutura do concreto fazem com que este se torne mais estável e acarrete menor porosidade na zona de transição dos agregados – pasta de cimento. Isso ocorre devido a uma maior quantidade de finos (cimento e fíler) no concreto que acarreta uma menor quantidade de vazios, e, conseqüentemente, uma maior densidade com menor porosidade;

—Os procedimentos de moldagem de corpo de prova (CP) seguem a norma ABNT NBR 5738:2015, a mesma utilizada para o concreto convencional, mas sem adensamento manual ou mecânico.

As propriedades no estado endurecido do CAA e CCV são avaliadas da mesma forma, através de ensaios como o de resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade e avaliação da retração, fluência e resistência à aderência da armadura.

### ***2.3.1 Resistência à compressão e à tração***

A relação água/cimento de um concreto é a principal responsável pela porosidade da matriz de cimento e da zona de transição entre matriz e agregado graúdo, que têm influência direta na resistência do concreto, de modo que quanto maior a porosidade do material, menor será sua resistência à compressão (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Marques (2011) observou que o CAA produzido com quantidades de cimento e água iguais a de um traço de CCV pode possuir resistência à compressão e tração também iguais, ou até maior. O possível aumento da resistência deve-se a maior quantidade de materiais finos (incluindo adição).

Observou-se em um estudo realizado por Holschemacher (2004), comparando resultados de diversos traços de concretos autoadensáveis e estabelecendo a relação entre a resistência à tração e resistência à compressão, que a maioria dos resultados de resistência à tração está na faixa de dispersão válida obtida para o CCV, sendo que 30% dos dados analisados estão acima do limite superior admitido pelo código do CEB 90.

Levando em consideração que o CAA tem maior quantidade de finos em sua composição e menor granulometria dos agregados, além de ter menor porosidade, os resultados dos ensaios de resistência à compressão e à tração tendem a ser maiores que os resultados encontrados com CCV.

### ***2.3.2 Módulo de elasticidade***

A maior quantidade de finos e adições, associada à menor quantidade de agregados graúdos, influencia o módulo de elasticidade do CAA, o qual tende a ter valores mais baixos (HOLSCHEMACHER, 2004). Todavia, Mehta e Monteiro (2014) consideram que o módulo de elasticidade depende do teor e forma do agregado graúdo utilizado nos

traços, então, se o mesmo agregado graúdo fosse utilizado no CAA e no CCV, o resultado do módulo de elasticidade deveria ser igual para ambos.

A quantidade e tamanho do agregado graúdo, usualmente, são limitados para o CAA. Com isso, a análise de um banco de dados permitiu a conclusão de que o CAA pode chegar a apresentar módulo de elasticidade 20% inferior ao apresentado por concretos convencionais, que possuam a mesma resistência à compressão e mesmos agregados presentes na mistura (HOLSCHEMACHER; KLUG, 2002).

Contudo, Repette (2011) afirma que o CAA com menor teor de agregado graúdo pode apresentar redução de módulo de elasticidade em até 10% do valor obtido para o CCV de mesma resistência à compressão.

### **2.3.3 Retração e fluência**

Marques (2011) afirma que muitos fatores influenciam na fluência e retração do concreto, como: tipo de material e dosagem, aditivos e adições, composição química e finura do cimento, umidade relativa e temperatura do ambiente, condições de cura e conservação, geometria do elemento de concreto, idade de carregamento (para fluência) e resistência do concreto. O conhecimento destes fatores é de suma importância, levando em consideração que é a partir dele que se poderá saber o comportamento de uma estrutura.

A retração no CAA é maior que no CCV, podendo ser de 10% a 50% maior (HOLSCHEMACHER, 2004). Entretanto, essa constatação não representa aumento potencial de fissuração, pois há também aumento da resistência à tração para a maior parte das composições (REPETTE, 2011).

Em um estudo feito por Ferraz (2009 *apud* Seng & Shima, 2005) para avaliar as propriedades de fluência e retração do CAA com diferentes quantidades de fíler calcário, os autores concluíram que a composição do CAA que utilizou maior quantidade de fíler calcário apresentou maior fluência, todavia os coeficientes de fluência foram proporcionais à quantidade de fíler utilizado, ou seja, o CAA apresentou maior fluência em relação à concretos convencionais (Ferraz, 2009).

### 2.3.4 Resistência à aderência da armadura

Almeida Filho (2006) observou em seu estudo que quando da utilização de concretos de alta resistência à compressão, pode ocorrer ruptura frágil na interface aço-concreto. O CAA possui uma melhor capacidade de preenchimento das fôrmas e, conseqüentemente, melhor envolvimento das barras de aço da estrutura, o que isso melhora diretamente a resistência de aderência, tendo em vista que ocorre um acréscimo na adesão e no atrito da barra de aço com o concreto, aumentando a probabilidade de ruptura brusca na interface aço-concreto.

Isa e Aguado (2003) fizeram um estudo sobre a aderência em vigas com CAA, onde concluíram que os concretos autoadensáveis, quando devidamente dosados, apresentam valores de resistência de aderência da mesma ordem de grandeza de outros tipos de concreto. Também verificaram que a aderência destes concretos apresenta uma ruptura frágil, isto é, necessita de recomendações precisas de normas técnicas

A Tabela 6 apresenta os fatores que influenciam na resistência à aderência das armaduras, onde observa-se algumas características do CAA, como o aumento da resistência à compressão e conseqüente aumento da aderência.

Tabela 6 - Fatores que influenciam a resistência à aderência das armaduras

<b>Parâmetro</b>	<b>Comportamento do parâmetro</b>	<b>Comportamento da aderência</b>
Resistência à compressão	Aumento	Aumento
Superfície da barra	Aumento	Aumento
Diâmetro da barra	Aumento	Diminui
Área relativa da nervura	Aumento	Aumento
Posição da barra na concretagem	Horizontal (superior)	Diminui
Idade do ensaio	Aumento	Aumento
Adensamento	Aumento	Aumento
Carregamento Cíclico	Aumento	Diminui

Fonte: Barbosa (2004).

## 2.4 Dosagem do CAA

Estudo de dosagem dos concretos de cimento Portland são os procedimentos necessários para a obtenção da melhor proporção dos materiais que compõem o concreto quando se deseja obter um determinado valor para uma ou mais propriedades no estado fresco

ou endurecido. Este deve ser realizado visando a obtenção de uma mistura ideal e econômica, utilizando os materiais disponíveis na região em que está sendo dosado. Segundo Bakhtiyari *et al.* (2011), a chave para se obter as propriedades adequadas para o CAA é a dosagem correta dos materiais.

Atualmente, não existe uma norma brasileira que defina como deve ser feito um estudo de dosagem para o CAA, sendo que isso tem levado vários pesquisadores a proporem seus próprios métodos. Entretanto, apesar dos vários e diferentes métodos, existem algumas atividades em comum a todos, como por exemplo: o cálculo da resistência média de dosagem, a correlação da resistência à compressão com a relação água/cimento para alguns tipos e classe de cimento, além de ter que sempre levar em consideração a economia e sustentabilidade (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

Existem vários métodos de dosagem do CAA. O primeiro foi desenvolvido por Okamura e Ozawa, em 1995 (KLEIN, 2008). Este método é baseado em três princípios (OKAMURA; MASAHIRO, 2003):

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

A Figura 3 apresenta a comparação entre as proporcionalidades dos materiais (água, finos, areia e brita) no CAA e no CCV para este método.

Figura 3 - Comparação entre as proporções utilizadas no CAA e no CCV



Fonte: Elaborada pela autora e adaptada de Okamura e Masahiro (2003).

Depois outros métodos foram criados, baseando-se no estudo dos agregados e esqueleto granular ótimo, ou na demanda de água dos materiais constituintes, métodos para a produção de concretos convencionais ou concretos de alta resistência (KLEIN, 2008). Dentre

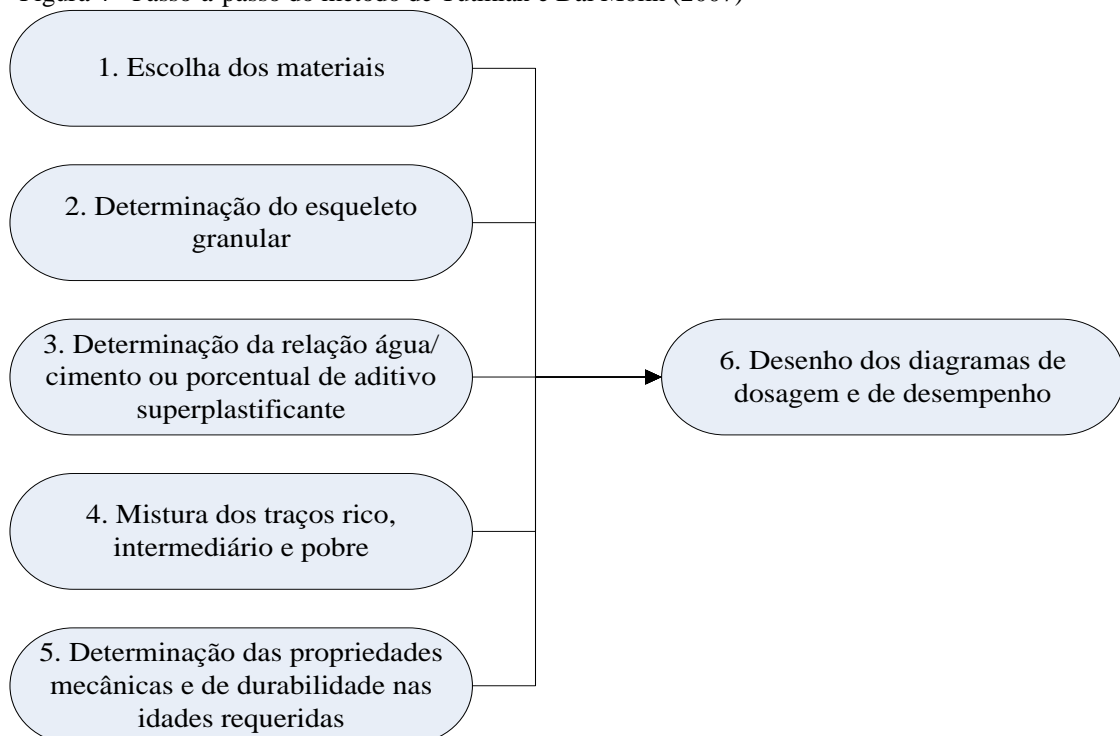
eles destacam-se os métodos de: Peterson *et al.* (1996); Saak, Jennings e Shah (1999); Su, Hsu e Chai (2001); Gomes *et al.* (2002; 2003); Tutikian (2004); Repette-Melo (2005); entre outros. (GOMES; BARROS, 2009).

Apesar de não existir uma norma específica para dosagem de CAA, Tutikian e Dal Molin (2008) consideram que há alternativas suficientes para se dosar um CAA econômico e com propriedades satisfatórias no estado endurecido, pois, além do método proposto pelos autores, conhecido como Tutikian e Dal Molin (2007), existe dois outros métodos recentes, o de Gomes (2002) e Reppete-Melo (2005), que podem auxiliar na dosagem.

A Figura 4 mostra o passo-a-passo resumido do método de Tutikian e Dal Molin (2007), o qual é simples, experimental e permite a utilização de materiais locais, segundo os autores.

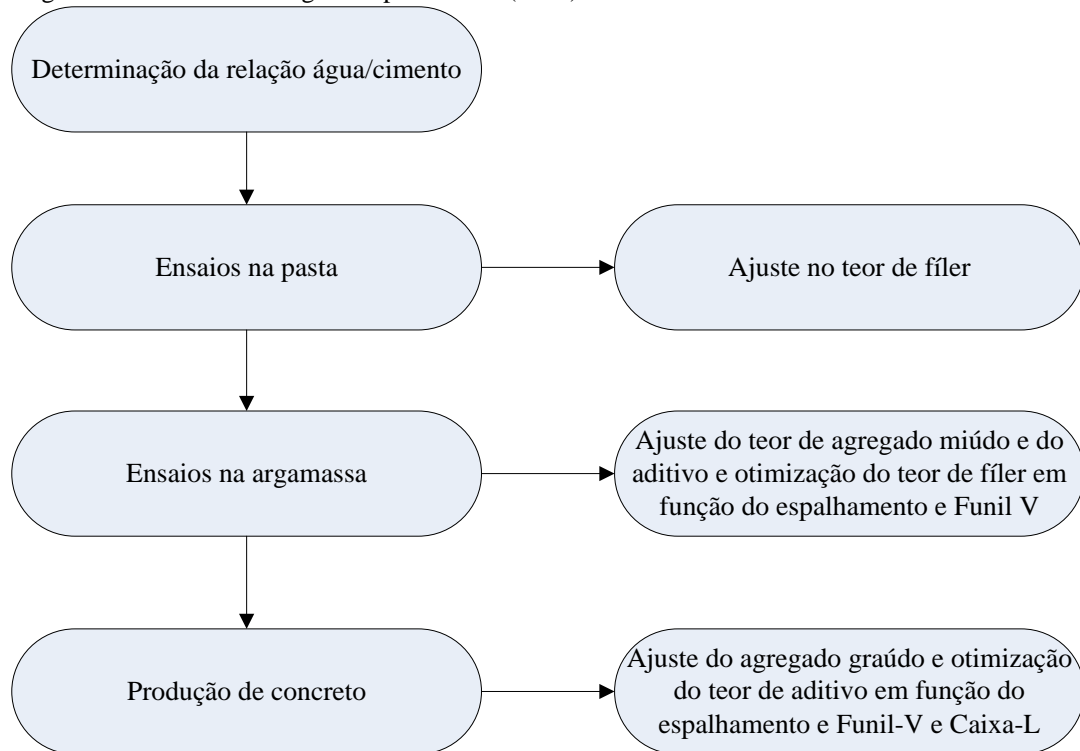
Já a Figura 5 apresenta o método de Repette-Melo (2005). A principal diferença deste método para os outros é que nele não é exigido, em nenhuma de suas etapas, o julgamento subjetivo da qualidade da mistura por parte do usuário. Todos os componentes do concreto são ajustados com base em ensaios rápidos e de custo acessível e em resultados quantitativos e objetivos, eliminando do processo as decisões que dependam da "experiência" de quem utiliza o método (REPETTE, 2005).

Figura 4 - Passo-a-passo do método de Tutikian e Dal Molin (2007)



Fonte: Elaborada pela autora e adaptada de Tutikian & Dal Molin (2008).

Figura 5 - Método de dosagem Repette-Melo (2005)



Fonte: Elaborada pela autora e adaptada de Gomes e Barros (2009).

Contudo, o método escolhido para execução deste trabalho foi o método de Gomes (2002), portanto sua descrição encontra-se no próximo capítulo.

## 2.5 Vantagens e desvantagens da utilização do CAA

As vantagens de optar por essa tecnologia são muitas. Tutikian e Dal Molin (2008) citam vários ganhos diretos e indiretos da utilização do CAA, são eles:

- A rapidez na construção, tendo em vista que o tempo da concretagem é rápido, já que dispensa adensamento;
- Reduz a mão de obra no canteiro porque elimina a vibração, pois não necessita de auxílio para o espalhamento do concreto;
- Melhora o acabamento final da superfície, pois não depende de mão de obra para se espalhar por entre as formas;
- Pode aumentar a durabilidade, tendo em vista que pode evitar manifestações patológicas, como ninhos de pedra (onde a armadura da estrutura pode ficar exposta) resultantes da má vibração;

- Permite grande liberdade de formas e dimensões, pois o CAA preenche fôrmas curvas, esbeltas, com altas taxas de armadura e de difícil acesso;
- Permite concretagens em peças de secções reduzidas;
- Elimina o barulho da vibração, o que é muito importante em grandes centros urbanos, concretagens noturnas ou obras perto de escolas e hospitais;
- Torna o local de trabalho mais seguro em função da diminuição do número de trabalhadores e conseqüente diminuição de riscos de acidentes;
- Permite a prática da sustentabilidade na construção civil porque utiliza em sua composição altos teores de resíduos industriais como cinza volante, escória alto forno ou cinza de casca de arroz e podendo ser considerado um material sustentável;
- Pode reduzir o custo final do concreto e/ou da estrutura, devido à redução de mão de obra e equipamentos no momento da concretagem;
- Pode reduzir o cronograma da obra, já que é preciso menos tempo para a concretagem.

Nunes (2001) considera que os profissionais que fazem parte do processo construtivo podem vir a ter interesse técnico e/ou comercial em utilizar essa tecnologia tendo em vista as várias vantagens.

Contudo, também é preciso levar em consideração as desvantagens da utilização do CAA no momento de optar por essa tecnologia. São elas: a necessidade de mão de obra especializada para produzir, aplicar e fazer controle tecnológico, tendo em vista que os ensaios executados *in loco* para avaliar se o concreto está adequado para lançamento são diferentes dos ensaios feitos comumente nas concretagens com CCV; a necessidade de controle no momento da aplicação é maior quando comparado ao CCV; e, geralmente, apresenta menor tempo disponível para aplicação em relação ao concreto convencional (LISBÔA, 2004).

Nepomuceno (2005) considera que uma das principais desvantagens do CAA quando comparado ao CCV é o elevado custo para a produção, decorrente das altas percentagens de finos presentes em sua composição.

## **2.6 Utilização do CAA no Brasil e no mundo**

O CAA é mais utilizado na indústria de pré-moldados, onde seu desenvolvimento é maior devido a sensibilidade a variações de formas em relação ao CCV. Ambos podem ser

dosados em canteiro de obras ou em centrais de concreto, fazendo com que a facilidade na fabricação seja a mesma. Ainda assim, atualmente, grande parte da utilização do CAA é em obras complexas e em estruturas especiais (TUTIKIAN, 2004).

Segundo Okamura e Masahiro (2003), a primeira aplicação do CAA foi em 1990 em um prédio no Japão. Desde então, a utilização do CAA só tem aumentado. É comumente utilizado em obras grandes por reduzir o tempo de construção e a necessidade de mão de obra. A ponte “Akashi-Kaikyo (Straits)” é um exemplo: foi inaugurada em 1998 como a maior ponte suspensa do mundo, possuindo um comprimento total de 1991 m ( Figura 6). Nunes (2001 *apud* Kashima *et al.*, 1998) afirma que o volume de CAA utilizado nessa ponte foi de 290 mil m<sup>3</sup>. Além de reduzir o tempo de construção de 30 para 24 meses, 20% menos do esperado com a utilização de um concreto convencional.

Figura 6 - Ponte Akashi-Kaikyo no Japão



Fonte: *site* <[www.pinterest.com](http://www.pinterest.com)>.

Outra importante utilização foi no maior arranha-céu já construído pelo homem: Burj Khalifa (Figura 7), localizado em Dubai. O edifício possui 828 metros de altura e teve sua fundação executada com CAA (OLIVEIRA, 2011).

