



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

ADA CATARINA SOARES DE SENA COSTA

**ANÁLISE COMPARATIVA DO USO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL E DO
CONCRETO CONVENCIONAL EM OBRAS VERTICAIS**

FORTALEZA

2017

ADA CATARINA SOARES DE SENA COSTA

ANÁLISE COMPARATIVA DO USO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL E DO
CONCRETO CONVENCIONAL EM OBRAS VERTICAIS

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. Antonio Eduardo Bezerra Cabral.

FORTALEZA

2017

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)

C87a Costa, Ada Catarina Soares de Sena.
Análise comparativa do uso do concreto autoadensável e do concreto convencional em obras verticais
/ Ada Catarina Soares de Sena Costa. – 2017.
111 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Antonio Eduardo Bezerra Cabral.

1. Concreto autoadensável. 2. Indicadores. 3. Ruído. 4. Produtividade. 5. Custos. I. Título.

CDD 624.1

ADA CATARINA SOARES DE SENA COSTA

ANÁLISE COMPARATIVA DO USO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL E DO
CONCRETO CONVENCIONAL EM OBRAS VERTICAIS

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: 30/11/2017.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dra. Vanessa Ribeiro Campos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Oswaldo Cascudo Matos
Universidade Federal de Goiás (UFG)

A Deus.

Aos meus familiares.

Aos meus professores.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me trouxe até Fortaleza e me tornou capaz de assumir tamanha responsabilidade para o meu engrandecimento pessoal e profissional.

A Cimento Apodi, pelo patrocínio e parceria nesta pesquisa.

Às construtoras Magis e C. Rolim Engenharia, assim como à Beton Tecnologia, pela parceria estabelecida durante a realização dos estudos de caso.

Ao Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado do Ceará (Sinduscon-CE), por todo apoio e incentivo, e por intermediar a relação com as empresas.

Aos técnicos do Laboratório de Materiais do NUTEC, Douglas e Adriano, por toda ajuda e principalmente pela amizade.

Ao Prof. Eduardo Cabral, pela orientação e por todos os ensinamentos extra acadêmicos concedidos, os quais contribuíram consideravelmente para que eu mantivesse o equilíbrio em momentos difíceis.

Aos amigos Ana Mara, Ana Tália, Arthur, Bernardo, Bruno, Davi, David, Lílian, Mariana Leite, Mariana Lira, Michelle, Miguel, Raphael e Savanna, os quais me auxiliaram e me deram força em muitos momentos durante a realização do mestrado.

A Felipe, por todo o tempo que estive ao meu lado com o seu incentivo essencial.

Aos meus familiares, que abdicaram da minha presença e/ou ajuda em muitos momentos difíceis, para que eu me dedicasse exclusivamente ao mestrado.

À Whyoskynária (Will), bolsista de Iniciação Científica, pelo respeito, paciência, trabalho e amizade.

Aos técnicos do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da UFC, por tudo em que me ajudaram e me ensinaram.

Aos professores Bruno Bertoncini e Mário, do Departamento de Transportes da UFC, pelo empréstimo dos decibelímetros e, sobretudo, pela incrível atenção que me deram todas as vezes que os procurei.

Ao Prof. Oswaldo Cascudo e a Profa. Vanessa Campos, membros da banca, pelas valiosas contribuições para a melhoria dessa dissertação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Aos demais que me ajudaram e não foram citados. Essa dissertação só foi concretizada graças aos anjos que Deus colocou no momento certo em minha vida. Que Deus os abençoe grandemente!

"Você precisa fazer aquilo que pensa que não é capaz de fazer." (Eleanor Roosevelt)

RESUMO

O concreto autoadensável (CAA) é uma evolução do concreto convencional (CCV), e embora existam vários estudos que comprovem sua viabilidade técnica e econômica em diversos locais e tipos de obra, não se tem essa certeza para as edificações verticais em Fortaleza/CE. Sabe-se, contudo, que há interesse das construtoras em usar essa tecnologia, desde que comprovada a sua viabilidade. Logo, justifica-se a necessidade de obtenção de dados locais acerca das vantagens técnicas e econômicas da utilização desta tecnologia, como forma de impulsionar a sua produção e consumo. Neste sentido, a presente pesquisa tem como objetivo comparar o uso do CAA em relação ao CCV em obras de edificações verticais executadas em Fortaleza/CE por meio de dois estudos de caso. Para tanto, foi desenvolvido um traço de CAA em laboratório, passando por sua validação numa central de concreto até o seu uso nas obras. Foi realizada a substituição do CCV por CAA em duas obras. Ruído, tempo, custos, quantidade de mão de obra e de maquinários e ferramentas foram mensurados durante as concretagens, sendo necessária a utilização de indicadores de desempenho, estabelecidos a partir desses parâmetros, para efeito de comparação entre os tipos de concreto em questão. O CAA possibilitou a redução da mão de obra e dos maquinários e ferramentas usados nas concretagens, promovendo ainda a melhoria da produtividade desses. Houve redução do ruído perceptível na laje e dos custos com a mão de obra, devido à dispensa do uso do vibrador de imersão para o adensamento do CAA. O custo do CAA por metro cúbico foi superior em relação ao CCV, no entanto, o custo do CAA por MPa diminuiu conforme se aumentou a resistência característica à compressão do concreto. Em simulação feita com os resultados obtidos e considerando-se apenas os custos com mão de obra e material, o CAA necessitaria ser no máximo R\$ 11,13 mais caro que o CCV para a resistência característica à compressão de 30 MPa, e apenas R\$ 4,56 mais caro para a resistência de 35 MPa, para que os custos para ambas as tecnologias fossem equivalentes.

Palavras-chave: Concreto autoadensável. Indicadores. Ruído. Produtividade. Custos.

ABSTRACT

Self-compacting concrete (SCC) is an evolution of conventional concrete (CVC), and although there are several studies that prove its technical and economic feasibility in several places and types of work, this is not certain for vertical buildings in Fortaleza/CE. It is known, however, that it is in the interest of the builders to use this technology, provided that its feasibility is proven. Therefore, it is justified the need to obtain local data about the technical and economic advantages of the use of this technology, as a way of boosting its production and consumption. In this sense, the present research aims to compare the use of SCC in relation to the CVC in works of vertical buildings executed in Fortaleza/CE by means of two case studies. For that, a trace of SCC was developed in the laboratory, through its validation in a concrete plant until its use in the works. The CVC was replaced by SCC in two works. Noise, time, costs, quantity of manpower and machinery and tools were measured during concretions, and it is necessary to use performance indicators, established from these parameters, to compare the concrete types in question. The SCC made it possible to reduce the labor force and the machinery and tools used in concretes, while also promoting the improvement of their productivity. There was noticeable noise reduction on the slab and labor costs, due to the waiving of the use of the immersion vibrator for the densification of the SCC. The cost of SCC per cubic meter was higher than CVC, however, the cost of SCC per MPa decreased as the compressive strength of the concrete increased. In a simulation made with the results obtained and considering only labor and material costs, the SCC would need to be at most R\$ 11.13 more expensive than the CVC for the characteristic compressive strength of 30 MPa, and only R\$ 4.56 more expensive for the resistance of 35 MPa, so that the costs for both technologies were equivalent.

Keywords: Self compacting concrete. Indicators. Noise. Productivity. Costs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Métodos para verificação da compatibilidade do aditivo com o cimento: a) Minicone para o "mini slump test"; b) Cone de Marsh.....	24
Figura 2 – Esquema do método de Okamura e Ozawa para alcançar a autoandesabilidade do concreto.....	27
Figura 3 – Medição do slump-flow.....	31
Figura 4 – Execução do ensaio do Funil V.	32
Figura 5 – Ensaio do anel J.....	32
Figura 6 – Caixa L após o ensaio.....	33
Figura 7 – Preenchimento da coluna de segregação durante ensaio.....	33
Figura 8 – Comparativo de custos entre o CAA e o CCV, ambos de 20 MPa.....	35
Figura 9 – Facilidade de penetração do CAA em regiões de alta concentração de armaduras.....	35
Figura 10 – Concretagem com o CAA na empresa A com poucos operários.....	36
Figura 11 – A plicação do CAA em lajes e vigas.	37
Figura 12 – Arquibancada da Arena Pernambuco em CAA.....	39
Figura 13 – Construção em paredes de concreto utilizando CAA.	39
Figura 14 – Mecanismo de influência da Produtividade.	41
Figura 15 – Abrangências do estudo da produtividade.....	42
Figura 16 – Variação da produtividade no serviço de concretagem.	43
Figura 17 – Etapas metodológicas.....	45
Figura 18 – Curvas granulométricas dos agregados miúdos.	48
Figura 19 – Curvas granulométricas dos agregados graúdos.	49
Figura 20 – Fluxograma de dosagem do método Su et al. (2001).....	50
Figura 21 – Maquete eletrônica do Aquarela Condomínio Clube.....	53
Figura 22 – Planta de forma do sexto pavimento-tipo (Torre 3) da Obra Nº 1.	54
Figura 23 – Mapa de concretagem da Obra Nº 1.	54
Figura 24 – Fachada eletrônica frontal do Uno Medical & Office.....	55
Figura 25 – Planta de forma do quarto teto da Obra Nº 2.	55
Figura 26 – Mapa de concretagem da Obra Nº2.	56
Figura 27 – Exemplos de espaços vazios entre as formas.	57
Figura 28 – Trecho delimitado para o CAA: a) Com fita adesiva; b) Sem fita adesiva.....	57
Figura 29 – a) Tapa Nervura; b) bloco de concreto travando o Tapa Nervura.	58
Figura 30 – Contenção para o CAA na Obra Nº 1.....	58