Figura 7 - Edifício Burj Khalifa em Dubai



Fonte: site <<http://www.uxzeal.com>>

As paredes de um grande tanque para gás liquefeito, no Japão, também foram executadas com CAA, cujo volume foi de 12 mil m<sup>3</sup> e o tempo de concretagem foi reduzido de 14 para 10 meses. Ademais, foram executados túneis, viadutos e estradas em vários países, como Suécia e França. Além das várias aplicações citadas, essa tecnologia em concreto também é muito utilizada em recuperação de estruturas antigas, pois são lugares onde não é aconselhável fazer uso de adensamento por correr o risco de uma piora no estado da estrutura ocasionada pela vibração. Um exemplo dessa aplicação é a ponte *The Katelbridge*, na Holanda, que foi recuperada aos 45 anos de idade, no ano de 2002 (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Nunes (2001) afirma que a Suécia está entre os países europeus com mais pesquisas intensivas sobre CAA e maior experiência na sua aplicação em estruturas de concreto armado, seguida pela Holanda, Reino Unido, França, Suíça, Dinamarca e Islândia. Outros países que obtiveram significativo desenvolvimento e aplicaram na prática foram Canadá, Austrália e Tailândia.

No Brasil, não existem muitos registros da utilização do CAA, apesar de haver um aumento, seu uso ainda é pequeno, mas o potencial para aumento da sua utilização cresce a cada dia através de pesquisas e aplicações práticas. Segundo Geyer e Sá (2005), as razões da pequena utilização desta tecnologia até o momento, no Brasil e no mundo, estão ligadas

principalmente aos elevados custos do mesmo, bem como à falta de conhecimento de métodos mais precisos de dosagem e de produção do CAA.

As primeiras aplicações de CAA em edificações no Brasil surgiram a partir de 2004, em cidades como Goiânia, Belo Horizonte, Florianópolis e Porto Alegre (PAUMGARTTEN, 2010).

Dentre as aplicações que se tem notícia no Brasil pode-se citar a concretagem da estrutura de um condomínio composto de três edifícios residenciais de sete pavimentos, totalizando 72 apartamentos, realizada em dezembro de 2004. Toda a estrutura, incluindo pilares, lajes e vigas, foi executada com o CAA, com resistência à compressão aos 28 dias de 20MPa (GEYER; SÁ, 2005). Além do exemplo citado acima, há o Shopping Center Flamboyant, em Goiânia (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008), e o metrô de São Paulo, com laje de 8000 m<sup>3</sup> Figura 8) (FARIA, 2008).

Figura 8 - Laje do metrô de São Paulo



Fonte: Faria (2008).

De acordo com Paumgarten (2010), em Novo Hamburgo (RS), houve uma utilização de CAA na execução da estrutura de um edifício residencial, onde verificou-se que ao todo, os funcionários tiveram 162 horas livres por andar, que foram usadas para acelerar outros tipos de serviços. Em Belém, a utilização foi nas estacas submersas da ponte sobre o Rio Guamá. Já em Belo Horizonte (MG), uma construtora utilizou CAA nas vigas e lajes de uma edificação vertical de 19 andares, onde os resultados mostraram redução da mão de obra, do tempo de concretagem, do custo de locação da bomba, de hora extra e melhor controle de espessura da laje (VIEIRA *et al.*, 2012).

Todavia, a utilização do concreto autoadensável em edificações verticais ainda não é comum no Brasil. Não há muitos casos no Nordeste, especificamente em Fortaleza sabe-se que existem algumas empresas que utilizam o CAA na concretagem de paredes de empreendimento populares, mas não se tem notícia de nenhuma obra de edificação vertical executada com CAA de resistência 30 MPa em toda sua estrutura de concreto armado.

## **2.7 Produtividade da mão de obra**

O aquecimento da Construção Civil no Brasil nos últimos anos fez com que os debates em torno da produtividade da construção tenham se intensificado (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2012). Roman (2013) afirma que a produtividade na construção civil passa por um momento contraditório, tendo em vista que ocorreram melhoras no que se refere à tecnologia, mas a qualidade da mão de obra dificulta a implantação da mesma e, até, o desempenho das empresas. Portanto, para manter o setor aquecido tornou-se consenso que este precisa elevar sua produtividade, ou seja, utilizar de maneira mais eficiente os recursos disponíveis (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2014).

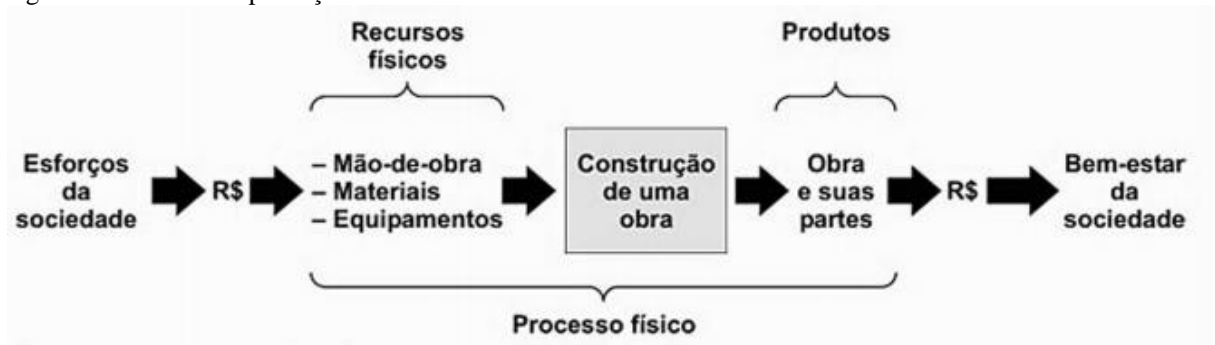
The Mckinsey Global Institute identificou que, para o Brasil fazer parte das principais economias do mundo, tem que eliminar as fortes barreiras da produtividade. Em 2004, um trabalhador brasileiro produzia apenas 18% do que um trabalhador americano (CARVALHO, 2013).

O termo produtividade varia conforme as diferentes áreas de produção, mas a maior parte delas afirma ser a relação entre o que é obtido na saída e o que é consumido na entrada de um sistema físico. Sendo a construção civil um processo produtivo, pode-se representar a produtividade como a entrada de recursos físicos utilizados (materiais, mão-de-obra e equipamentos) e as saídas por uma obra ou serviço, resultado do processo (ARAÚJO, 2000).

Souza (2006) ilustrou genericamente, o processo de produção de obras de edifícios (Figura 9), onde entradas são transformadas em saídas. Observa-se a necessidade de materiais, mão-de-obra e equipamentos (recursos físicos) para viabilizar a produção do edifício e suas partes (produtos físicos); a aquisição dos recursos físicos demanda recursos financeiros e o edifício pode ser vendido e, com isso também gera recursos financeiros. Nas pontas da Figura 9 verifica-se, do lado das entradas, o esforço da sociedade que, por diversos

possíveis caminhos, gerou recursos financeiros para a viabilização do processo; e, do lado das saídas, a obra concluída provavelmente é associável a um benefício para a sociedade (por exemplo, na forma de disponibilização de habitações, ou hospitais, ou estradas, ou pontes, entre outros).

Figura 9 - Processo de produção de obras



Fonte: Souza (2006).

Como a construção civil tem características próprias, necessita de um modelo de produtividade adequado ao setor, com enfoque no alto consumo de mão-de-obra, seu ritmo, e principalmente a influência do meio externo no desempenho da produtividade (THOMAS; YLAKOUMIS, 1987). Entretanto, não existe um padrão conhecido para medir os índices de produtividade da aplicação do concreto, com isso cada empresa busca seus próprios índices, muitas vezes sem critério, fazendo com que os valores encontrados não sirvam de referência.

Todavia, a produtividade da mão-de-obra pode ser vista parcialmente para cada uma de suas partes, além de globalmente para o edifício. Desta forma pode-se analisar a produtividade nos vários serviços que compõem a transformação global. Então, além de analisar a eficiência na produção do edifício como um todo, é possível discutir a produtividade nos vários serviços, como por exemplo fôrmas, armação, concretagem, entre outros.

Neste trabalho foi adotado o indicador denominado razão unitária de produção (RUP) como mensurador da produtividade, relacionando o esforço humano, avaliado em Homens x hora (Hh), com a quantidade de serviço realizado (Equação 1). A escolha desse indicador se deu para que a análise da produtividade fosse padronizada, além de tornar possível a comparação dos resultados com outros estudos existentes na literatura. É importante ressaltar que quanto maior o valor da RUP pior é a produtividade (SOUZA, 2006).

$$RUP = Hh/Q \quad (1)$$

Onde:

RUP = Razão unitária de produção;

Hh = Quantidade de Homem vezes a quantidade de horas de serviço;

Q = Quantidade de serviço.

É possível ter diferentes tipos de RUP em função do período de tempo ao qual se associarão, das entradas e saídas, sendo elas:

—RUP diária: calculada a partir dos valores de homens-hora e quantidade de serviço relativos ao dia de trabalho em análise;

—RUP cumulativa: calculada a partir dos valores de homem-hora e quantidade de serviços acumulados desde o primeiro dia;

—RUP cíclica: calculada para serviços com ciclos bem definidos (como por exemplo o tempo necessário para produzir as formas de um pavimento de um prédio);

—RUP periódica: é calculada por um determinado período (por exemplo uma semana);

Carraro (1998) considera que o estudo da produtividade da mão-de-obra de uma empresa gera benefícios, onde se destaca:

— Revisão do consumo de mão-de-obra;

— Previsão do gasto com mão-de-obra;

— Conhecimento do custo real da obra com avaliação dos resultados;

— A partir das informações, desenvolver e aperfeiçoar os métodos produtivos para os próximos empreendimentos.

## 2.8 Acidentes de trabalho

A indústria da construção civil é um importante setor da economia brasileira, onde existe grande necessidade de uso de mão de obra e são gerados empregos diretos e indiretos. Possui uma cadeia produtiva extensa e complexa, onde atuam empresas de todos os portes (SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA, 2008). De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (Pnad) realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2011, o setor da construção possuía 7,8 milhões de trabalhadores, representando 8,4% do total de ocupados, estimado em 93,4 milhões de pessoas (IBGE, 2012).

Entretanto, a construção civil tem sido responsável por um elevado número de acidentes do trabalho. No Brasil, apesar da ausência de dados estatísticos confiáveis desse

setor, a quantidade de acidentes do trabalho é grande. Existem dois principais fatores que contribuem para que o nível de acidentes na construção seja maior do que nas outras indústrias: as características da mão de obra e as atividades que se desenvolvem nessa área (SOUZA; JÚNIOR, 1999).

As características gerais da mão de obra da indústria da construção civil são: (SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA, 2008):

— Baixo nível de instrução e qualificação profissional, pois a maioria dos colaboradores possui apenas o 1º grau completo, 20% são analfabetos e 72% nunca realizaram cursos e treinamentos;

— Elevada rotatividade no setor, onde a maioria permanece menos de um ano na empresa;

— Alto índice de ausência, sendo 52% por problemas de saúde;

— Problemas com alcoolismo: 54,3% dos colaboradores ingerem bebida alcoólica, 15% abusavam do consumo e 4,4% são dependentes.

Como consequência, a indústria da construção civil ocupa o segundo lugar em número absoluto de acidentes de trabalho em 2010, precedido apenas pela indústria de alimentos e bebidas (TRABALHO SEGURO, 2014).

As quedas em trabalhos de altura representam a maior causa de mortalidade por acidentes não apenas no Brasil, mas provavelmente em todo o mundo (COSTA, 2007). De acordo com Pampalon (2010), 49% dos acidentes de trabalho na construção civil são provenientes de quedas, 16% de soterramento, 7% de choque e 28% de outros.

Levando em consideração que a principal causa de acidentes de trabalho em obras é a queda em altura, o principal motivo de acidentes são as características dos trabalhadores e a atividade que executam, além de ser alta a quantidade necessária de operários para trabalhar em altura no momento da concretagem com CCV (devido a necessidade de adensamento e sarrafeamento, em caso de lajes), pode-se considerar que existe um alto risco de acidentes de trabalho por queda no momento da concretagem.

A utilização do CAA reduz potencialmente o número de colaboradores necessário para execução da concretagem, pois não necessita de adensamento. Além de diminuir também o tempo da concretagem. Então, a utilização do CAA em obras de edificação vertical poderá reduzir potencialmente o risco de acidente de trabalho por queda em altura.

### **3 METODOLOGIA**

A metodologia dividiu-se em quatro etapas. A primeira refere-se à realização de uma pesquisa de opinião; a segunda, à dosagem laboratorial do CAA; a terceira, à aplicação do CAA em uma obra de edificação vertical, que utilizava o CCV; e a quarta refere-se à análise comparativa entre o CAA e o CCV.

#### **3.1 Pesquisa de opinião sobre a utilização do CAA em Fortaleza**

A primeira etapa desse estudo foi a realização de uma pesquisa, em parceria com o Sinduscon-CE, visando a obtenção de dados no Ceará no que se refere a utilização do CAA. O Sinduscon-CE encaminhou um questionário, o qual encontra-se no Apêndice A, via e-mail, para todas as construtoras afiliadas sobre a utilização do CAA em suas obras e seu interesse no assunto.

O objetivo dessa pesquisa é avaliar o nível de conhecimento e interesse das construtoras do Ceará no que se refere ao CAA, além de tornar viável a avaliação do mercado quanto a utilização do CAA em edificações verticais para que ocorra de forma rotineira.

#### **3.2 Dosagem do CAA**

##### **3.2.1 Materiais utilizados**

A segunda etapa da pesquisa foi fazer a dosagem do CAA com os materiais da região. Para tanto, foram utilizadas a areia e a brita da concreteira parceira desse estudo, que foram transportados para o Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da UFC, onde foram caracterizados. Todavia, parte dos materiais (cimento, fíler calcário e aditivos) teve sua caracterização físico-química fornecida pelo fabricante.

O cimento utilizado foi tipo Portland CP II-F-32, pois é o atualmente utilizado pela concreteira nas dosagens de concreto convencional para as obras de edificação de Fortaleza. A utilização deste cimento é bastante comum e seu uso é frequente na Região Metropolitana de Fortaleza. As características químicas e físicas foram fornecidas pelo fabricante e se apresentam nas Tabelas 7, 8 e 9.

Tabela 7 - Características químicas do cimento

<b>Ensaio Químico</b>		
	<b>Valores (%)</b>	<b>Limites de Norma (NBR 11578)</b>
PF	4,9	< 6,5
MgO	3,41	< 6,5
SO <sub>3</sub>	3,15	< 4,0

Fonte: Elaborada pela autora e adaptada de Votorantim Cimentos (2014).

Tabela 8 - Ensaio físicos do cimento 1

<b>Ensaio Físico</b>						
	<b>Resistência à compressão (MPa)</b>			<b>Finura (%)</b>		<b>Blaine (cm<sup>2</sup>/g)</b>
	3 dias	7 dias	28 dias	#200	#325	
Média	31,5	35,3	39,4	1,83	9,33	4568
Limites de Norma	Não aplicável	> 10	> 20	< 12	Não aplicável	> 2600

Fonte: Elaborada pela autora e adaptada de Votorantim Cimentos (2014).

Tabela 9 - Ensaio físicos do cimento 2

<b>Ensaio Físico</b>			
<b>Água de consistência (%)</b>	<b>Tempo de pega</b>		<b>Expansibilidade a Quente (mm)</b>
	<b>Início (hrs)</b>	<b>Fim (hrs)</b>	
27,49	02:05	03:04	0,38
Não aplicável	> 1	< 10	< 5

Fonte: Elaborada pela autora e adaptada de Votorantim Cimentos (2014).

O agregado miúdo utilizado foi uma areia quartzosa proveniente de leito de rio. A areia foi colocada em estufa para garantir que estivesse totalmente seca quando fosse utilizada nos ensaios, sendo peneirada na peneira de malha #4,8 mm, para que qualquer grão com diâmetro superior a esta malha fosse retirado, pois este é considerado o diâmetro máximo estabelecido pela NBR 7211 (ABNT, 2009) para um agregado miúdo.

O agregado graúdo é de origem granítica. Esse material foi utilizado na granulometria que foi entregue, sem passar por nenhuma peneira, pois assim é possível reproduzir uma dosagem real e prática, já que nas centrais dosadoras de concreto a brita não passa por nenhum procedimento.

As Tabelas 10 e 11 apresentam a granulometria do agregado miúdo e graúdo respectivamente, e a Tabela 12 apresenta os índices físicos de ambos.

Tabela 10 - Granulometria da areia

<b>Peneira #</b>	<b>% Retida média</b>	<b>% Retida acumulada</b>
4,8	1,2	8
2,36	5,0	13
1,18	13,7	27
0,6	33,7	60
0,3	30,9	91
0,15	5,4	97
FUNDO	3	100
D. MÁX.		6,3
MF		2.96

Tabela 11 - Granulometria da brita

<b>Peneira #</b>	<b>% Retida média</b>	<b>% Retida acumulado</b>
12,7	0,3	0,3
9,5	11,8	12,0
6,3	46,1	58,1
4,8	20,5	78,6
2,36	16,6	95,2
1,18	2,6	97,8
0,6	0,5	98,3
0,3	0,5	98,8
0,15	0,5	99,3
FUNDO	8	
MF		5,8
D.MAX.		12,7

Tabela 12 - Índices físicos da areia e da brita

<b>Índice Físico</b>	<b>Areia</b>	<b>Brita</b>	<b>Método de ensaio</b>
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,60	2,69	NBR NM 52 e 53
Massa unitária no estado solto (g/cm <sup>3</sup> )	1,52	1,45	NBR NM 45
Massa unitária compactada (g/cm <sup>3</sup> )	-	1,53	

A adição mineral utilizada foi o carbonato de cálcio natural cretáceo, de origem sedimentar marinha, com elevada pureza, o qual é aplicado como fíler em produtos diversos. Sua estrutura é cristalina e a massa específica é 2,7 g/cm<sup>3</sup>, segundo dados do fornecedor. A

principal característica desse material é a facilidade de incorporação do fíler calcário que resulta em um bom acabamento do produto final. As características físicas e químicas estão descritas na Tabela 13 e Tabela 14, respectivamente.

Tabela 13 - Características físicas do fíler calcário

<b>Características</b>		
<b>Físicas</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Umidade	0,3 máx.	%
Densidade aparente	1,2 máx.	g/cm <sup>3</sup>
pH	9	-

Fonte: Elaborada pela autora e adaptada de Carbomil (2012).

Tabela 14 - Características químicas do fíler calcário

<b>Características Químicas</b>	<b>Especificação (%)</b>
CaCO <sub>3</sub>	96-98,5
MgCO <sub>3</sub>	3,1 máx.
RI ( Insolúvel em HCl )	1,0 máx.
SiO <sub>2</sub>	0,4 máx.
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,6 máx.

Fonte: Elaborada pela autora e adaptada de Carbomil (2012).

Os aditivos utilizados na pesquisa foram: um superplastificante de terceira geração à base de policarboxilato, livre de cloretos e com 40% (em média) de sólidos; e um aditivo plastificante multifuncional retardador de pega que age como um agente dispersor das partículas de cimento, evitando sua aglomeração e reduzindo a tensão superficial da água da mistura. As informações referentes aos aditivos superplastificante e plastificante foram fornecidas pelo fabricante e constam na Tabela 15 e Tabela 16, respectivamente.

Tabela 15 - Características do superplastificante

<b>Característica</b>	<b>Especificação</b>
pH	6
Densidade à 20°C	1,1 g/cm <sup>3</sup>
Solubilidade	Solúvel em água

Fonte: Elaborada pela autora e adaptada de Basf (2014).

Tabela 16 - Características do plastificante

<b>Característica</b>	<b>Especificação</b>
pH	9,3
Densidade à 20°C	1,2 g/cm <sup>3</sup>
Solubilidade	Solúvel em água

Fonte: Elaborada pela autora e adaptada de Mc-bauchemie (2012).

A água utilizada nos ensaios foi proveniente do sistema de abastecimento público da cidade de Fortaleza/CE.

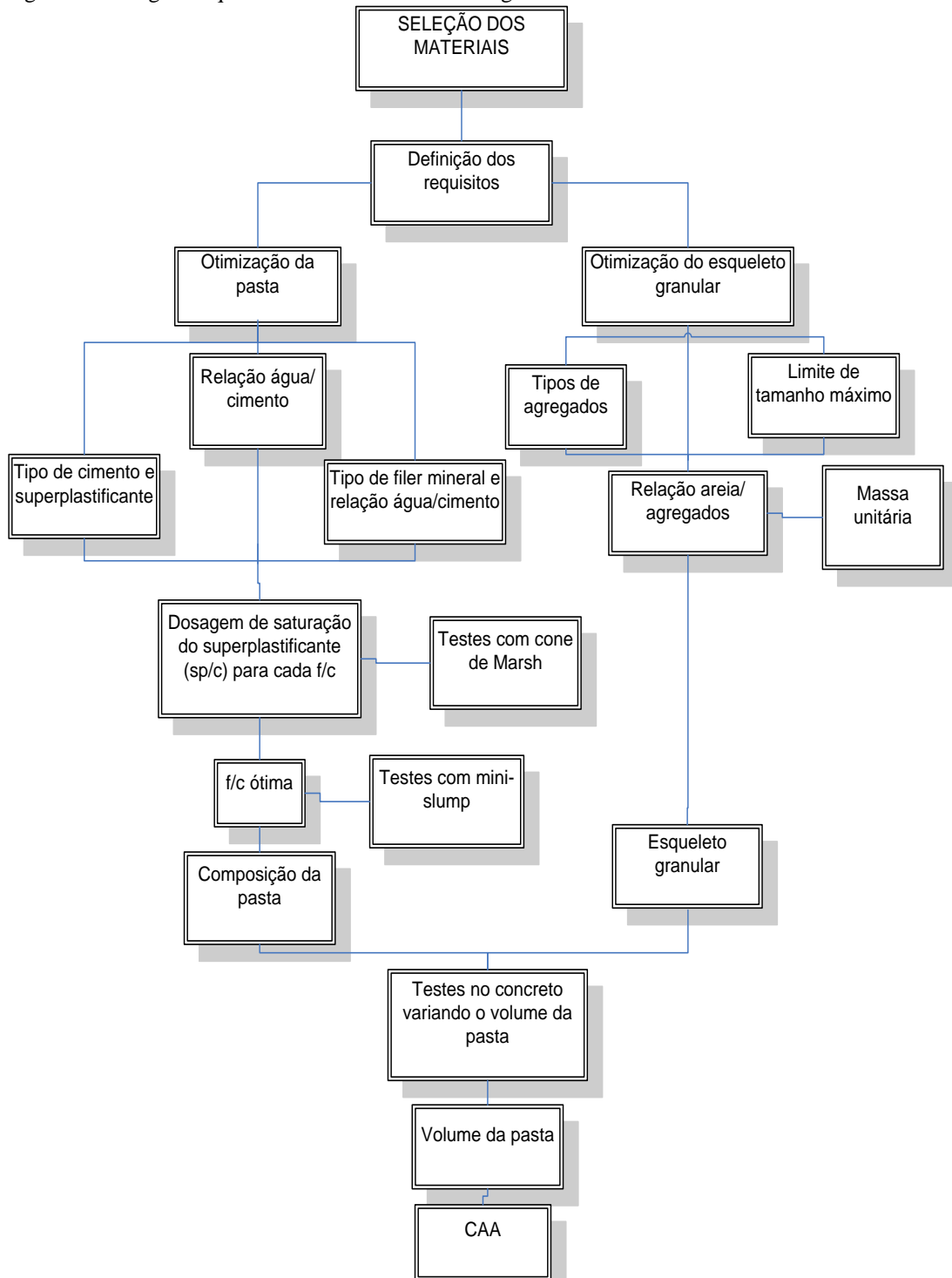
### 3.2.2 *Dosagem do CAA*

A dosagem baseou-se no método proposto por Gomes (2002), o qual é indicado para concretos de alta resistência, mas foi utilizado para dosagem de concreto de resistência convencional. Este método é dividido em três fases: obtenção da composição da pasta, determinação da proporção da mistura e seleção do conteúdo da pasta.

A Figura 10 apresenta o passo a passo utilizado nesse método, onde primeiramente devem ser definidos: a relação água/cimento; o tipo de cimento, o superplastificante, o fíler e a relação fíler/cimento (f/c). Depois deve-se fazer testes com o cone de Marsh ( Figura 11) para a dosagem adequada do superplastificante para cada relação f/c e, com a relação f/c ótima encontrada, faz-se os testes com o *mini-slump*, obtendo-se a composição da pasta. É necessário definir os tipos e tamanhos dos agregados para descobrir a relação areia/agregados através da massa unitária (esqueleto granular).

Após a composição da pasta e do esqueleto granular encontrados faz-se testes com o concreto para encontrar o volume adequado de pasta e, então, obtém-se o traço de CAA. O traço foi dosado para que o concreto atinja resistência à compressão de 30 Mpa aos 28 dias.

Figura 10 - Diagrama que descreve o método de dosagem de Gomes *et al.*



Fonte: Elaborada pela autora e adaptada de Gomes e Barros (2009).

Figura 11 - Ensaio Cone de Marsh em laboratório



Entretanto, na dosagem experimental foi possível perceber, através do ensaio *slump flow*, que a quantidade de areia estava alta e, por isso, foram executados traços experimentais, onde a areia foi reduzida na proporção de 0,10 Kg em 0,10 Kg até a aparência do concreto ficar uniforme e sem segregação.

Para verificar o comportamento do CAA no lançamento em fôrmas foi executado um pequeno pilar em laboratório de dimensões 1,5x0,2x0,2 m (altura x largura x espessura), composto por 4 barras de aço de 8 mm de diâmetro e estribos de 6.3 mm a cada 15 cm. Com isso foi possível fazer uma avaliação do resultado do comportamento do concreto no que tange ao acabamento superficial, incidências de manifestações patológicas e facilidade de manuseio.

### **3.3 Estudo de caso da aplicação do CAA em uma obra de edificação vertical**

O estudo de caso foi realizado em uma obra de edificação vertical, da construtora JVS Engenharia Ltda., em Fortaleza-CE. Foram executadas duas concretagens com CAA e uma com CCV para comparação, conforme abaixo:

- Primeira concretagem com CAA: laje e vigas do 4º teto e pilares do 3º para o 4º teto;

– Segunda concretagem com CAA: laje e vigas do 5º teto, e pilares do 4º para o 5º teto e;

– Concretagem com CCV: laje e vigas do 6º teto e pilares do 5º para o 6º teto.

A fornecedora de concreto foi a mesma durante toda a fase de estrutura da obra.

A implantação dessa inovação tecnológica foi árdua, devido à falta de estrutura na cadeia produtiva de concreto e, por essa razão, a construtora optou por aplicar o CAA apenas em duas lajes do empreendimento, quando poderia ter aplicado em toda a estrutura desse empreendimento.

### 3.3.1 Características do empreendimento

Algumas características do empreendimento estão abaixo:

- Quantidade de blocos: 2
- Números de pavimentos tipo: 7
- Número de unidades por bloco: 56
- Área das unidades: 51,76 m<sup>2</sup>; 61,35 m<sup>2</sup>; 64,20 m<sup>2</sup>; 56,78 m<sup>2</sup>; 63,36 m<sup>2</sup>; 66,21 m<sup>2</sup>
- Área das coberturas duplex: 126,72 m<sup>2</sup>; 129,27 m<sup>2</sup>; 122,88 m<sup>2</sup>; 121,42m<sup>2</sup>; 130,76m<sup>2</sup>
- Volume de concreto de projeto por pavimento:
  - Laje: 61 m<sup>3</sup>
  - Vigas: 27,5 m<sup>3</sup>
  - Pilares: 16 m<sup>3</sup>
  - Escada: 1,1 m<sup>3</sup>
  - Total: 105,6 m<sup>3</sup>
- Especificação do concreto: fck igual a 30 MPa

### 3.3.2 Processo de recebimento, lançamento e cura do concreto

Devido à distância da concreteira até a obra, foi decidido que o concreto chegaria na obra como concreto convencional, sem o aditivo superplastificante, para evitar a perda da autoadensabilidade. O resultado delimitado para o *slump test* para este concreto dito convencional foi S50 (8±1 cm). Então, após comprovação desta trabalhabilidade, o aditivo superplastificante foi adicionado ao concreto, ficando cerca de 5 minutos misturando no caminhão (Figura 12). Posteriormente foram executados os seguintes ensaios: *slump flow*, T

500, caixa em L e Funil V, e após aprovação dos resultados o concreto era lançado através da bomba lança nas formas da estrutura. Convém destacar que por razões de otimização de tempo, todos os ensaios foram executados somente no concreto do primeiro caminhão betoneira, sendo nos demais realizado apenas o *slump flow* após a adição do superplastificante.

Figura 12 - Colocação do aditivo superplastificante na obra



Não foi possível concluir a 1ª concretagem com CAA, pois a quantidade de adição mineral (fíler) acabou e, como não é um material corriqueiramente utilizado pela concreteira, não tinha como repor. Esse material foi, inclusive, comprado pela construtora, mas na quantidade exata solicitada para a concretagem. Então, foram lançados 12 caminhões betoneira com 8 m<sup>3</sup> de CAA e 2 com 8 m<sup>3</sup> de CCV, onde o 13º caminhão betoneira foi com concreto fluido para facilitar o lançamento e o 14º caminhão betoneira foi concreto convencional por motivos alheios à autora.

Então, visando a continuidade da implantação do novo processo construtivo e na esperança de dirimir os problemas que ocorreram na 1ª concretagem, a construtora consentiu em executar outra concretagem com CAA. Contudo, as dificuldades se mantiveram. O fíler acabou novamente, pois a quantidade comprada pela construtora visava 14 caminhões de 8 m<sup>3</sup> de concreto, mas três caminhões apresentaram problemas: o primeiro teve seu *slump* muito elevado; o segundo, devido a problemas mecânicos no caminhão, extrapolou o prazo permitido para o seu lançamento (3 horas) e; o terceiro iniciou a pega do concreto dentro do caminhão, antes de iniciar o lançamento. Por conta disso os três últimos caminhões betoneira foram de CCV.

O processo de cura seguiu o mesmo padrão do concreto convencional já utilizada pela construtora: a cura úmida. Após o endurecimento superficial do concreto foi mantida uma lâmina de água durante 3 dias para evitar a perda de água do concreto e por mais 4 dias, completando o total de 7 dias para a cura, o concreto foi molhado pelo menos 2 vezes ao dia.

Na 3ª concretagem, executada toda com CCV, foi feito o ensaio *slumpt test* em todos os caminhões betoneira, para verificar a trabalhabilidade do concreto antes do lançamento. Foram necessários 15 caminhões betoneiras com 8 m<sup>3</sup> de concreto, totalizando a quantidade de 120 m<sup>3</sup> na concretagem. A cura, como citado anteriormente, foi úmida.

### **3.3.3 Controle tecnológico**

O controle tecnológico dos concretos utilizados foi executado por uma empresa especializada. Não houve dificuldade na execução dos novos ensaios para o recebimento do CAA. Como já mencionado, foram realizados os seguintes ensaios no CAA no estado fresco: *slump flow*, Caixa em L e Funil V. Foram moldados 6 corpos de prova por caminhão betoneira para rompimento à compressão aos 3, 7 e 28 dias, contudo os corpos de prova que deveriam ser rompidos no 3º dia foram rompidos somente no 4º e 5º dia devido à alguns feriados.

A 3ª concretagem se deu toda com CCV, onde o processo de recebimento também foi feito por uma empresa de controle tecnológico, a qual executou o *slump test* para cada caminhão betoneira. Também se fez a moldagem de 6 corpos de prova por caminhão betoneira para rompimento à compressão aos 3, 7 e 28 dias.

## **3.4 Análise comparativa entre CAA e CCV**

Para fazer uma análise sobre a produtividade, as vantagens e desvantagens da utilização do CAA em comparação com a utilização do CCV, foram analisados e levados em consideração os seguintes itens: quantidade de mão de obra e os custos relacionados a esta; segurança na realização do trabalho; quantidade de ferramentas e equipamentos utilizados na concretagem; tempo e custos totais para finalização das peças concretadas.

### **3.4.1 Mão de obra**

Segundo Alcoforado (2013), a forma mais direta de se medir a produtividade é através da quantificação da mão-de-obra necessária pela demanda de tempo. Ainda segundo este autor, o cálculo do número de homens-hora demandados é, resumidamente, a multiplicação do número de homens envolvidos pelo período de tempo de dedicação ao serviço.

A produtividade de mão de obra foi medida por um índice parcial, denominado Razão Unitária de Produção (RUP), em que a razão é expressa como homens-hora despendidos por quantidade de serviço realizado. No presente trabalho foi considerado o m<sup>3</sup> do concreto para a quantidade de serviço realizado. A RUP considerada para o serviço de concretagem foi a RUP cíclica, em que se analisa o ciclo de execução do serviço (DANTAS; SOUZA, 2003).

Todavia, foi preciso padronizar a forma de avaliação da RUP. Para tanto, foram padronizados quatro aspectos, sendo eles:

- Definições de quais Homens estão inseridos na avaliação, ou seja quais colaboradores e sua função na obra;
- A quantificação das horas de trabalho a serem consideradas;
- A quantificação do serviço;
- A definição do período de tempo ao qual as mensurações de entradas e saídas se referem.

Foi levada em consideração a quantidade de horas despendidas do início ao término do lançamento do concreto, atrelados ao valor Homem/hora. A precisão de considerar somente o tempo de lançamento se deu por conta do atraso em demasia dos caminhões e para que fosse possível a avaliação de forma direta dos tipos de concretagem, pois os atrasos se devem a fatores externos. Além disso, foi mensurado o valor de perda do concreto através da comparação da quantidade de concreto utilizada em cada concretagem.

O tempo e custo da mão de obra para análise foi considerado até momento em que a concretagem atingiu 88 m<sup>3</sup> em todas as concretagens, pois dessa forma foi possível fazer uma comparação verídica entre os tipos de concreto. Levando em consideração que não foi possível concluir a 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> concretagem com CAA, sendo 88 m<sup>3</sup> a menor quantidade de CAA utilizada entre as concretagens.

O quadro de funcionários pertencentes a administração da obra foi o mesmo para as três concretagens, o qual é formado por: um técnico em edificações, um técnico em segurança do trabalho, um mestre, um almoxarife e um estagiário de engenharia civil. Apesar

de ser o mesmo quadro para todas as concretagens, o custo aumenta de acordo com o tempo da concretagem. A Tabela 17 apresenta o quadro administrativo e suas devidas funções no dia da concretagem. O valor Homem/hora foi considerado de acordo com os respectivos salários e encargos fornecidos pela construtora.

Tabela 17 - Quadro administrativo das 3 concretagens

<b>Quant.</b>	<b>Cargo</b>	<b>Função</b>
1	Engenheiro	Supervisão
1	Técnico	Coordenação
1	Mestre	Acompanhar a equipe
1	Almoxarife	Receber os caminhões betoneira
1	Técnico de segurança do trabalho	Segurança dos operários
1	Estagiário	Receber os caminhões betoneira

Entretanto, a quantidade de colaboradores envolvidos diretamente com o processo variou. Na primeira concretagem o quadro estava maior por precaução, porquanto era a primeira vez que a construtora utilizaria o CAA e existia o receio de surgir algum imprevisto com relação a autoadensabilidade do concreto e ser preciso voltar a utilizar o CCV, mas não houve problemas em relação a autoadensabilidade do concreto. Contudo, foi preciso utilizar CCV para concluir a concretagem, pois a quantidade de adição não foi suficiente.

Na segunda concretagem, já mais confiante, o número de funcionários foi reduzido pela administração vista que a necessidade de mão de obra foi menor. Já na concretagem com CCV o quadro foi o padrão da obra - já utilizado para as outras lajes do mesmo empreendimento. A distribuição dos colaboradores por função exercida está na Tabela 18.

Tabela 18 - Distribuição dos colaboradores não administrativos da obra nas 3 concretagens

<b>Cargo</b>	<b>Núm. de colaboradores</b>			<b>Função</b>
	<b>1ª CAA</b>	<b>2ª CAA</b>	<b>CCV</b>	
Ferreiro	1	1	1	Acompanhamento da ferragem
Carpinteiro	1	1	2	Revisão das formas
Pedreiros	2	2	3	Sarrafeamento
Servente	1	1	1	Mangueira da bomba lança
Serventes	4	2	4	Puxando/sarrafeando o concreto
Serventes	-	-	4	Vibrador
Aux. Eletricista	-	-	1	Manutenção de vibradores/possível instalação provisória

TOTAL	9	7	16
-------	---	---	----

---

### **3.4.2 *Acidentes de trabalho***

Determinou-se um índice para mensurar a possibilidade de acidentes de trabalho por queda no momento da concretagem criado pela autora para este estudo, sendo ele a quantidade de colaboradores trabalhando em altura versus o tempo necessário para concluir suas atividades.