Figura 31 – Contenção para o CAA na Obra N° 2.....	59
Figura 32 – Reunião com os operários na Obra N° 2.	60
Figura 33 – Dosagem do aditivo superplastificante na Obra N° 1.	61
Figura 34 – Concretagem na Obra N° 1: a) lançamento e espalhamento do CAA; b) acabamento do CAA.	62
Figura 35 – Lançamento e espalhamento do CAA na Obra N° 2.	63
Figura 36 – Decibelímetros utilizados nas medições de ruído a) no entorno; b) na laje.	65
Figura 37 – Recorte do layout do canteiro de obras da Obra N° 1, demonstrando a posição do decibelímetro no entorno da obra (subsolo).	66
Figura 38 – Posição do decibelímetro na Obra N° 2 no entorno da obra (pavimento térreo – imediatamente inferior ao pavimento em exibição).	66
Figura 39 – Medições de ruído a) no entorno da obra; b) na laje.	67
Figura 40 – Ensaios no estado fresco: a) Slump-flow realizado no CAA em laboratório; b) Slump-flow realizado no CAA na central de concreto; c) Ensaio do anel J realizado no CAA em laboratório; d) Ensaio do anel J realizado CAA na central de concreto.	72
Figura 41 – Resistência média à compressão do CAA produzido em laboratório e na central.	73
Figura 42 – Slump flow do quarto caminhão-betoneira contendo CAA da Obra N° 2.	75
Figura 43 – Resistência à compressão dos concretos da Obra N° 1.	76
Figura 44 – Resistência à compressão dos concretos da Obra N° 2.	77
Figura 45 – Assentamento e retração plásticos no CAA da Obra N° 1: a) laje; b) viga faixa. .	79
Figura 46 – Aparência do CAA após a desforma na Obra N° 1: a) trecho de laje sem fita adesiva; b) trecho de laje com fita adesiva; c) fundo de viga faixa; d) lateral de viga.	79
Figura 47 – Fissuras de retração no CAA da Obra N° 2: a) durante endurecimento; b) após 24 h.	80
Figura 48 – Aparência do CAA após a desforma na Obra N° 2: a) trecho de laje; b) trecho de laje em detalhe.	81
Figura 49 – Ruído medido sobre a laje da Obra N° 1.	82
Figura 50 – Ruído medido sobre a laje da Obra N° 2.	82
Figura 51 – Ruído medido no entorno da Obra N° 1.	83
Figura 52 – Ruído medido no entorno da Obra N° 2.	83
Figura 53 – Taxa de concretagem em termos de volume concretado por unidade de tempo. .	85

Figura 54 – RUPs da mão de obra (RUPMO).....	89
Figura 55 – RUPs dos maquinários e ferramentas (RUPMF).....	92
Figura 56 – Simulação dos custos da concretagem para a Obra N° 1.	97
Figura 57 – Simulação dos custos da concretagem para a Obra N° 2.	98
Figura 58 – Esquema que demonstra a localização do H1 considerado no ensaio da Caixa L realizado na Obra N° 2.	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – FRX do cimento CP IV-32-RS.....	47
Tabela 2 – Características dos agregados miúdos.	47
Tabela 3 – Características físicas dos agregados graúdos.	48
Tabela 4 – Requisitos do CAA em laboratório.	51
Tabela 5 – Traço final obtido em laboratório.	51
Tabela 6 – Requisitos dos CAA nas obras.	61
Tabela 7 – Resultados dos ensaios realizados no CAA, em teste, no estado fresco.....	71
Tabela 8 – Traço finais dos CAA.....	73
Tabela 9 – Resultados dos ensaios no estado fresco para o CAA da Obra Nº 1.....	74
Tabela 10 – Resultados dos ensaios no estado fresco para o CAA da Obra Nº 2.....	74
Tabela 11 – Módulo de elasticidade dos concretos da Obra Nº 1.....	76
Tabela 12 – Módulo de elasticidade dos concretos da Obra Nº 2.	78
Tabela 13 – Tempo de concretagem.	85
Tabela 14 – Quantitativo e RUP da mão de obra envolvida na concretagem na Obra Nº 1....	87
Tabela 15 – Quantitativo e RUP da mão de obra envolvida na concretagem na Obra Nº 2....	88
Tabela 16 – Quantitativo e RUP dos maquinários e ferramentas usados na Obra Nº 1.	90
Tabela 17 – Quantitativo e RUP dos maquinários e ferramentas usadas na Obra Nº 2.....	91
Tabela 18 – Custo dos concretos da Obra Nº 1.	93
Tabela 19 – Custo dos concretos da Obra Nº 2.	94
Tabela 20 – Custo da mão de obra da Obra Nº 1.....	95
Tabela 21 – Custo da mão de obra da Obra Nº 2.....	95
Tabela 22 – Simulação dos tempos de concretagem.	96
Tabela 23 – ANOVA – Módulo de elasticidade - Obra Nº 1.	111
Tabela 24 – ANOVA – Módulo de elasticidade - Obra Nº 2.	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	–	Comparação entre os métodos de dosagem nacionais de CAA.....	29
Quadro 2	–	Requisitos para o CAA no estado fresco em função de sua aplicação.....	30
Quadro 3	–	Indicadores usados.....	53
Quadro 4	–	Quadro resumo.....	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAA	Concreto autoadensável
CB	Caminhão-betoneira
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CCV	Concreto convencional
CP	Cimento Portland
dB	Decibel
DMC	Dimensão Máxima Característica
EFNARC	<i>European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems</i>
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FRX	Fluorescência de raios X
GPa	Gigapascal
IEV	Índice de Estabilidade Visual
LMCC	Laboratório de Materiais de Construção Civil
MF	Módulo de Finura
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NHO-01	Norma de Higiene Ocupacional 01
NR	Norma Regulamentadora
N.R.	Não realizado
NUTEC	Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará
RS	Resistente a sulfatos
RUP	Razão Unitária de Produção
UFC	Universidade Federal do Ceará