### **3.4.3 *Ferramentas e equipamentos***

Para mensurar e avaliar a utilização de ferramentas e equipamentos, foram registrados os seguintes dados:

- Atrasos do caminhão betoneira devido à quebra de equipamentos ou devido à devolução de caminhão com concreto, caso não atenda à algum requisito previsto em Norma;
- Tempo para descarregar cada caminhão;
- Tempo de espera para cada caminhão;
- Tempo total da concretagem, do início do descarregamento do primeiro caminhão até o término do último;
- Valor de aluguel dos vibradores, onde foi considerado o valor de R\$66,0 por diária de cada equipamento;
- Valor do volume unitário (R\$/m<sup>3</sup>) do concreto cobrado pela concreteira, onde foi considerado o valor de R\$280,0 para o CCV e R\$332,50 para o CAA.

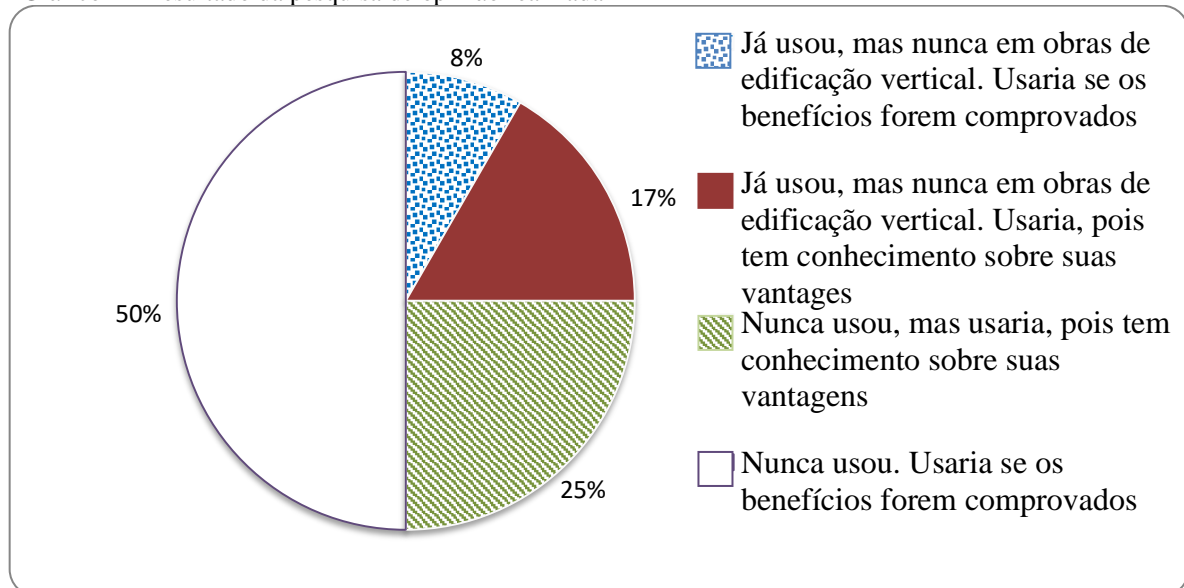
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados da pesquisa de opinião; dos ensaios executados no estado fresco e endurecido na dosagem do CAA em laboratório, assim como a adaptação do traço para atender às necessidades da obra; do estudo de caso, onde foi analisado o transporte realizado pela concreteira, assim como o processo de recebimento, lançamento, cura e controle tecnológico do CAA. Além disso, são apresentados os dados coletados para a comparação entre os dois tipos de concreto (CAA e CCV) utilizados, sendo eles: tempo de execução, mão de obra e custos.

### 4.1 Pesquisa de opinião sobre a utilização do CAA em obras de edificações verticais em Fortaleza

O Gráfico 2 apresenta o resultado da pesquisa de opinião realizada junto ao Sinduscon/CE.

Gráfico 2 - Resultado da pesquisa de opinião realizada



Conforme os dados do Gráfico 2 percebe-se que nenhuma construtora respondente utilizou o CAA em uma obra de edificação vertical, mas é unânime a informação de que todas as empresas têm interesse no uso dessa tecnologia, se comprovado seus benefícios em comparação à utilização do CCV.

Segundo as respostas da pesquisa de opinião realizada, a falta de preparo das fornecedoras de concreto e a falta de um estudo de dosagem com materiais disponíveis na região são os prováveis motivos para que as construtoras ainda não tenham utilizado o CAA. Com isso, constata-se que não há rejeição para o uso do CAA em obra de edificação vertical por parte das construtoras e, portanto, há espaço no mercado para sua utilização.

Sabe-se que as empresas construtoras que já utilizaram o CAA o fizeram em obras de habitação de interesse social, onde a resistência à compressão do concreto é mais baixa do que a comumente utilizada na estrutura de concreto armado em edificações verticais.

Com isso, verifica-se que a utilização do CAA em edificações verticais possivelmente seria bem aceita no mercado de Fortaleza.

## 4.2 Dosagem do CAA

Tem-se na Tabela 20 - Traço de CAA encontrado na dosagem experimentalTabela 20Tabela 19 o traço convencional do concreto utilizado rotineiramente pela fornecedora de concreto em obras de edificação vertical. Este traço é oriundo da carta de traços da mesma.

Tabela 19 – Traço do concreto convencional

<b>Material</b>	<b>Consumo por m<sup>3</sup> de concreto</b>	<b>Unidade</b>
Cimento	349	Kg
Areia	787	Kg
Brita 1	749	Kg
Brita 0	249	Kg
Aditivo superplastificante	2,16	L
Água	188	L

Na Tabela 20 - Traço de CAA encontrado na dosagem experimentalTabela 20 apresenta-se o traço obtido na dosagem em laboratório, onde o esqueleto granular resultou em 50% de areia e 50% de brita. Entretanto, este traço foi adaptado pela autora na usina de concreto, em conjunto com o responsável técnico da mesma, para se adequar às necessidades da obra e da fornecedora de concreto.

Tabela 20 - Traço de CAA encontrado na dosagem experimental

<b>Material</b>	<b>Consumo por m<sup>3</sup> de concreto</b>	<b>Unidade</b>
Cimento	432,0	Kg
Fíler Calcário	129,6	Kg
Areia	777,6	Kg
Brita 12,7	777,6	Kg
Aditivo superplastificante	4,9	L
Água	216,0	L

Os ensaios executados no estado fresco para a aceitação do traço dosado em laboratório, assim como seus resultados, classificação e métodos de ensaio estão apresentados na Tabela 21. A Figura 13 apresenta o estado do CAA no ensaio de *slump flow* em laboratório e a Figura 14 apresenta o ensaio anel J executado em laboratório.

Tabela 21 - Resultado dos ensaios do CAA no estado fresco

<b>Ensaio</b>	<b>Resultado</b>	<b>Classificação</b>	<b>Método de ensaio</b>
<i>Slump Flow</i> (mm)	690	SF 2	ABNT, 2010 a
T <sub>500</sub> (s)	1,8	VS 1	ABNT, 2010 a
Funil V (s)	5	VF 1	ABNT, 2010 b
Caixa em L (cm)	0,8	PL 2	ABNT, 2010 c
Anel J (mm)	685	PJ 2	ABNT, 2010 f

Figura 13 - Ensaio *slump flow* no laboratório

Figura 14 - Ensaio Anel J no laboratório



A Figura 15 apresenta o ensaio da Caixa em L em laboratório. Observa-se que o concreto passou por entre os obstáculos sem bloqueio de passagem.

Figura 15 - Ensaio Caixa em L em laboratório



Os resultados dos ensaios executados no estado endurecido são apresentados na Tabela 22. A Figura 16 apresenta um corpo de prova após o rompimento, sendo possível verificar que o agregado graúdo ficou distribuído uniformemente em toda a extensão do

mesmo, o que significa que não houve segregação, também não aprisionou ar em excesso e não teve ponto frágil, pois rompeu na direção vertical.

Tabela 22 - Resultado dos ensaios do CAA no estado endurecido

<b>Ensaio</b>	<b>Resultado</b>	<b>Método de ensaio</b>
Absorção (%)	4,65	NBR 9778 (ABNT, 2009)
Índice de vazios (%)	10,4	NBR 9778 (ABNT, 2009)
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,21	NBR 9778 (ABNT, 2009)
Resistência à compressão aos 3 dias (MPa)	33,4	NBR 5739 (ABNT, 2007)
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	41,7	NBR 5739 (ABNT, 2007)

Figura 16 - Aspecto do corpo de prova de CAA



A Figura 17 apresenta um pilar executado em laboratório com o CAA produzido, onde verifica-se um acabamento liso e livre de bolhas ou falhas de concretagem, ou seja, indicando o bom auto adensamento do concreto.

Figura 17 - Aspecto do pilar confeccionado em laboratório



O traço produzido em laboratório foi testado em caminhões betoneira, na sede da fornecedora de concreto, para análise do seu comportamento *in loco* e, assim, evitar possíveis imprevistos no dia da concretagem. Foi necessário fazer algumas alterações no traço, sendo estas: a incorporação de um aditivo plastificante para manutenção da trabalhabilidade do concreto, pois surgiu a necessidade de fazer com que o concreto chegasse na obra como CCV, pois, como visto no teste feito no caminhão betoneira na sede da concreteira, havia a possibilidade de segregação do concreto no percurso que o caminhão faria se já saísse como CAA; a conseqüentemente a redução da quantidade do aditivo superplastificante e água. Reduziu-se a quantidade de cimento e aumentou-se a quantidade de brita e areia, tendo em vista que a mistura produzida pelos caminhões betoneira é mais eficiente que a da betoneira do laboratório, possibilitando reduzir a quantidade de finos do concreto, reduzindo conseqüentemente os custos da concreteira.

O traço encontrado após os testes realizados *in loco* está apresentado na Tabela 23, sendo este utilizado na execução das concretagens na obra.

Tabela 23 - Traço de CAA corrigido

<b>Material</b>	<b>Consumo por Unidade</b>
-----------------	----------------------------

<b>m<sup>3</sup> de concreto</b>		
Cimento CP II F-32	406,0	Kg
Fíler Calcário Carbomil	125,0	Kg
Areia	779,0	Kg
Brita 9,5	819,0	Kg
Aditivo Plastificante Muraplast FK-820	2,0	L
Aditivo Superplastificante SCC-160	2,7	L
Água	200,0	L

### 4.3 Resultados dos ensaios no estado fresco, endurecido e aspecto das peças concretadas

#### 4.3.1 Resultado dos ensaios no estado fresco

Os resultados dos ensaios no estado fresco do primeiro caminhão betoneira das duas concretagens com CAA estão apresentados na Tabela 24. Os resultados dos ensaios T 500, Funil V e Caixa em L, mostram que o concreto é adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura, além de ser adequado para a maioria das aplicações, como vigas, pilares, entre outros.

Tabela 24 - Resultado dos ensaios executados no estado fresco na 1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> concretagem com CAA

Concretagem com CAA	T 500 (s)	Funil V (s)	Caixa em L (com 3 barras)	Classificação (NBR 15823)
1 <sup>o</sup>	1,6	2,8	0,8	VS 1/ VF1/PL2
2 <sup>o</sup>	1,7	3	0,8	VS 1/ VF1/PL2

Como mencionado na metodologia, nas 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> concretagens com CAA, a partir do 2<sup>o</sup> caminhão betoneira mediu-se apenas o *slump flow* do CAA, cujo resultados estão apresentados na Tabela 25 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Tabela 26 - Resultado do *slump flow* na 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> concretagem

Carro N <sup>o</sup>	<i>Slump Flow</i> 1 <sup>a</sup> CAA (cm)	Classe de espalhamento (NBR 15823)	<i>Slump Flow</i> 2 <sup>a</sup> CAA (cm)	Classe de espalhamento (NBR 15823)
1	62,5	SF1	64	SF1
2	60,5	SF1	69,5	SF2
3	68	SF2	67,5	SF2

4	70	SF2	61,5	SF1
5	70	SF2	66	SF2
6	68	SF2	71	SF2
7	69	SF2	72,5	SF2
8	72	SF2	71	SF2
9	65	SF1	67,5	SF2
10	68	SF2	65,5	SF1
11	68	SF2	67	SF2
12	71	SF2	-	-
Média	67,7	Média	67,5	

Era esperado que todos os CAA produzidos fossem classificados em SF2 (*slump flow* de 660 mm a 750 mm), pois esta foi a categoria escolhida e é indicado para a maioria das aplicações (pilares, vigas e lajes), mas em três caminhões de cada concretagem obteve-se a classificação SF1 (550 a 650 mm), contudo com valores próximos ao limite entre as classificações SF1 e SF2. O resultado não influenciou de forma negativa o lançamento, pois o concreto se comportou de forma adequada e, após a retirada das formas, as superfícies apresentaram-se lisas, bem acabadas e nenhuma manifestação patológica do tipo ninho de pedra foi observada.

Os resultados do *slump flow* obtidos na 2ª concretagem foram similares aos resultados da 1ª, apenas três dos onze resultados foram SF1, sendo o restante SF2. O resultado final da concretagem também atendeu ao esperado.

A Figura ilustra o ensaio de *slump flow* de um dos concretos de um dos caminhões betoneira, enquanto que a Figura 19 apresenta a borda do CAA após o ensaio, onde observa-se que o concreto está coeso e sem segregação. A Figura 20 apresenta o aspecto do CAA no momento do lançamento na laje.

Figura 18 - Ensaio *slump flow* na obra



Figura 19 - Foco na extremidade do CAA no ensaio *slump flow*



Figura 20 - Aplicação do CAA na obra

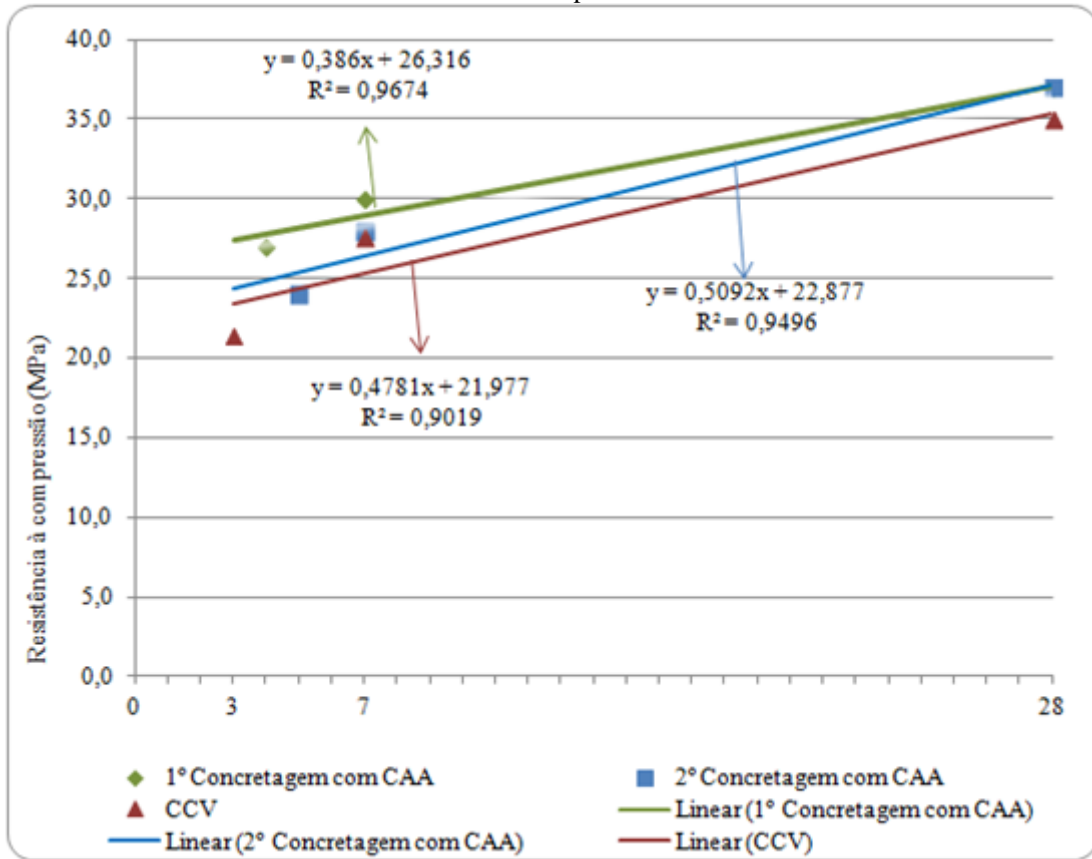


Para avaliar o CCV no estado fresco foi realizado o ensaio *slump test*, o qual já é rotineiramente executado nas concretagens com CCV da obra em questão. O resultado correspondeu ao esperado, pois foi exigido da concreteira que o resultado do *slump* fosse  $10\pm 2$  cm e a média dos resultados foi 11 cm.

#### **4.3.2 Resultado dos ensaios no estado endurecido**

Os corpos de prova não foram rompidos nos exatos 3 dias de idade previstos por conta da programação da empresa de controle tecnológico (devido a alguns feriados) que acompanha a obra. Todavia, para efeito de comparação, foi feita uma linha de tendência no gráfico de resistência à compressão para que fossem encontradas suas equações e, com isso, encontrar o resultado aproximado da resistência à compressão aos 3 e 5 dias da 1ª e 2ª concretagem com CAA, conforme Gráfico 3.

Gráfico 3 - Resultado do ensaio de resistência à compressão



A Tabela 27 apresenta os resultados da resistência à compressão, sendo que os resultados aos 3 dias da 1ª e 2ª concretagem com CAA foram obtidos por meio da linha de tendência, como mencionado anteriormente.

Tabela 27 - Resultado de resistência à compressão (MPa)

Tipo de concretagem	Dias				
	3	4	5	7	28
1ª Concretagem com CAA	27 <sup>1</sup>	27	28,2 <sup>1</sup>	30	37
2ª Concretagem com CAA	24 <sup>1</sup>	-	24	28	37
CCV	21,5	-	-	27,6	35

O corpo de prova da 1ª concretagem com CAA foi rompido na empresa de controle tecnológico aos 4 dias e o resultado foi 27 MPa, este é o mesmo valor obtido através da linha de tendência aos 3 dias. Pode-se observar que a resistência encontrada aos 3 dias já representa, em média, 90% da resistência total exigida, pois o  $f_{ck}$  exigido é 30 MPa. Com isso, o processo construtivo da obra foi melhorado no quesito tempo, tendo em vista que existiam

<sup>1</sup> Resultado obtido através da linha de tendência.

duas vigas faixas protendidas em cada laje e somente era possível executar a protensão quando o concreto atingisse 70% da resistência exigida em projeto. Portanto, de acordo com os resultados dos CAA seria possível adiantar o serviço de protensão em 3 dias por laje, levando em consideração que o concreto convencional atinge 70% da resistência exigida em projeto apenas aos 7 dias. A resistência do CAA é maior que a do CCV nestas primeiras idades por conta da maior quantidade de cimento e fíler calcário necessários para que o concreto seja autoadensável.