LISTA DE SÍMBOLOS

a/c	Água/cimento
a/f	Água/finos
Al_2O_3	Óxido de Alumínio
CaO	Óxido de cálcio
CO_2	Dióxido de Carbono
E_{ci}	Módulo de elasticidade
f_{ck}	Resistência característica à compressão
Fe_2O_3	Óxido férrico (de ferro III)
K_2O	Óxido de potássio
MnO	Monóxido de manganês
R\$	Reais
SiO_2	Dióxido de silício
SO_3	Trióxido de enxofre
SrO	Óxido de estrôncio
TiO_2	Dióxido de titânio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Contextualização.....	17
1.2	Justificativa.....	19
1.3	Objetivos.....	20
<i>1.3.1</i>	<i>Geral.....</i>	<i>20</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Específicos.....</i>	<i>20</i>
1.4	Limitações e delimitações da pesquisa.....	21
1.5	Estrutura de apresentação da pesquisa.....	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
2.1	Concreto Autoadensável.....	22
<i>2.1.1</i>	<i>Introdução.....</i>	<i>22</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Materiais componentes.....</i>	<i>23</i>
<i>2.1.3</i>	<i>Métodos de dosagem.....</i>	<i>26</i>
<i>2.1.4</i>	<i>Propriedades do CAA.....</i>	<i>30</i>
2.2	Casos de uso do CAA no âmbito nacional.....	34
2.3	Produtividade na construção civil.....	40
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
3.1	Desenvolvimento do traço de CAA.....	46
<i>3.1.1</i>	<i>Obtenção dos materiais e ensaios de caracterização.....</i>	<i>46</i>
<i>3.1.1.1</i>	<i>Cimento.....</i>	<i>46</i>
<i>3.1.1.2</i>	<i>Agregados miúdos.....</i>	<i>47</i>
<i>3.1.1.3</i>	<i>Agregados graúdos.....</i>	<i>48</i>
<i>3.1.1.4</i>	<i>Aditivo químico.....</i>	<i>49</i>
<i>3.1.1.5</i>	<i>Água.....</i>	<i>49</i>
<i>3.1.2</i>	<i>Produção do CAA em laboratório.....</i>	<i>50</i>
3.2	Validação do traço de CAA na central de concreto.....	52
3.3	Estudos de caso.....	52
<i>3.3.1</i>	<i>Características das obras.....</i>	<i>52</i>
<i>3.3.2</i>	<i>Estanqueidade das formas.....</i>	<i>56</i>
<i>3.3.3</i>	<i>Contenção do concreto.....</i>	<i>58</i>
<i>3.3.4</i>	<i>Reunião com os operários.....</i>	<i>59</i>
<i>3.3.5</i>	<i>Recebimento e lançamento dos concretos.....</i>	<i>60</i>

3.3.6	<i>Levantamento de dados nas obras</i>	63
3.3.7	<i>Indicadores de desempenho do processo construtivo</i>	68
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
4.1	Obtenção do traço de CAA	71
4.2	Ensaio no CAA no estado fresco – nas obras	73
4.3	Propriedades mecânicas dos CAA das obras	75
4.4	Estanqueidade das formas	78
4.5	Pós-concretagens	78
4.6	Análise comparativa entre o CAA e o CCV	81
4.6.1	<i>Ruído</i>	81
4.6.2	<i>Tempo de concretagem e taxa de concretagem</i>	84
4.6.3	<i>Quantidade e produtividade da mão de obra</i>	86
4.6.4	<i>Quantidade e produtividade do maquinário e ferramentas</i>	90
4.6.5	<i>Custos</i>	93
4.6.5.1	<i>Custo dos concretos por volume e por unidade de resistência à compressão</i>	93
4.6.5.2	<i>Custo da mão de obra por unidade de tempo</i>	94
4.6.6	<i>Extrapolações</i>	96
4.6.7	<i>Resumo dos resultados</i>	99
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
5.1	Conclusões	100
5.2	Considerações finais	102
5.3	Sugestões para trabalhos futuros	103
	REFERÊNCIAS	104
	APÊNDICE A – ADAPTAÇÃO NO ENSAIO DA CAIXA L	110
	APÊNDICE B – ANÁLISES ESTATÍSTICAS	111

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O concreto está presente em todas as partes do mundo, nos mais diversos tipos de construção. Trata-se, segundo Helene e Andrade (2010), do “mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade”, o qual se encontra em constante evolução.

Embora a resistência tenha sido o principal requisito de qualidade do concreto ao longo de sua história, a durabilidade passou a ser relevante devido à elevada quantidade de estruturas degradadas e principalmente aos onerosos gastos com a reabilitação das mesmas. As empresas fornecedoras de concreto não conseguem, no entanto, por si só garantir a qualidade do concreto. Sabe-se que o lançamento, o transporte, a cura, e, principalmente, o adensamento possuem forte influência na qualidade final do produto.

O adensamento no concreto deve ser realizado para eliminar o ar aprisionado em seu interior, bem como para garantir que o espaço entre as barras de armadura e arestas ou cantos das formas sejam preenchidos, podendo ser realizado através da introdução repetida de um bastão, ferramentas ou vibrador de imersão. A vibração excessiva, contudo, pode ocasionar a segregação dos materiais do concreto. (ALLEN; IANO, 2013)

Como consequência, o mau adensamento pode originar vazios na estrutura ou promover a exsudação da água da mistura, resultando em heterogeneidade de propriedades em diferentes partes do elemento, fissuras e, futuramente, outras manifestações patológicas (infiltrações, corrosão de armaduras) típicas de estruturas que apresentam falhas de concretagem. (HASTENPFLUG, 2007)

O concreto autoadensável (CAA), segundo Gomes e Barros (2009), é um concreto especial, cujas características próprias foram desenvolvidas para driblar a dificuldade de se realizar a vibração do concreto e para evitar a formação de nichos e pontos que facilitem a entrada de agentes deletérios, capazes de afetar diretamente a durabilidade das estruturas. Ou seja, para sanar um dos maiores problemas encontrados durante a concretagem de peças de formas complexas e de alta densidade de armaduras.

O CAA é capaz de se moldar facilmente e preencher os espaços destinados a ele por conta própria, isto é, sem a necessidade de compactação ou vibração externa de qualquer natureza (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015). De acordo com a *European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems* - EFNARC (2002), o CAA só será considerado como tal se for capaz de alcançar três propriedades simultaneamente: fluidez,

habilidade passante e resistência à segregação.

Dessa forma, o CAA é considerado uma evolução do concreto convencional (CCV), desempenhando uma série de vantagens importantes para a indústria da construção (GOMES; BARROS, 2009). Conforme Skarendahl e Petersson (1999), o CAA provou oferecer melhorias significativas no ambiente de trabalho e no desempenho, além de melhorias na redução do tempo de construção e custos, incentivando fortemente o envolvimento industrial.

De acordo com Gomes e Barros (2009), a obtenção do CAA não é uma tarefa simples, devido principalmente à grande variabilidade nas características dos materiais que o constituem, sejam estes naturais ou industrializados. Para Tutikian e Dal Molin (2015), o CAA no estado fresco é muito mais sensível às variações de qualidade e uniformidade de seus materiais constituintes do que o concreto convencional (CCV).

Segundo Cavalcanti (2006), o CAA pode ser utilizado em qualquer tipo de estrutura, além de ser capaz de apresentar benefícios econômicos, em termos de aumento de produtividade e redução de custos; tecnológicos, ao permitir a moldagem de estruturas com formas complexas e/ou com altas taxas de armaduras; e ambientais, por melhorar o ambiente de trabalho e contribuir para a diminuição dos impactos ambientais quando em sua composição é utilizado algum tipo de resíduo industrial.

A versatilidade do CAA permite que ele possa ser moldado *in loco* ou na indústria de pré-moldados, dosado no canteiro de obras e até mesmo em centrais de concreto, de onde pode ser transportado em caminhão-betoneira até a construção. Pode ainda ser lançado com bombas de concreto, guias ou simplesmente espalhado. (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015)

A melhoria nas condições de trabalho e de segurança nas obras está relacionada à diminuição do risco de queda, exposição ao sol, problemas ergonômicos e de audição dos trabalhadores, devido à necessidade de menos gente trabalhando e exposta às insalubridades do ambiente. O CAA pode contribuir também com o meio ambiente por possibilitar o reaproveitamento de finos que seriam descartados na natureza em sua composição. (COUTINHO, 2011)

Tutikian e Dal Molin (2015) alertam para o fato de que a eliminação da vibração se torna interessante frente à economia de energia elétrica e mão de obra necessária, e mais ainda porque a vibração produz ruído e esta, por sua vez, pode causar doenças nos operários. O ruído em torno do canteiro de obras pode ser um problema sério em áreas urbanas, em concretagens noturnas e, principalmente, perto de escolas e hospitais.