A média dos CP rompidos pela empresa de controle tecnológico da 2ª concretagem, aos 5 dias, atingiu 80% da resistência exigida, ou seja, 24 MPa, este foi o mesmo valor encontrado através da linha de tendência para os 3 dias. Assim, na segunda concretagem o processo construtivo também poderia ser melhorado no quesito tempo, assim como ocorreu na 1ª concretagem.

O CCV obteve 21,5 MPa no resultado do rompimento aos 3 dias, sendo este resultado melhor do que se espera. Com isso, o CCV também conseguiu alcançar 70% da resistência exigida aos 3 dias, todavia, está no limite mínimo exigido que é 21 MPa. Conforme comentários do pessoal da concreteira após o repasse dos resultados, a resistência obtida é incomum para o traço utilizado.

Observa-se no Gráfico 3 que a linha de tendência do CCV está abaixo das linhas de tendência das concretagens com CAA, ou seja, os resultados do ensaio de resistência à compressão do CCV tendem a ter valores menores que o do CAA. Isto se confirma quando se observa os valores constantes na Tabela 26.

### ***4.3.3 Aspecto das peças concretadas com CAA***

Os elementos estruturais concretados com o CAA foram observados após a desforma, onde foi observado que o acabamento superficial se mostrou adequado e sem manifestações patológicas. A Figura 21 apresenta o acabamento superficial do pilar produzido com CAA após a desforma e a Figura 22 apresenta o acabamento superficial da laje e da viga.

Figura 21 - Acabamento superficial do pilar



Figura 22 - Acabamento superficial da laje



Nas Figura 21 e 22 verifica-se a ausência de manifestações patológicas e um bom acabamento superficial das peças concretadas, o que nem sempre ocorre em concretagens utilizando o CCV. As Figuras 23 e 24 apresentam manifestações patológicas decorrentes de um adensamento mal executado no encontro da viga com pilar e em um pilar respectivamente, em outra obra da mesma empresa, onde será preciso fazer reparos e, para tanto, ter custos com materiais e mão de obra, os quais não são previstos nos orçamentos iniciais. Tendo em vista

que a utilização do CAA evita este tipo de manifestações patológicas, é vantajoso o uso dele em obras de edificação vertical.

Figura 23 - Manifestação patológica na viga com CCV



Figura 24 - Manifestação patológica no pilar com CCV



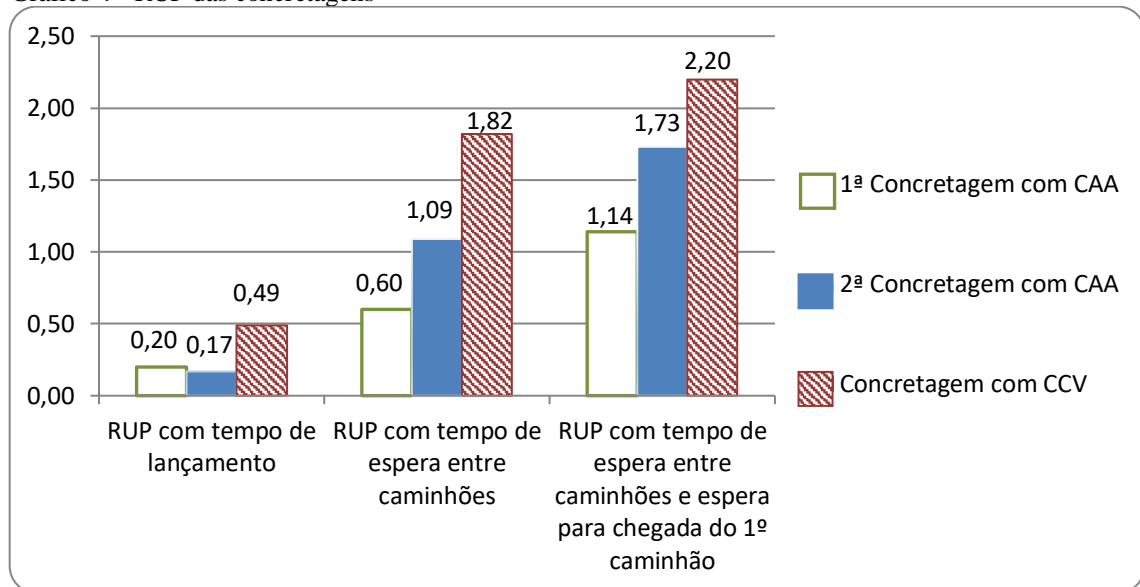
#### 4.4 Outros resultados

##### 4.4.1 Resultados da produtividade da mão de obra

###### 4.4.1.1 Segundo a RUP

O Gráfico 4 apresenta a RUP das três concretagens contemplando apenas o tempo de lançamento do concreto, bem como mais duas RUP, uma abrangendo o tempo de lançamento do concreto adicionado do tempo de espera para chegada dos caminhões betoneira e a outra abrangendo, além dos tempos citados, o tempo de espera para a chegada do 1º caminhão betoneira. O memorial de cálculo destas três RUP consta nas Tabelas A1, A2 e A3, no Anexo A.

Gráfico 4 - RUP das concretagens



Considerando a RUP com apenas o tempo de lançamento, verifica-se que a RUP da concretagem com CCV é 145% maior que a RUP da 1ª concretagem com CAA e 188,2% maior que da 2ª concretagem com CAA. Então, a produtividade da mão de obra é consideravelmente maior nas concretagens com CAA.

Vale ressaltar que quanto maior é o valor da RUP pior é a produtividade. É visto que a produtividade do CCV é consideravelmente pior que a produtividade do CAA. Além disso, a produtividade da 2ª concretagem com CAA melhorou em relação a 1ª, o que demonstra a melhora na expertise da execução. Com isso percebe-se que é possível potencializar ainda mais a RUP nas futuras concretagens com CAA, tendo em vista a possibilidade de redução da quantidade de mão de obra necessária.

Ao se incorporar o tempo de espera de caminhões e o tempo de espera do primeiro caminhão é visto que, nas três concretagens, a RUP aumentou potencialmente, conforme segue abaixo:

— 1ª concretagem com CAA: a RUP aumentou 200% com o acréscimo do tempo de espera entre os caminhões betoneira e, quando adicionado ao tempo de espera para a chegada do 1º caminhão betoneira para dar início a concretagem houve um aumento de mais 90% na RUP em relação à RUP com tempo de espera entre caminhões;

— 2ª concretagem com CAA: a RUP aumentou 541,17% com o acréscimo do tempo de espera entre os caminhões betoneira e, quando adicionado ao tempo de espera para a chegada do 1º caminhão betoneira para dar início a concretagem houve um aumento de mais 58,7% na RUP;

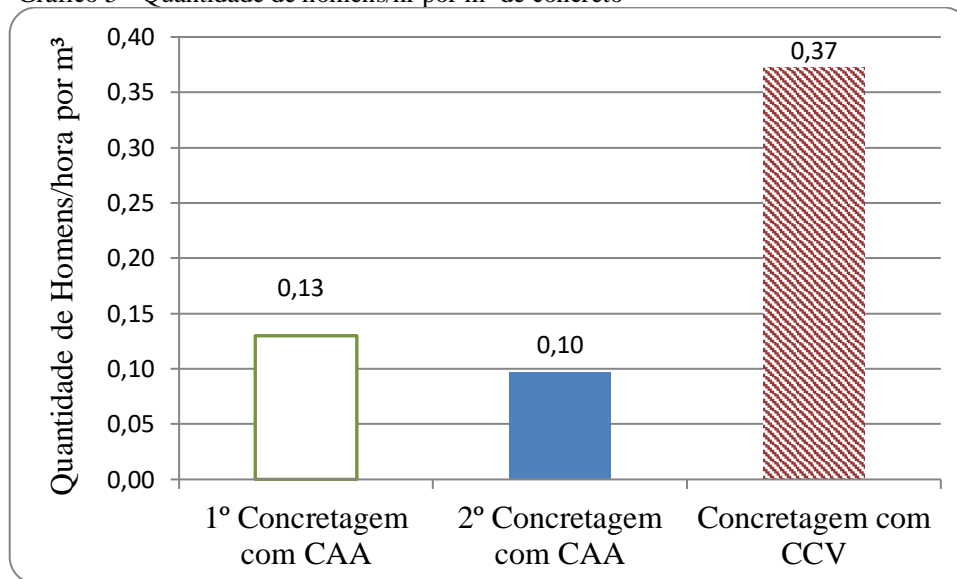
— Concretagem com CCV: RUP aumentou 271,4% quando o tempo de espera entre caminhões betoneira foi acrescido e depois aumentou mais 20,9% quando o tempo de espera para iniciar a concretagem foi adicionado;

Tendo em visto o grande aumento na RUP com o acréscimo dos tempos de espera, é visto que a produtividade diminuiu em demasia, gerando assim um gargalo no método construtivo, além de prejuízos financeiros à empresa construtora.

É preciso conscientizar o mercado das fornecedoras de concreto e as construtoras que esse é um importante gargalo a ser resolvido, pois se fosse possível que a concretagem tivesse seu início na hora marcada e não houvesse necessidade de grandes esperas entre os caminhões betoneira, haveria um grande aumento na produtividade na fase de estrutura dos empreendimentos. Além disso, pode-se gerar ganhos para a fornecedora de concreto que atenderá prontamente seus clientes, deixando-os satisfeitos, e poderá atender ainda mais clientes em sequência (e não em paralelo). Já para a construtora o ganho é grande também, pois aceleraria a fase de estrutura da obra e evitaria custos com mão de obra, fazendo com que exista um ganho no orçamento da obra.

#### *4.4.1.2 Segundo a quantidade de Homem/hora por m<sup>3</sup> de concreto*

O Gráfico 5 contém o valor da produtividade dos operários para as concretagens executadas, a qual foi calculada de acordo com a Equação 1, citada anteriormente no capítulo 2. Pode se perceber que a quantidade de Homem/hora por m<sup>3</sup> de concreto é mais que três vezes a utilizada do CCV.

Gráfico 5 - Quantidade de homens/hr por m<sup>3</sup> de concreto

No estudo de caso de Alcoforado (2013), a quantidade de Homens/hora foi quase o dobro na concretagem tradicional quando comparado a concretagem com CAA. Então, pode-se perceber que utilizando o CAA é possível economizar Homens/hora no momento da concretagem e, assim, possibilita a transferência dos mesmos para outros serviços, auxiliando na redução do cronograma da obra.

#### 4.4.2 Comparativo entre os tempos de concretagem

No Gráfico 6 estão apresentados o tempo de espera entre caminhões, o tempo de lançamento e o tempo total gasto em cada concretagem. O tempo para lançar o CAA é menos da metade do tempo necessário para lançar o CCV, o que torna a concretagem com CAA mais rápida e também mais econômica. Todavia, independentemente do tipo de concreto, o tempo de espera para a chegada dos caminhões é alto. Isto acontece por conta da falta de estruturação nas empresas de concreto e faz com que a execução da concretagem demore mais tempo que o necessário, além de gerar custos para a construtora e deixar o colaborador cansado, tendo em vista as atividades exaustivas que os mesmos executam.

Ainda no Gráfico 6, percebe-se que o tempo total de concretagem da 2ª concretagem com CAA é maior que a concretagem com CCV, isto se deve a demora para chegada dos caminhões betoneira, que pode ser bastante diminuído caso as concreteiras se preparem tecnologicamente para isso, pois o tempo de lançamento é rápido.

Gráfico 6 - Tempo total das concretagens

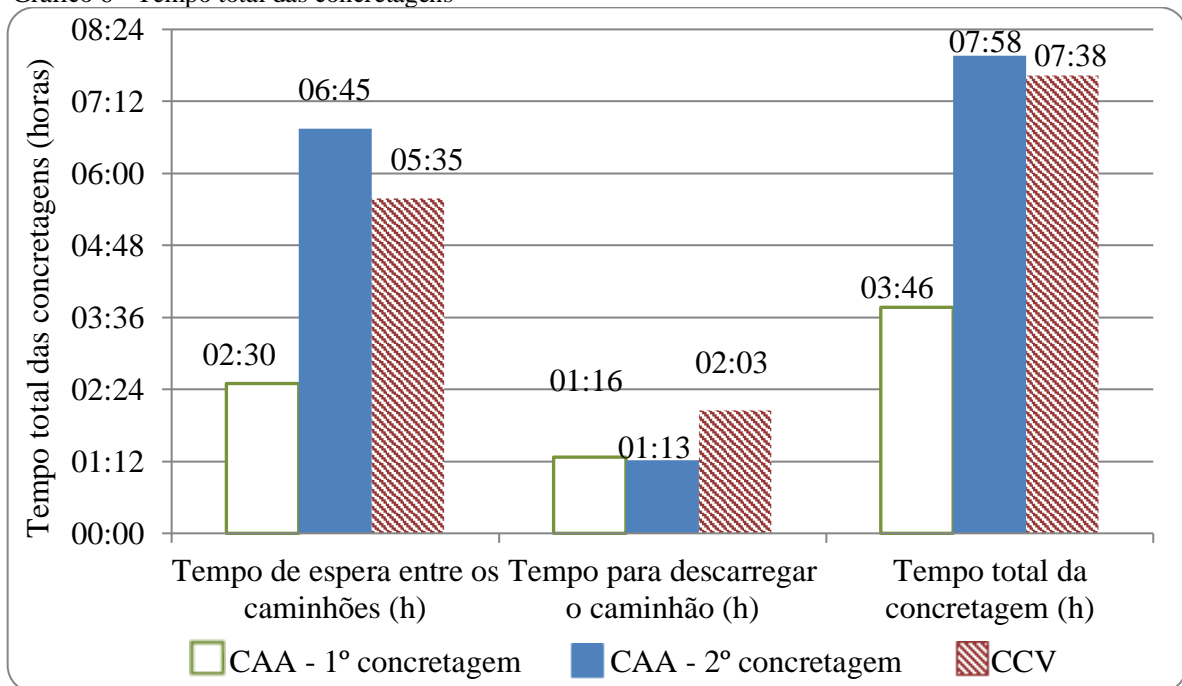
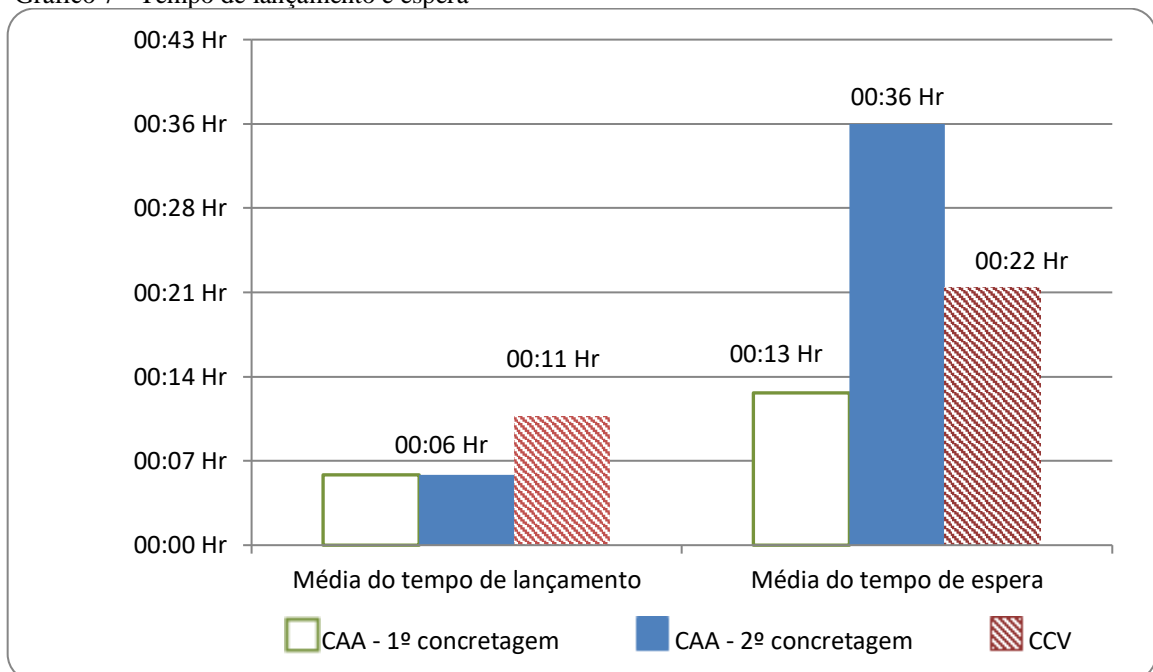


Gráfico 7 - Tempo de lançamento e espera



Por meio do Gráfico 7 pode se observar que a média do tempo de lançamento do CAA foi a mesma nas duas concretagens: 6 minutos, enquanto que a média do CCV (11 minutos) é quase o dobro do CAA. Também é possível verificar que a média do tempo de espera entre a chegada dos caminhões betoneira é alto: foram 22 minutos esperando a cada

caminhão betoneira de CCV (neste estudo de caso foram considerados 11 caminhões betoneira de 8 m<sup>3</sup>). A média da 1ª concretagem com CAA foi menor, com média de 13 minutos, porque um responsável técnico da fornecedora estava acompanhando a concretagem, mas na 2ª utilização ele já não estava e a média subiu para 36 minutos.

Com isso, é visto que é preciso reformular urgentemente os conceitos das fornecedoras de concreto, levando em consideração o prejuízo que geram para as construtoras por conta desses atrasos que ocorrem de forma comum nas concretagens, seja ela com CCV ou com CAA.

Também é preciso considerar o tempo de espera para dar início a concretagem, que é o intervalo de tempo entre o horário que estava marcado a chegada do primeiro caminhão e o horário que realmente chegou. Esses dados estão inseridos na Tabela 27, onde pode-se perceber que a média de espera é de 3,5 horas para o CAA. Percebe-se que o tempo para a chegada do 1º caminhão betoneira na concretagem com CCV é bem menor que o tempo para a chegada na 1ª e 2ª concretagem com CAA. Isso ocorre por conta da ainda falta de estrutura da fornecedora de concreto para fabricação do CAA, mas esse tempo tende a diminuir se fabricação do CAA se tornar rotineira para a concreteira.

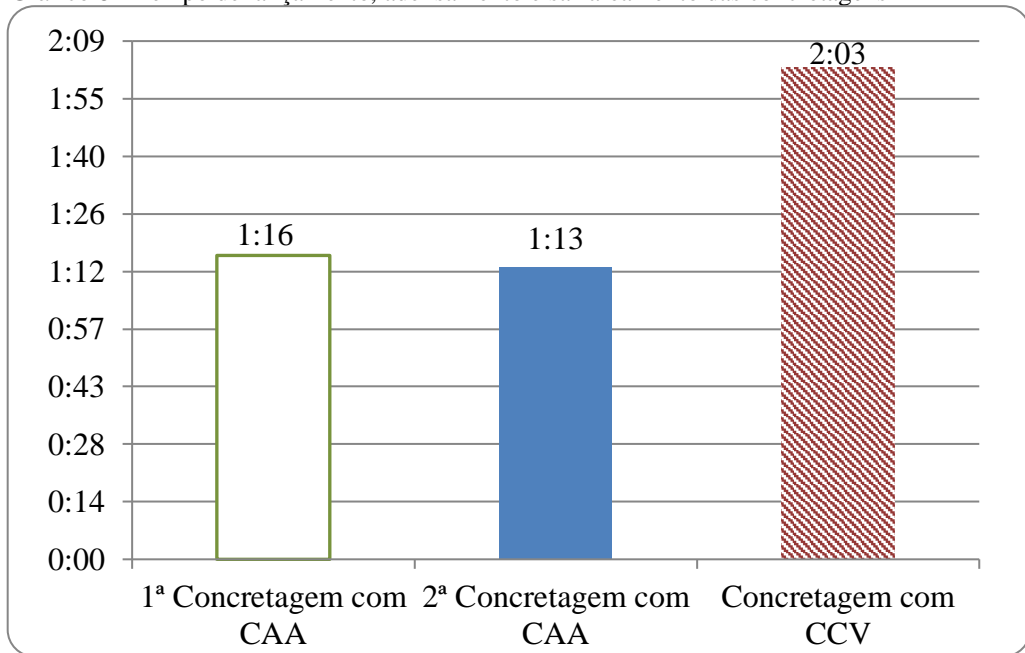
Entretanto, esse tempo não foi contabilizado em custos, visto que o foco do trabalho é a comparação entre os tipos de concreto do início da concretagem em diante.

Tabela 27 - Tempo em espera para o início da concretagem

<b>Tipo de concreto</b>	<b>Tempo de espera para início da concretagem (horas)</b>
CAA - 1º Concretagem	03:15
CAA - 2º Concretagem	04:10
CCV	01:35

O Gráfico 8 apresenta o tempo de lançamento, adensamento e sarrafeamento (no caso de lajes) do concreto lançado, ou seja, o tempo decorrente entre o bombeamento e a entrega da peça acabada.

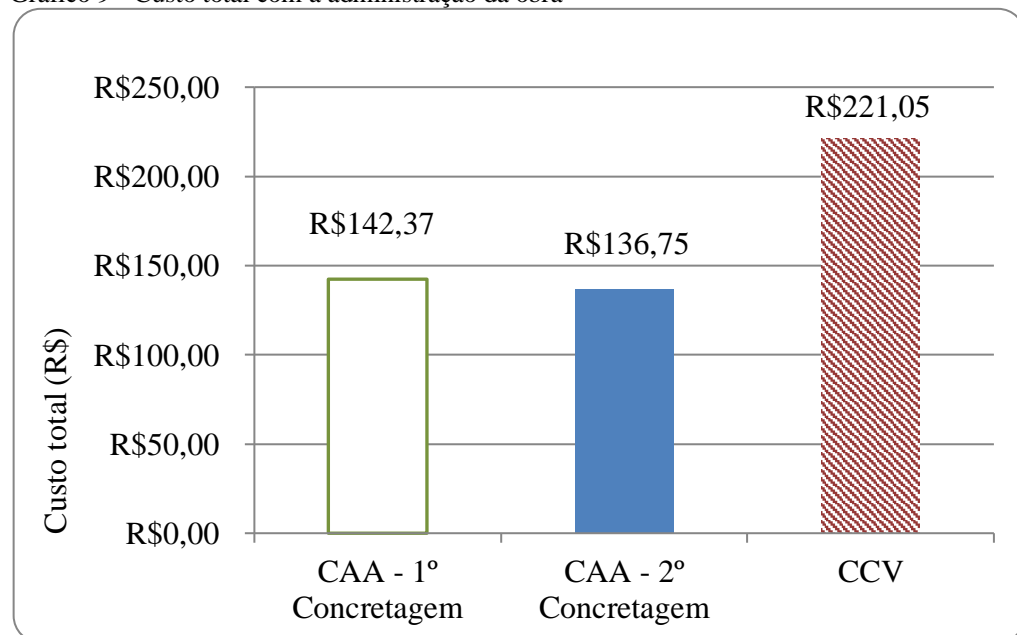
Gráfico 8 - Tempo de lançamento, adensamento e sarrafeamento das concretagens



Conforme dados do Gráfico 5 observa-se que o tempo de lançamento do CAA é em média 39,5% menor que o tempo de lançamento do CCV, em decorrência da ausência da etapa de adensamento e da facilidade na etapa de sarrafeamento. Este menor tempo reverte-se em um menor custo da administração da obra.

O Gráfico 9 apresenta os custos de cada concretagem com a administração da obra, considerando que este custo é proporcional ao tempo. O memorial de cálculo para encontrar tais custos está no Anexo B.

Gráfico 9 - Custo total com a administração da obra



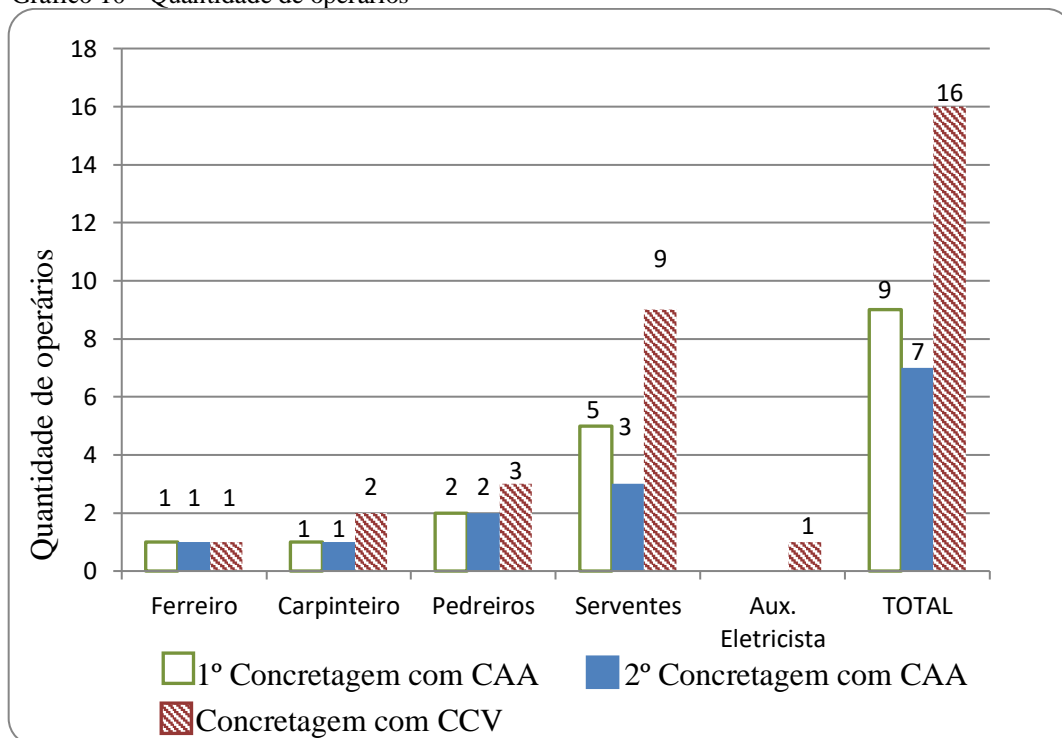
Conforme dados do Gráfico 6 é possível perceber que o custo reduz potencialmente quando da utilização do CAA devido à sensível redução do tempo. O custo com quadro administrativo nas 1ª e 2ª concretagens com CAA é de 35,6% e 38,1% menores que o custo com o CCV. Estes valores são representativos, tendo em vista que a empresa pode economizar em média 36,9 % com os colaboradores da administração por concretagem. Quando este valor é multiplicado por cada concretagem que a empresa faz, o montante financeiro se torna expressivo.

É válido considerar que o tempo da administração é importante, pois, além dos custos, o tempo gasto a mais poderia ser utilizado para outros importantes fins, como reuniões de planejamento, adequação de orçamento, vistoria de campo, entre outros. Quanto mais tempo a administração da obra tem para organizar, planejar e vistoriar a obra, menos problemas ou manifestações patológicas a obra apresenta.

#### 4.4.3 Comparativo entre a quantidade de operários e seus custos

No Gráfico 10 está apresentando a quantidade de funcionários necessários em cada concretagem por função.

Gráfico 10 - Quantidade de operários



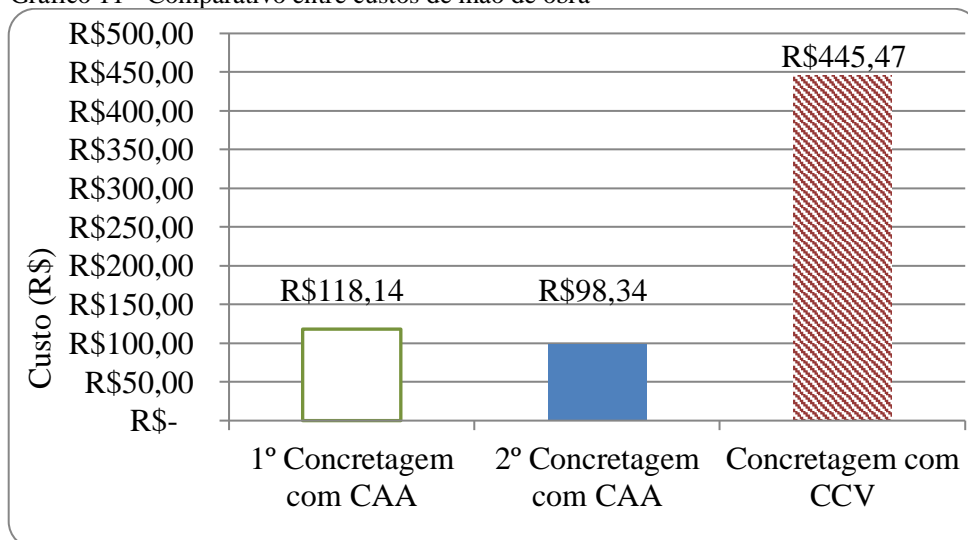
Conforme dados do Gráfico 10 pode-se verificar que o uso do CAA reduziu a mão de obra em 43,8 % na 1ª concretagem e 56,3 % na 2ª concretagem. O motivo da 1ª utilização do CAA ter uma quantidade de colaboradores maior do que a 2ª é que a construtora, receosa com o novo método, colocou funcionários sobressalentes para não haver imprevistos que impossibilitassem a execução da concretagem.

Este resultado coaduna com os obtidos por Geyer e Sá (2005), que na concretagem de uma laje de uma edificação vertical com CAA conseguiram uma redução de 70% na mão de obra necessária para a concretagem. Portanto, verifica-se que é possível otimizar ainda mais a quantidade de colaboradores no momento da concretagem do CAA.

A diminuição da mão de obra na concretagem é um importante fator, pois pode impulsionar a utilização do CAA. No Japão, a diminuição da dependência de operários qualificados para o adensamento foi um dos fatores que impulsionou a utilização do CAA (PEREIRA, 2010). Nesse contexto, verifica-se que há possibilidade de impulsionar também o uso do CAA em Fortaleza.

É importante ressaltar que o comparativo entre o custo dos operários foi feito considerando um volume de concreto de 88 m<sup>3</sup> de cada execução, pois assim a comparação fica nivelada com o 2º dia do CAA, tendo em vista que a concretagem com CAA do 1º dia foi maior que a do 2º dia. Este comparativo está inserido no Gráfico 11, onde se pode observar que a utilização do CAA reduz em média 75,7 % o custo com a mão de obra. O memorial de cálculo está apresentado no Anexo C.

Gráfico 11 - Comparativo entre custos de mão de obra



Também foram levados em consideração os colaboradores que trabalharam nos dias da execução do CAA por conta da, ainda, falta de estrutura da fornecedora de concreto e suas consequências.

#### **4.4.4 Custos extras com mão de obra**

As concreteiras de Fortaleza ainda não estão preparadas para fabricar esse tipo de concreto e por conta disso houve custos adicionais com mão de obra. Foi necessário que a construtora encaminhasse quatro serventes para a usina da concreteira para que os mesmos auxiliassem na colocação do fíler dentro do caminhão betoneira durante a produção do CAA. Além disso, foi preciso manter dois auxiliares de eletricista para fazer instalações provisórias, pois, por conta dos atrasos na chegada dos caminhões, a 2ª concretagem adentrou a noite. No caso da 1ª utilização do CAA, os mesmos se mantiveram apenas por precaução.

Também houve custos extras por falta de preparação na obra, dado que foi a primeira vez que uma concretagem foi executada com CAA e os colaboradores ainda não tinham experiência com esse tipo de concreto. As formas não estavam bem seguras e vazou concreto, então mais funcionários foram solicitados para fazer reparos nas formas e limpar o concreto derramado. Na 2ª concretagem esse episódio ocorreu em menor escala, o que demonstra mais preparo na execução da concretagem.

Segundo Skanredahi (2003), é preciso ter atenção na pressão das formas durante o lançamento do CAA, pois este tem alta fluidez e taxa de preenchimento. Para tanto, é preciso adotar novos tipos de forma para suportar as pressões hidroestáticas. Ainda que existam custos para implantar novo sistema de formas, este se torna compensatório, tendo em vista a maior durabilidade.

A Figura 25 apresenta o concreto que vazou entre as formas na 1ª concretagem. É possível perceber na figura que o concreto se manteve coeso mesmo tendo caído de uma altura de cerca de 9 m. Pereira (2010) afirma que apesar de existir a possibilidade de um CCV ser dosado para atingir uma determinada coesão, para o CAA isto é inerente. Quando se utiliza o CCV geralmente são feitas “janelas” nas formas dos pilares para que o lançamento do concreto não ultrapasse 2 m de altura para não segregar. Para o CAA isso provavelmente não seria preciso devido sua grande coesão, o que pode tornar a execução das formas dos pilares mais produtivas, econômicas e fáceis de executar, assim como facilita o lançamento do concreto, pois não haveria a necessidade de lançar o concreto através das “janelas”.

Figura 25 - Vazamento de concreto pelas fôrmas.



A Tabela 28 apresenta os colaboradores que se fizeram necessários para serviços extras na 1ª e 2ª concretagem, bem como seus respectivos serviços e custos. Já a Tabela 29 apresenta a quantidade de Homens/hora. Apesar da quantidade de funcionários dedicados a serviços extras terem diminuído na 2ª concretagem (foram reduzidos 4 serventes), este custo permaneceu alto. É visto que na 2ª concretagem o número total de Homens/hora reduziu, bem como seus custos, mas, ainda assim, estes permaneceram altos. Tais custos não deveriam existir em concretagens com CAA, assim como também não deveria existir em concretagens convencionais, por isso espera-se que quando essa inovação for inserida no mercado esses custos sejam extintos.

Tabela 28 - Custos extras com mão de obra na 1ª e 2ª utilização do CAA

<b>Cargo</b>	<b>Núm. de colaboradores 1ª CAA</b>	<b>Núm. de colaboradores 2ª CAA</b>	<b>Função</b>	<b>Custo 1ª concretagem CAA</b>	<b>Custo 2ª concretagem CAA</b>
Aux. Eletricista	2	2	Instalações provisórias Concreteira	R\$ 6,00	R\$ 59,05
Serventes	4	4	p/colocação do fíler	R\$ 223,92	R\$ 273,68
Serventes	3	2	Limpeza do concreto que vazou	R\$ 167,94	R\$ 99,52

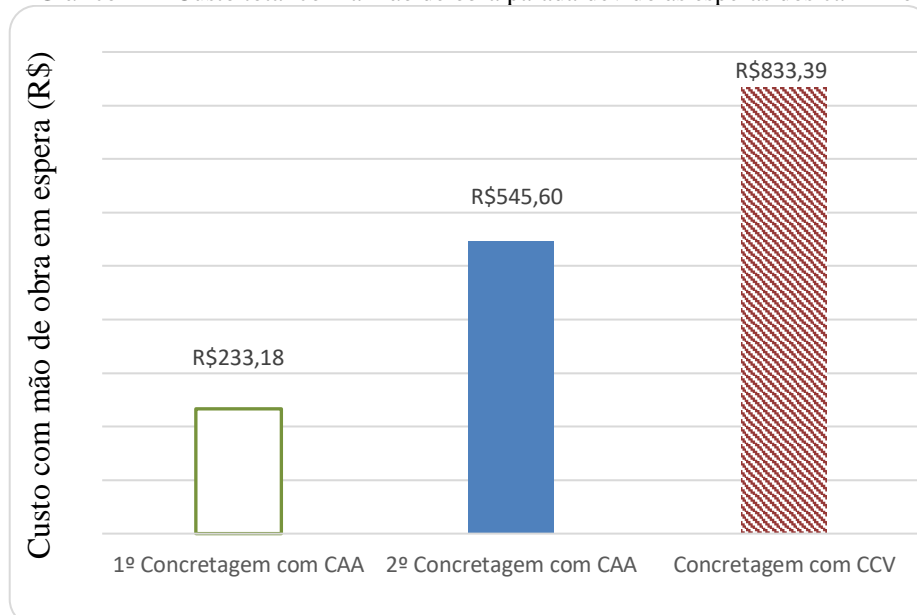
Serventes	3	-	Revisão das formas	R\$ 167,94	-
<b>TOTAL</b>				<b>R\$ 575,80</b>	<b>R\$ 432,25</b>

Tabela 29 - Quantidade de Homens/hora

Cargo	1ª Concretagem com CAA	2ª Concretagem com CAA
Aux.		
Eletricista	2,32	78
Serventes	8,54	54

O tempo que os colaboradores ficaram esperando os caminhões betoneira foi contabilizado e consta no Gráfico 12, onde se verifica que o custo com a mão de obra parada é alto. Nesse custo não está inserido o tempo de espera para iniciar a concretagem, ou seja, é o tempo que os colaboradores esperaram especificamente para iniciar o lançamento entre um caminhão e outro. Vale ressaltar que esse custo é sinônimo de prejuízo para a construtora, pois significa que os funcionários estão sendo pagos, mas impossibilitados de produzir. Contudo, ainda assim observa-se que o CAA propicia uma economia média de 53,3% em relação ao CCV.