Uma das principais características do CAA é a utilização de plastificantes e

superplastificantes em sua composição (CAMPOS, 2013). O uso de superplastificantes possibilitou a obtenção de misturas mais fluidas no estado fresco, atingindo elevadas resistências, sem que fosse necessário um consumo excessivo de cimento (NUNES, 2001). Su *et al.* (2001) afirmam que uma dosagem adequada de superplastificante no CAA pode melhorar a sua fluidez, capacidade autoadensável e resistência à segregação no estado fresco, para atender às especificações de projeto.

1.2 Justificativa

No Brasil, o CAA se tornou alvo de pesquisas e desde então tem aumentado o seu uso em obras correntes e especiais, sendo mais comum a sua utilização em empresas de pré-fabricados. (TUTIKIAN, 2007)

Apesar do seu custo de produção ainda ser elevado em relação aos custos de produção do CCV, acredita-se que suas inúmeras vantagens tornam o seu custo final mais barato, uma vez que há ganhos em termos de produtividade através, principalmente, da rapidez na execução e envolvimento de menor quantidade de mão de obra e equipamentos.

Domone (2006) realizou a análise de 68 estudos de caso publicados durante a primeira década de uso significativo do CAA - 1993 a 2003 -, constatando que ele foi utilizado para diversas aplicações e propósitos. Como principais motivos para o uso do CAA, 67% dos casos apontaram as vantagens técnicas sobre o CCV, 14% optaram pelo CAA por benefícios econômicos, 10% envolveram o uso do CAA em uma nova forma de construção e o restante dos casos não declarou os motivos ou não os deixou claros. Benefícios ambientais, baixo ruído e vibração, além de melhores condições de trabalho também foram citados.

Há relatos que comprovam as vantagens do CAA, dentre os quais se pode citar o estudo comparativo entre as aplicações do CCV e do CAA na obra do residencial Pateo São Paulo, onde foram constatadas reduções de 2h e 20 min no tempo total de aplicação do concreto e de R\$ 6,48 no custo da mão de obra, com encargos, para aplicação dos concretos quando da utilização do CAA em relação ao CCV (FARIA, 2008).

Em Goiânia, o CAA foi utilizado como substituto ao CCV em lajes e vigas de um edifício residencial para um f_{ck} de 20 MPa. Constatou-se que o CAA permitiu uma redução em torno de 70% no valor da mão de obra e 90% no uso de equipamentos e energia elétrica, além de ter aumentado a velocidade de concretagem em quase 300%. Embora o material tenha custado 18,3% a mais que o CCV e representado um custo global 8% superior ao CCV, considerando apenas os custos diretos, acredita-se que ao serem considerados os custos

indiretos e a redução de custos que os demais benefícios proporcionam, o custo total do CAA se torne menor que o do CCV. (GEYER, 2005)

Tutikian *et al.* (2006) realizaram a comparação do CAA com o CCV em duas empresas de pré-moldados e puderam concluir que o método com o CAA foi viável técnica e economicamente para ambas, promovendo uma redução de custo total de 3,09% na empresa “A” e um aumento de 2,82% na empresa “B”. Segundo os autores, o aumento provocado pelo custo dos materiais foi totalmente compensado por seus ganhos de mão de obra no adensamento, no acabamento e nos reparos, sem contar com outros ganhos que não foram mensurados, como por exemplo, a diminuição dos funcionários no processo e a diminuição do ruído.

Em estudo realizado por Serra (2015) junto ao Sinduscon-CE, uma pesquisa de opinião revelou que até então nenhuma construtora havia utilizado o CAA em obra de edificação vertical, embora houvesse unanimidade de interesse no uso dessa tecnologia. Das empresas respondentes, um total de 50% declararam que usariam o CAA se os seus benefícios fossem comprovados, ou seja, verifica-se que há espaço no mercado para a sua utilização.

Portanto, embora haja na literatura casos de sucesso com o uso do CAA e interesse por parte das construtoras, na cidade de Fortaleza/CE o mercado ainda não absorveu essa tecnologia. Dessa forma, justifica-se a necessidade de realização de um estudo que forneça dados locais acerca das vantagens técnicas e econômicas da utilização do CAA em obras de edificações verticais, como forma de impulsionar a sua produção e consumo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

O objetivo geral deste trabalho é comparar o uso do CAA em relação ao CCV em obras de edificações verticais executadas em Fortaleza/CE por meio de dois estudos de caso.

1.3.2 Específicos

- a) Desenvolver um traço de CAA a partir de materiais comumente utilizados para o CCV pela central de concreto;
- b) Validar o traço na central de concreto, com a devida adequação aos

procedimentos de mistura dos materiais nesse ambiente;

c) Realizar estudo de caso do uso do CAA em duas obras verticais, com características distintas;

d) Usar indicadores técnicos de custo, ruído, taxa de concretagem, produtividade da mão de obra e produtividade dos maquinários e ferramentas para efeito de comparação do uso do CAA e do CCV.