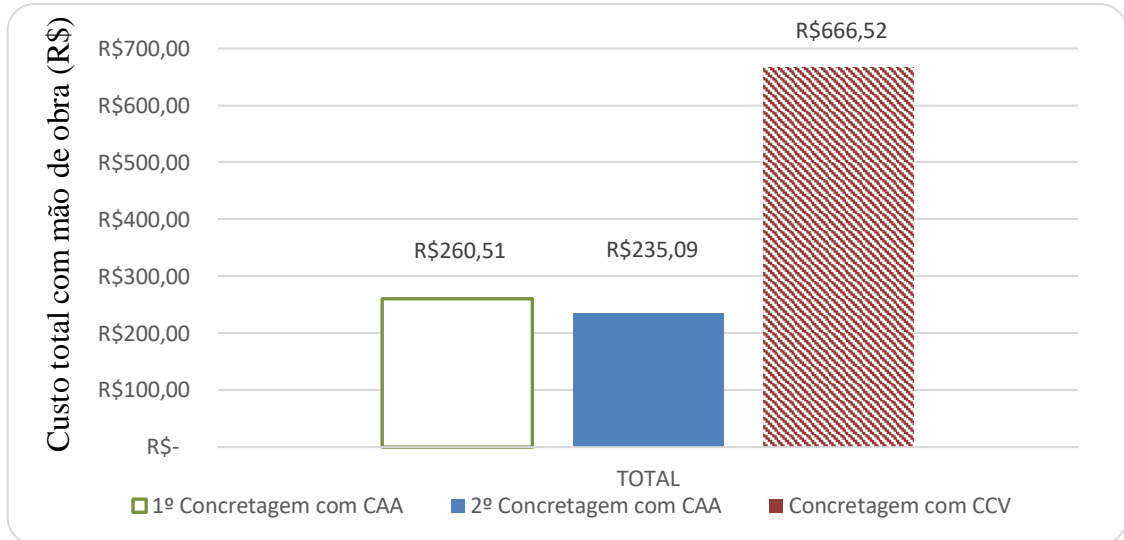
Gráfico 12 - Custo total com a mão de obra parada devido às esperas dos caminhões



#### 4.4.5 Custo total com mão de obra

O Gráfico 13 apresenta os custos totais gastos com mão de obra em cada concretagem, levando em consideração apenas a administração e a equipe envolvida diretamente na concretagem.

Gráfico 13 - Custo total com mão de obra

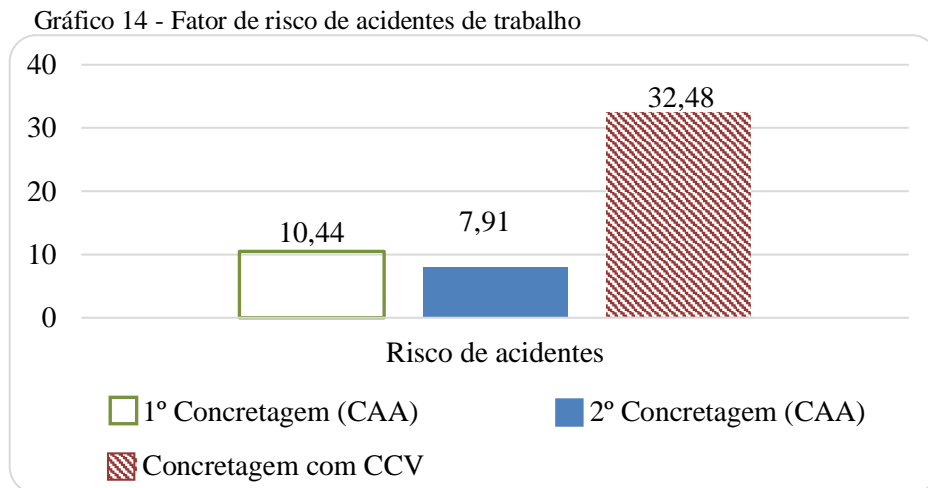


Conforme dados do Gráfico 11 pode-se verificar que o custo com a mão de obra reduziu 61% na 1ª concretagem com CAA e 64,7% na 2ª concretagem com CAA, quando comparado ao custo com mão de obra do CCV.

Alcoforado, Mendonça e Rodrigues (2010) fizeram dois estudos de caso da aplicação do CAA, onde fizeram a comparação entre o CCV e CAA. Observou-se nesse estudo, ao comparar o custo com mão de obra entre as duas aplicações, que o custo com CAA em uma obra reduziu 55,24% em comparação com o CCV e, na outra obra, reduziu 50,5%. Entretanto, na comparação desse estudo, os autores não incluíram o custo com os colaboradores da administração.

#### 4.4.6 Acidentes de trabalho

Como citado no capítulo anterior, o risco de acidentes de trabalho por queda em altura é a quantidade de tempo trabalhado em altura vezes a quantidade de funcionários, conforme anexo D.



O Gráfico 14 apresenta o resultado desse fator de risco, onde pode se observar que o risco de acidentes de trabalho por queda em altura na utilização do CCV é 211,11% maior que na 1ª utilização do CAA e 310,6% que na 2ª utilização do CAA. Isso torna vantajosa a utilização do CAA, pois a redução de acidentes de trabalho por queda em altura é um incentivo para os colaboradores e pode impactar o mercado de forma positiva, deixando os construtores mais tranquilos.

#### 4.4.7 Custo com o uso de vibradores

O CCV precisa utilizar vibradores para adensar o concreto. No presente estudo de caso, o CCV precisou utilizar quatro vibradores para uma concretagem, enquanto o CAA não precisou de nenhum vibrador. Dos quatro equipamentos dois são para utilização direta e dois para reserva, pois em caso de algum imprevisto com os vibradores, como o caso de quebra ou falhas elétricas, existem mais dois vibradores para suprir a necessidade da obra e prosseguir com a concretagem. A Tabela 30 mostra o valor do aluguel desses equipamentos por diária, gasto esse que se faz desnecessário quando se utiliza o CAA.

Tabela 30 - Gastos com vibrador

Quantidade	Função	Valor do aluguel (diária)	Total
2	Utilização	R\$ 66,00	R\$ 132,00
2	Reserva	R\$ 66,00	R\$ 132,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 264,00</b>

O sarrafeamento do CAA foi executado de forma mais rápida que o do CCV devido a maior plasticidade, fluidez e mobilidade do concreto. Os colaboradores que estavam

sarrafeando seguiam o concreto que estava sendo lançado, enquanto no CCV os colaboradores não conseguiam acompanhar o lançamento. Houve uma redução de 5 para 3 funcionários sarrafeando, quando comparadas as duas concretagens (CCV e CAA), respectivamente.

#### 4.4.8 Fôrmas

A obra em questão utilizava dois jogos de fôrmas para a execução de duas lajes por mês. Para tanto era preciso esperar 7 dias para realizar a protensão dos cabos e dar início à desforma das caixas e tapa nervuras. Com a utilização do CAA, o prazo para a execução da protensão pode ser reduzido de 7 para 3 dias, uma vez que aos 3 dias o concreto já apresenta resistência adequada para se realizar esse procedimento. Isto faz com que a obra ganhe tempo e possivelmente se economize um jogo de forma mas mantendo a meta de se concretar duas lajes por mês.

Segundo a construtora, o valor gasto apenas com os materiais necessários, como madeira, caixas e tapa nervura, para executar um jogo de forma é de R\$ 107.734,50, ou seja, foi visto que existe a possibilidade de economizar esse valor quando se utiliza somente o CAA.

Resultado semelhante foi observado no estudo de caso feito por Alcoforado (2013), em Goiânia, onde o autor percebeu que utilizando o CAA também seria possível economizar um jogo de formas, a qual tinha o valor de R\$ 235.610,33.

Nesse contexto, a utilização do CAA pode gerar economia de fôrmas na obra, fazendo com que os custos sejam reduzidos.

#### 4.4.9 Volume de concreto

O volume de concreto gasto em cada concretagem está inserido na Tabela 301

Tabela 31 - Volume de concreto

<b>Vol.de projeto (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Vol. CAA (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Vol. CCV (m<sup>3</sup>)</b>
105,6	112	120

É notório que o volume de concreto gasto nas concretagens com CAA e CCV foram superiores que o volume de concreto de projeto. Para o CCA houve uma diferença de 6,4 m<sup>3</sup>, que pode ser explicado por empenos nas formas, aumentando o volume das peças estruturais, e abertura das fôrmas, derramando o concreto. Todavia, a diferença do volume de

projeto para o executado com CCV foi maior (14,4 m<sup>3</sup> e 8 m<sup>3</sup>) se comparado ao volume do CAA. Essa diferença, provavelmente, se deve a dificuldade no sarrafeamento e, então, a laje pode ficar com diferença de 1 cm (ou mais) de espessura a mais, o que aumenta consideravelmente o volume do concreto quando multiplicada pela área.

#### ***4.4.10 Custo total***

Os dados considerados para comparação do custo total são: custo por m<sup>3</sup> do concreto, volume de concreto, equipamentos e mão de obra, os quais constam no Gráfico 15. É possível perceber que o metro cúbico do CAA (apenas material, não lançado) é 18,75% mais caro que o do CCV. O acréscimo no valor do CAA em relação ao convencional é coerente com a literatura, uma vez que este necessita de mais finos, sendo usualmente de consumo de cimento maior. No trabalho de Tutikian, Dal Molin e Cremonini (2005), o CAA por eles desenvolvido utilizou fíler calcário, acrescentando 41% a mais no custo que o concreto de referência.

Também foi considerado o valor gasto com a aquisição do jogo de formas. Para a concretagem com concreto convencional, já é de praxe da construtora utilizar dois jogos de forma, sendo o valor de cada de R\$ 107.734,50. Contudo, percebe-se que para as concretagens realizadas com o CAA, não se faz necessário o uso dos dois jogos de fôrma, uma vez que o CAA alcançou a resistência à compressão exigida para a desforma aos 3 dias, enquanto no CCV essa resistência é alcançada apenas aos 7 dias. Assim, para as concretagens com o CAA é possível retirar as formas de um pavimento com menor tempo para utilizar novamente no pavimento seguinte. Portanto, para efeito do cálculo de custo total foi considerado um jogo de fôrmas para o CAA e dois jogos de fôrmas para o CCV.

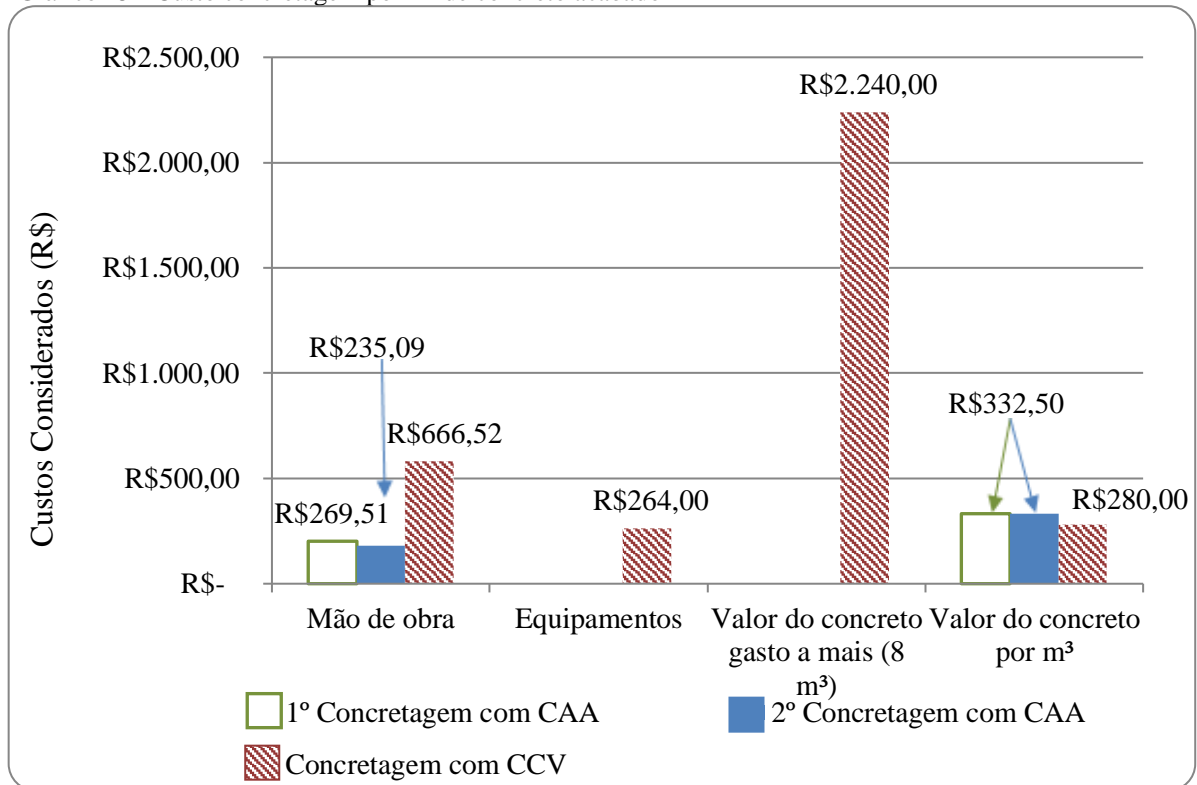
Gráfico 15 - Custo concretagem por m<sup>3</sup> de concreto acabado

Tabela 32 - Comparação entre o custo total do CAA e do CCV

Tipo de concretagem	Total
1º Concretagem com CAA	R\$ 137.587,51
2º Concretagem com CAA	R\$ 137.562,09
Concretagem com CCV	R\$ 243.559,52

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** exibe a comparação entre o custo total das concretagens, considerando apenas 88 m<sup>3</sup> em cada uma delas. É possível perceber nessa tabela que apesar de um custo inicial mais alto, quando somados todos os itens, o CAA apresentou um custo final menor que o do CCV. O gasto total com CAA aplicado foi, em média, 56,4% do total gasto com CCV aplicado, o que torna a utilização do CAA ainda mais vantajosa.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 CONCLUSÃO

As principais conclusões deste trabalho são:

- Quanto ao estudo de dosagem:

Os ensaios executados em laboratório e no concreto utilizado em obra atenderam aos critérios da norma, mostrando que o concreto é adequado para utilização em lajes e pilares. No resultado do ensaio de resistência a compressão, o CAA mostrou ser possível economizar tempo e dinheiro (principalmente por economia com as formas), tendo em vista que aos 3 dias o concreto já alcançou os 70% da resistência exigida em projeto, propiciando assim otimizar o processo construtivo. Esse aumento de resistência do CAA se deve a maior quantidade de materiais finos utilizado no traço, propiciando maior compacidade do concreto e conseqüente menor volume de vazios.

- Quanto ao estudo de caso:

O valor que as fornecedoras de concreto cobram pelo traço de CAA utilizado é 18,75% maior que o valor do CCV, mas esse acréscimo é recompensado pelas várias vantagens do CAA, tornando o CAA mais econômico que o CCV quando são somados todos os custos e benefícios.

Entretanto, apesar de o resultado do CAA ter se mostrado mais vantajoso, ainda é difícil propagar e/ou continuar sua utilização em edificações verticais em Fortaleza, pelo menos por enquanto, pois as concreteiras ainda não estão preparadas para o fornecimento de uma nova tecnologia em concreto. Com isso, conclui-se que é preciso uma conscientização no setor da construção civil, especificamente no ramo das concreteiras, para que sejam incentivadas a inovar para fazer produtos melhores para o mercado, pois assim é possível alcançar melhorias e diferenciar, ou até mesmo equiparar, a construção civil do Ceará à do restante do mundo.

Excluindo as dificuldades com as concreteiras, o estudo de caso obteve bons resultados. A aplicação do CAA se mostrou mais rápida, não houve nenhuma manifestação patológica no concreto após a concretagem e o acabamento superficial do concreto ficou em perfeito estado. Quanto à mão de obra, foi possível reduzir o quadro e facilitar as atividades dos colaboradores, como o sarrafeamento. Com isso, foi possível também reduzir o fator de risco de acidentes de trabalho, tornando a obra mais segura.

- Quanto à comparação entre CCV e CAA:

O valor por metro cúbico do CCV é menor que o do CAA, mas quando são somados custos como: vibrador, mão de obra e custo com formas, o custo do CAA se torna menor.

Pode-se comprovar algumas vantagens do uso do CAA, tais como:

- Redução da quantidade de mão de obra;
- Redução dos riscos de acidentes;
- Redução do cronograma da obra;
- Concretagem mais rápida;
- Custo final do concreto aplicado menor;
- Evita manifestações patológicas;
- Acabamento superficial bom e;
- Pode ser utilizado (e viável) em edificações verticais.

Como desvantagem da utilização do CAA, no presente estudo de caso, pode-se apontar: a falta de organização nas fornecedoras de concreto, haja vista que no presente estudo foi visto que estas não têm estrutura para produzir CAA, gerando prejuízo para as mesmas e para seus clientes. Isso foi possível perceber por conta dos atrasos para iniciar as concretagens e para liberar os caminhões.

Enfim, com o resultado da pesquisa feita em parceria com o Sinduscon/CE mostrando que existe um interesse real das construtoras na utilização do CAA se comprovado os benefícios, e o resultado positivo dessa pesquisa, pode-se considerar que é possível propagação dessa ideia no mercado da construção civil do Ceará.

É viável ponderar que o concreto autoadensável possivelmente venha a ser o próximo concreto convencional a ser utilizado rotineiramente em obras de edificação vertical, e não somente em obras complexas.

## **6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Algumas sugestões para trabalhos futuros:

— Fazer um estudo específico da mão de obra na concretagem, levando em conta a facilidade de lançamento do CAA;

— Realizar um estudo de caso em edificação vertical com mais de 7 pavimentos para comparação entre a aplicação do CCV e do CAA;

— Executar ensaios de retração e fluência no CAA, para melhor caracterização dessas propriedades;

— Analisar a melhora no ambiente de trabalho quando se é utilizado o CAA, através de uma pesquisa de campo.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: agregados para concreto - especificação. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 15823-2**: concreto autoadensável parte 2 - Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2010b.

\_\_\_\_\_. **NBR 15823-3**: concreto autoadensável parte 3 - Determinação da habilidade passante - Método do anel J. Rio de Janeiro, 2010c.

\_\_\_\_\_. **NBR 15823-4**: concreto autoadensável parte 4 - Determinação da habilidade passante - Método da caixa em L CCC. Rio de Janeiro, 2010d.

\_\_\_\_\_. **NBR 15823-5**: concreto autoadensável parte 5 - Determinação da viscosidade - Método do funil V. Rio de Janeiro, 2010e.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738**: concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52**: agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53**: agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ALCOFORADO, L. F. M. **Viabilidade econômica do concreto autoadensável na construção de prédios em Goiânia - GO**. Especialize revista online. 2013.

ALCOFORADO, L.; MENDONÇA, M. A.; RODRIGUES, S. B. **Viabilidade econômica do concreto autoadensável**. 2010. Monografia (Pós-graduação em Construção Civil), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

ALMEIDA FILHO, F. M. **Contribuição ao estudo da aderência entre barras de aço e concretos autoadensáveis**. 2006. 310 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ARAÚJO, L. O. **Método para previsão e controle da produtividade da mão de obra na execução de formas, armação, concretagem e alvenaria**. 2000. 385 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

BAKHTIYARI, S. *et al.* Mix design, compressive strength and resistance to elevated temperature (500°C) of self-compacting concretes containing limestone and quartz fillers. **International journal of civil engineering**, v. 9, n. 3, 2011.