1.4 Limitações e delimitações da pesquisa

Esta pesquisa contém algumas limitações que necessitam ser esclarecidas, uma vez que os resultados obtidos estão ligados a elas. Os testes em obra foram realizados em trechos de lajes não idênticas, que embora parametrizados, podem não expressar condições de concretagem semelhantes aos parâmetros testados. Outra limitação se refere a não preparação das obras para este tipo de concreto, ou seja, elas possuíam desníveis e vigas invertidas que impossibilitavam ou dificultavam a concretagem com o CAA. Os resultados obtidos e apresentados nesta dissertação se limitam às condições especificadas para os estudos de caso realizados, não havendo, portanto, condições de fazer generalizações a partir deles.

1.5 Estrutura de apresentação da pesquisa

Esta pesquisa se encontra estruturada em cinco capítulos. No capítulo 1, apresenta-se a Introdução, junto com a Justificativa, Objetivos, Limitações e delimitações da pesquisa, além da Estrutura de apresentação.

O capítulo 2 compõe o referencial teórico que embasou o estudo realizado, ou seja, apresenta conteúdo sobre o CAA (materiais constituintes, métodos de dosagem, propriedades e estudos de aplicação do material), além de conteúdo sobre a produtividade na construção civil.

No capítulo 3 se encontram descritos os Materiais e Métodos empregados na realização desta pesquisa.

O capítulo 4, por sua vez, contempla os Resultados e Discussões, onde os resultados obtidos nesta pesquisa são confrontados com os resultados de outros estudos presentes na literatura.

O capítulo 5 aponta as Considerações Finais, com Conclusões e Sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta conteúdo teórico sobre o CAA, desde o seu surgimento, composição, métodos de dosagem, propriedades inerentes, até o seu uso no Brasil. E ainda, como o uso do CAA promove ganho de produtividade, traz uma abordagem acerca da produtividade na construção civil.

2.1 Concreto Autoadensável

2.1.1 Introdução

Para garantir concretos duráveis, era necessário que estes fossem adequadamente compactados por profissionais qualificados. A redução gradual destes profissionais no Japão se refletiu na redução da qualidade do trabalho na construção, fazendo com que o problema da durabilidade de estruturas de concreto se tornasse o tópico de maior interesse naquele país a partir de 1983. A solução para a obtenção de estruturas de concreto duráveis, independente da qualidade da mão de obra envolvida, estava condicionada ao emprego de um concreto que fosse capaz de se compactar em todos os cantos da forma somente pela ação de seu próprio peso, sem a necessidade de compactação vibratória. Assim, em 1986, Okamura propôs a necessidade do uso do concreto autoadensável. (OKAMURA; OUCHI, 2003)

Collepari (2001) acredita, no entanto, que tal concreto ou uma espécie de precursor muito próximo foi estudado e utilizado em Hong Kong, Nova Iorque e Trieste (Itália) entre 1976 e 1981. Nunes (2001) relata que, antes mesmo do advento dos superplastificantes, surgiram situações na qual o concreto foi usado em condições em que a compactação era impraticável, como, por exemplo, em concretagens submersas, de estacas e onde o preenchimento de espaços era inacessível. Devido ao elevado consumo de cimento nessas misturas e seus efeitos secundários, além do alto custo, a aplicação desses concretos ficou restrita a projetos especiais.

Foi na Universidade de Tóquio, no Japão, que o CAA foi desenvolvido, tendo seu primeiro protótipo sido obtido em 1988 por Ozawa (GOMES; BARROS, 2009), utilizando-se material do mercado local (OKAMURA; OUCHI, 1999). Esse protótipo apresentou desempenho satisfatório quanto à retração por secagem e endurecimento, calor de hidratação, densidade após endurecimento e outras propriedades (OZAWA *et al.*, 1989 *apud* OKAMURA; OUCHI, 1999).

De acordo com Okamura e Ouchi (2003), o concreto supracitado foi nomeado *High Performance Concrete* (Concreto de Alto Desempenho) e em seus três estágios, foi definido como se segue:

- (i) Fresco: autoadensável;
- (ii) Idade precoce: prevenção de defeitos iniciais;
- (iii) Endurecido: proteção contra fatores externos.

Paralelamente, Aïtcin *et al.* definiram *high performance concrete* como o concreto que, devido à baixa relação água/cimento (a/c), possuía elevada durabilidade. A partir de então, esse termo passou a ser utilizado em todo o mundo para se referir ao concreto de alta durabilidade. A designação do concreto proposto, portanto, foi alterada para *self-compacting high performance concrete* (concreto de alto desempenho autoadensável). (OKAMURA; OUCHI, 2003)

O CAA surgiu na Europa em meados de 1990 (BILLBERG, 1999 *apud* GOMES; BARROS, 2009), onde se tornou especialmente popular (GEIKER, 2008). Conforme destacam Nielsen *et al.* (2007 *apud* GEIKER, 2008), em 2005, 70% do concreto pré-fabricado na Holanda advinha desta tecnologia, enquanto na Dinamarca, 30% da mistura de concreto pronto foram produzidos com o CAA.