BARBOSA, M.T.G. Análise comparativa e crítica de diversos modelos numéricos aplicáveis ao estudo da aderência aço-concreto. *In: XXXI Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural*, Mendoza, Argentina, Universidad Nacional de Cuyo, 2004.

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

BASF. **Ficha técnica de produto: MasterGlenium SCC 160.** 2014.

BILLBERG, P. Self-compacting concrete for civil engineering structures: the Swedish experience. *In: CBI Report*, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Estocolmo. v. I, p.1-77. 1999.

CARBOMIL. **Ficha técnica do produto: carbonato de cálcio natural.** 2012.

CARRARO, F. **Produtividade da mão de obra no serviço de alvenaria.** 1998. 226 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

CARRARO, F.; REIS, P.; SOUZA, U. E. L. Produtividade no serviço de concretagem. *In: XXVIII Jornadas sul-americanas de engenharia estrutural.* São Carlos, p. 2479-87, 1997.

CARVALHO, A. B. L. **Produtividade da mão de obra na execução de alvenaria estrutural com blocos de concreto.** 2013. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

CAVALCANTI, D. J. H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais.** 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **A produtividade da construção civil brasileira.** Disponível em: <[http://www.cbic.org.br/sites/default/files/FINAL1\\_CBIC\\_20pgs.pdf](http://www.cbic.org.br/sites/default/files/FINAL1_CBIC_20pgs.pdf)>. Acesso em: 9 jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **Evolução do mercado imobiliário: ofertas, vendas, lançamentos e velocidade de vendas.** 2012. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/mercado-imobiliario/mercado-imobiliario>>. Acesso em: 5 mar. 2015.

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*, p. 16-19, 2001.

COSTA, A. D. C. **Sistema de proteção coletiva contra queda de altura na indústria da construção civil**. Dossiê Técnico. Rede de tecnologia da Bahia - RETEC/BA. 2007.

DACZKO, J. A. CONSTANTINER, D. Rheodynamic concrete. *In: Ibracon - 43º Congresso Brasileiro do Concreto*. 2001.

DANTAS, M. M.; SOUZA, U. S. Produtividade e consumo na concretagem: comparação quanto a execução do serviço sob condições diversas. *In: III SIBRAGEC - Simpósio brasileiro de gestão e economia da construção*. UFSCar, São Carlos. 2003.

EFNARC. **Specficacian and guidelines for self-compacting concrete**. EFNARC, 2002.

FARIA, R. **Solução fluida**. Revista Técnica n° 132, 2008. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/132/artigo286483-2.aspx>>. Acesso em: 4 set. 2014.

FERRARIS, C. F. Measurement of the rheological properties of high performance concrete: state of the art report. **Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology**, v. 104, n. 5, set./out, pp. 461-478, 1999.

FERRAZ, A. L. N. **Avaliação da retração e fluência do concreto autoadensável para aplicação em elementos pré-moldados**. 2009. 253 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Campinas. Campinas, 2009.

GEYER, A. L. B.; SÁ, R. R. **Concreto autoadensável: uma tecnologia à disposição da construção civil de Goiânia**. Informativo Técnico. Goiânia. 2005.

GOMES, P. C. C. **Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete**. 2002. 139 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Universidade Politecnica da Catalunia, Espanha, 2002.

GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável**. São Paulo: Pini, 2009.

HOLSCHEMACHER, K. Hardened material properties of self-compacting concrete. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 0, n. 4, p. 261-266, 2004.

HOLSCHEMACHER, K.; KLUG, Y. **A database for ther evaluation of hardened properties of SCC**. Lacer, n. 7, p. 123-134, 2002.

IBGE. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios: síntese de indicadores 2011**. Rio de Janeiro, 2012.

ISA, M. M.; AGUADO, A. Comportamento da aderência entre o concreto autoadensável de alta resistência e a armadura. *In: V Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto*. São Paulo, 2003.

ISAIA, G. C. A evolução do concreto estrutural. São Paulo. *In: IBRACON - Concreto: Ciência e Tecnologia*. p. 1-56, 2011.

KASHIMA, S. *et al.* Application of self-compacting concrete made with low-heat cement for bridge substructures of honshu-shikoku bridge authority. **International Workshop on Self-compacting Concrete**. pp. 255-261, 1998.

KLEIN, N. S. **Influência da substituição da areia natural pela areia de britagem no comportamento do concreto autoadensável**. 2008. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Paraná, 2008.

KLUG, Y.; HOLSCHEMACHER, K. Comparison of the hardened properties of self-compacting and normal vibrated concrete. *In: 3rd RILEM symposium on self compacting concrete, Reykjavik*. 2003. p. 596-605.

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

MARQUES, A. C. **Concreto autoadensável: caracterização da evolução das propriedades mecânicas e estudo da duas deformabilidade por solicitação mecânica, retração e fluência**. 2011, 175 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MC-BAUCHEMIE. **Ficha de informações de segurança de produtos químicos: Muraplast FK 820**. 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2014.

\_\_\_\_\_. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 2008.

NEPOMUCENO, M. C. S. **Metodologia para a composição de betões autocompactáveis**. 2005. 796 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade da Beira Interior. Covilhã, 2005.

NUNES, S.C.B. **Betão autocompactável: tecnologia e propriedades**. 2001. 198 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2001.

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

OKAMURA, Hajime; OUCHI, Masahiro. Self-compacting concrete. **Journal of advanced concrete technology**, v. 1, n. 1, p. 5-15, 2003.

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

OZAWA, Kazumasa; SAKATA, Noboru; OKAMURA, Hajime. Evaluation of Self-Compactability of Fresh Concrete Using the Funnel Test. **Japan Society Of Civil Engineers**, v. 23, n. 490, p. 71-80, 1994.

PAMPALON, G. Risco de quedas em altura. *In: SINESC - IX Seminário nacional de segurança e higiene do trabalho em espaços confinados*. 2010.

PETERSSON, Ö.; BILLBERG, R; VAN, B. K. A model for self-compacting concrete. *In: International Rifem Conference on ProiJuction Methods and Workabiüity of Concrete. E & FN Spon*, p. 483-492, 1996.

PAUMGARTTEN, M. D. V. **Concreto autoadensável com materiais encontrados na região de Belém**. 2010. 69 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade da Amazônia, Belém, 2010.

PEREIRA, T. A. C. **Concreto autoadensável, de alta resistência, com baixo consumo de Cimento Portland e com adições de fibras de lã de rocha ou poliamida**. 2010. 281 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

PINI. **Concreto autoadensável X concreto convencional**. Revista Construção Mercado, Pini, n. 112, 2010. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/112/artigo299437-1.aspx>>. Acesso em: 4 set. 2014.

PROSKE, Tilo; GRAUBNER, Carl-Alexander. Self-compacting concrete-pressure on formwork and ability to deaerate. **Darmstadt Concrete**, v. 17, p. 1-15, 2002.

REPETTE, W. L. Concreto autoadensável. São Paulo. *In: IBRACON - Concreto: Ciência e Tecnologia*. n. 48, p. 1169-1806, 2011.

\_\_\_\_\_. **Concretos de última geração: presente e futuro**. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto, v. 2, p. 1509-1550, 2005.

ROMAN, C. Trabalho trava produtividade em obras. **Folha de S. Paulo**. 2013. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br/sala-de-imprensa/noticia/trabalho-trava-productividade-em-obras>>. Acesso em: 9 jun. 2014.

ROMANO, R. C. O; CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G. Propriedades do concreto no estado fresco. São Paulo. *In: IBRACON - Concreto: Ciência e Tecnologia*. p. 453-500. 2011.

SAAK, Aaron W.; JENNINGS, Hamlin M.; SHAH, Surendra P. Characterization of the rheological properties of cement paste for use in self-compacting concrete. *In: Proceeding of the First International RILEM Symposium on “Self-Compacting Concrete”*, Eds. A. Skarendahl & O. Petersson, Stockholm, Sweden. 1999. p. 321-332, 1999.

SCHWARTZENTRUBER, L. D. A. ROY, R. CORDIN, J. Rheological behaviour of fresh cement pastes formulated from a self-compacting concrete (SCC). **Cement and Concrete Research**, 36. pp.1203-1213. 2006.

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

SENG, Vong; SHIMA, Hiroshi. Creep and shrinkage of self-compacting concrete with different limestone powder contents. *In: Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete and the Fourth International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete*. 2005. p. 981-987.

SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA. **Manual de segurança e saúde no trabalho: indústria da construção civil - edificações**. São Paulo: SESI, 2008. 108 p.

SKARENDAHL, Ake. The present-the future. *In: Proceedings of the Third International RILEM Symposium*. 2003. p. 6-14.

SOUZA, U.E.L. **Como aumentar a eficiência da mão de obra**. São Paulo: Pini, 2006.

SOUZA, U. E. L.; JÚNIOR, A. C. L. **Segurança coletiva: proteção contra quedas de altura**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Enga de Construção. São Paulo, 1999.

SU, N.; HSU, K. C.; CHAI, H. W. A simple mix design method for self-compacting concrete. *In: Cement and Concrete Research*, n. 31, p. 1799-1807, 2001.

THOMAS, H. R.; YLAKOUMIS, I. Factor model f construction productivity. **Journal of Constrution Engineering and Management**. ASCE, 1987.

TRABALHO SEGURO. **Programa nacional de prevenção de acidentes**. 2014. Disponível em: <<http://www.tst.jus.br/web/trabalhoseguro/dados-nacionais>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

TUTIKIAN, B. F. **Métodos para dosagem de concretos autoadensáveis**. 2004. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto autoadensável**. São Paulo: Pini, 2008.

TUTIKIAN, B. F. DAL MOLIN, D.; CREMONINI, R. **Viabilização econômica do concreto autoadensável**. 12º Concurso Falcão Bauer. CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil. 2005.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. v. 1. p. 415-451. 2011.

VARGAS, N. Entrevista: cultura para construir. **Revista construção**. São Paulo: Pini, n. 2521. 3 jun. 1996.

VIEIRA, G. *et al.* **Orientações para o uso do concreto autoadensável em edifícios**. Caderno de Ativos – 5º Ciclo. Comunidade da construção. Belo Horizonte. 2012.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Boletim de análise de cimento**: CP II-F-32. 2014.

WATANABE, Koji; ISHIKAWA, Makot; WAKAMATSU, Mitsuru. Rheology of castable refractories. **Taikabutsu overseas**, v. 9, n. 1, p. 41-53, 1989.

# APÊNDICE

## APÊNDICE A – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

### QUESTIONÁRIO APLICADO PELO SINDUSCON-CE ÀS CONSTRUTORAS

O concreto auto-adensável (CAA) é o concreto que ao ser lançado é capaz de se espalhar, ultrapassar e envolver as armaduras e preencher de forma homogênea o elemento estrutural que está sendo moldado apenas por meio do peso próprio. O CAA apresenta grande fluidez, tendo como característica uma alta trabalhabilidade, ou seja, é um concreto muito plástico. Um concreto só pode ser definido como auto-adensável se possuir três características: fluidez, habilidade passante e resistência à segregação.

Tendo em vista a definição acima, por favor, responda o questionário abaixo. O mesmo faz parte de uma pesquisa de uma aluna de mestrado do programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará.

1 - Você usa ou já usou o CAA em alguma obra de sua empresa?

Sim

Não

\_\_\_\_\_

2 - Caso tenha usado, foi em uma obra vertical acima de 5 pavimentos?

Sim

Não

\_\_\_\_\_

3 - Você estaria disposto a usar o CAA em uma obra vertical de sua empresa?

Sim, pois já sei que o CAA é vantajoso em relação ao concreto convencional

Nunca ouvi falar em CAA/ Não sei o que é CAA

Talvez, se me comprovarem que há realmente benefícios

Não

\_\_\_\_\_

## **ANEXOS**

## ANEXO A – MEMORIAL DE CÁLCULO DAS RUP

Foram calculadas três RUP: a primeira contempla apenas o tempo de lançamento do concreto (Tabela C 1); a segunda adicionou-se o tempo de espera entre os caminhões betoneira (Tabela C 2); e a terceira abrange, além dos dois tempos citados, o tempo de espera para a chegada do 1º caminhão (Tabela C 3).

Tabela A 1- RUP do tempo de lançamento

<b>Tipo de concretagem</b>	<b>Quant. de colaboradores</b>	<b>Tempo de lançamento do concreto (horas)</b>	<b>Quant. de serviço (m³)</b>	<b>RUP</b>
1ª Concretagem com CAA	14	01:16:00	88	0,20
2ª Concretagem com CAA	12	01:13:00	88	0,17
Concretagem com CCV	21	02:03:00	88	0,49

Tabela A 2 - RUP com o tempo de espera entre os caminhões betoneira

<b>Tipo de concretagem</b>	<b>Quant. de colaboradores</b>	<b>Tempo de lançamento do concreto (horas)</b>	<b>Tempo de espera entre caminhões (horas)</b>	<b>Quant. de serviço (m³)</b>	<b>RUP</b>
1ª Concretagem com CAA	14	01:16:00	02:30:00	88	0,60
2ª Concretagem com CAA	12	01:13:00	06:45:00	88	1,09
Concretagem com CCV	21	02:03:00	05:35:00	88	1,82

Tabela A 3 - RUP com tempo de espera para a chegada do 1º caminhão betoneira

<b>Tipo de concretagem</b>	<b>Quant. de colaboradores</b>	<b>Tempo de lançamento do concreto (horas)</b>	<b>Tempo de espera entre caminhões (horas)</b>	<b>Tempo de espera para a chegada do 1º caminhão</b>	<b>Quant. de serviço (m³)</b>	<b>RUP</b>
1ª Concretagem com CAA	14	01:16:00	02:30:00	03:25:00	88	1,14
2ª Concretagem com CAA	12	01:13:00	06:45:00	04:41:00	88	1,73
Concretagem com CCV	21	02:03:00	05:35:00	01:35:00	88	2,20

## ANEXO B – MEMORIAL DE CÁLCULO DO CUSTO COM A ADMINISTRAÇÃO

Neste item serão apresentados os memoriais de cálculo para o custo com a mão de obra da administração nas três concretagens.

Tabela B 1 - Custo com a administração na 1ª concretagem com CAA

<b>Cargo</b>	<b>Quant. de horas (CAA)</b>	<b>Valor Homem/hora</b>	<b>Total – 1ª CAA</b>
Técnico	01:16	R\$ 28,51	R\$ 36,11
Mestre	01:16	R\$ 17,14	R\$ 21,71
Almoxarife	01:16	R\$ 8,26	R\$ 10,46
Técnico de segurança do trabalho	01:16	R\$ 9,76	R\$ 12,36
Estagiário	01:16	R\$ 3,28	R\$ 4,15
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 84,80</b>

Tabela B 2 - Custo com a administração na 2ª concretagem com CAA

<b>Cargo</b>	<b>Quant. de horas (CAA)</b>	<b>Valor Homem/hora</b>	<b>Total – 2ª CAA</b>
Técnico	01:13	R\$ 28,51	R\$ 34,69
Mestre	01:13	R\$ 17,14	R\$ 20,85
Almoxarife	01:13	R\$ 8,26	R\$ 10,05
Técnico de segurança do trabalho	01:13	R\$ 9,76	R\$ 11,87
Estagiário	01:13	R\$ 3,28	R\$ 3,99
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 81,46</b>

Tabela B 3 - Custo com a administração na concretagem com CCV

<b>Cargo</b>	<b>Quant. de horas</b>	<b>Valor Homem/hora</b>	<b>Total - CCV</b>
Técnico	02:03	R\$ 28,51	R\$ 58,45
Mestre	02:03	R\$ 17,14	R\$ 35,14
Almoxarife	02:03	R\$ 8,26	R\$ 16,93
Técnico de segurança do trabalho	02:03	R\$ 9,76	R\$ 20,01
Estagiário	02:03	R\$ 3,28	R\$ 6,72
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 137,25</b>

## ANEXO C – MEMORIAL DE CÁLCULO DO CUSTO COM OPERÁRIOS

Neste item serão apresentados os memoriais de cálculo para o custo com a mão de obra dos operários nas três concretagens.

Tabela C 1 - Custo com operários na 1ª concretagem com CAA

<b>Núm. de colaboradores</b>	<b>Cargo</b>	<b>Quantidade de horas</b>	<b>Valor Homem/hora</b>	<b>Total CAA</b>
1	Ferreiro	01:16	R\$ 28,51	R\$ 36,11
1	Carpinteiro	01:16	R\$ 17,14	R\$ 21,71
2	Pedreiros	01:16	R\$ 8,26	R\$ 20,93
5	Serventes	01:16	R\$ 6,22	R\$ 39,39
<b>TOTAL</b>				<b>R\$ 118,14</b>

Tabela C 2 - Custo com operários na 2ª concretagem com CAA

<b>Núm. de colaboradores</b>	<b>Cargo</b>	<b>Quantidade de horas</b>	<b>Valor Homem/hora</b>	<b>Total CAA</b>
1	Ferreiro	01:13	R\$ 28,51	R\$ 34,69
1	Carpinteiro	01:13	R\$ 17,14	R\$ 20,85
2	Pedreiros	01:13	R\$ 8,26	R\$ 20,10
3	Serventes	01:13	R\$ 6,22	R\$ 22,71
<b>TOTAL</b>				<b>R\$ 98,34</b>

Tabela C 3 - Custo com operários na concretagem com CCV

<b>Núm. de colaboradores</b>	<b>Cargo</b>	<b>Quantidade de horas</b>	<b>Valor Homem/hora</b>	<b>Total - CCV</b>
1	Ferreiro	02:58	R\$ 28,51	R\$ 84,58
2	Carpinteiros	02:58	R\$ 17,14	R\$ 101,70
3	Pedreiros	02:58	R\$ 8,26	R\$ 73,51
9	Serventes	02:58	R\$ 6,22	R\$ 166,07
1	Aux.Eletricista	02:58	R\$ 6,61	R\$ 19,61
<b>TOTAL</b>				<b>R\$ 445,47</b>

## ANEXO D – MEMORIAL DE CÁLCULO DO RISCO DE ACIDENTES DE TRABALHO

Neste item serão apresentados os memoriais de cálculo para o risco de acidentes de trabalho durante as concretagens.

Tabela D 1 - Risco de acidentes de trabalho

<b>Tipo de concretagem</b>	<b>Quantidade de colaboradores</b>	<b>Tempo de trabalho em altura (h)</b>	<b>Risco de acidentes</b>
1º Concretagem (CAA)	9	01:16	10,44
2º Concretagem (CAA)	7	01:13	7,91
Concretagem com CCV	16	02:03	32,48