No Brasil, a NBR 15823-1 (ABNT, 2017a, p. 2) define o CAA como sendo o “concreto capaz de fluir, autoadensar pelo seu peso próprio, preencher a fôrma e passar por embutidos (armaduras, dutos e insertos), enquanto mantém sua homogeneidade (ausência de segregação) nas etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento”.

2.1.2 Materiais componentes

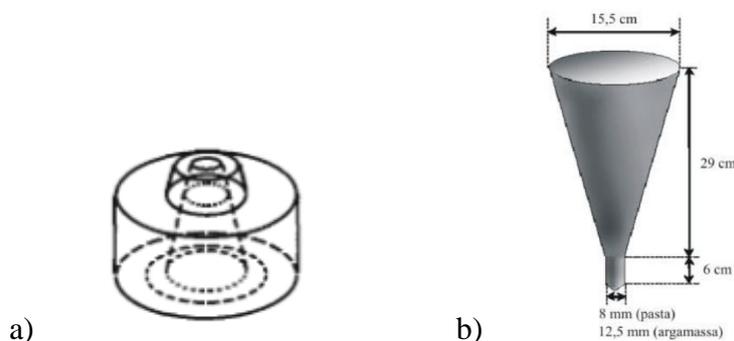
Os materiais empregados na produção do CAA são os mesmos comumente usados nos CCV, contudo, a composição final da mistura e suas características no estado fresco são diferentes (ASLANI; NEJADI, 2012). Há de se considerar que na composição do CAA empregam-se mais materiais finos do que no CCV, além de aditivos dispersantes de grande eficiência. Em caso de necessidade de se aumentar a viscosidade da pasta do concreto, pode-se agregar ainda um aditivo modificador de viscosidade (REPETTE, 2011).

Os aditivos superplastificantes mais indicados para o CAA são os policarboxilatos (aditivos de 3ª geração), por permitirem maior redução de água (NUNES, 2001) e melhorarem a dispersão das partículas de cimento, exigindo menos água para fluidificar a pasta quando

comparado aos aditivos de 2ª geração (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015). Considerando-se que, por conter sulfato em sua constituição, a depender das proporções de aluminatos e gipsita presentes no cimento, existe a possibilidade de ocorrerem reações químicas indesejáveis capazes de eliminar completamente a eficiência do produto, ocasionando a denominada “incompatibilidade do superplastificante com o cimento” (ARAÚJO, 2003).

De acordo com Aïtcin (2000), existem dois métodos simplificados amplamente utilizados para avaliar a compatibilidade do superplastificante com o cimento - o “*mini-slump*” e o cone de Marsh -, ambos representados nas Figuras 1a e 1b, respectivamente. A vantagem do primeiro consiste em requerer uma quantidade menor de material em comparação com o segundo, mas a pasta autoadensável é avaliada em um comportamento mais estático, enquanto no método do cone de Marsh a pasta autoadensável é testada numa condição mais dinâmica. O autor sugere que o uso simultâneo de ambos seja interessante, do ponto de vista de que diferentes parâmetros reológicos possam ser testados ao mesmo tempo, embora a preferência pessoal do autor seja pelo método do cone de Marsh.

Figura 1 – Métodos para verificação da compatibilidade do aditivo com o cimento: a) Minicone para o "*mini slump test*"; b) Cone de Marsh.



Fonte: a) Aïtcin (2000) e b) Melo (2005).

Os aditivos modificadores de viscosidade e as adições minerais são responsáveis pela resistência à segregação do CAA, apesar da alta fluidez ou deformabilidade no estado fresco, uma vez que tendem a aumentar a coesão da mistura e evitar a segregação do agregado graúdo. (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015)

A relevância das adições minerais para o CAA se dá devido sua contribuição para a diminuição da dosagem do cimento, redução do calor de hidratação e do aparecimento de fissuras internas no concreto, bem como melhora do comportamento da sua microestrutura. Os finos ocupam os poros de menor escala e aumentam a viscosidade, o que reduz a fricção

entre os agregados e resulta em aumento da resistência à segregação e/ou exsudação. (CAVALCANTI, 2006)

As adições minerais podem ser classificadas, de acordo com a sua ação físico-química, em quimicamente ativas ou sem atividade química. Na primeira classificação, enquadram-se os materiais cimentantes e os materiais pozolânicos, ambos passíveis de serem usados na obtenção dos CAA, embora as adições pozolânicas ultra-finas (sílica ativa, metacaulim e cinza de casca de arroz) tenham se mostrado mais efetivas no aumento de sua coesão, resistência e durabilidade. Os filers se enquadram na segunda classificação, sendo o calcário e a areia fina os mais tradicionais filers usados para a produção do CAA. (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015)

Qualquer tipo de cimento é indicado para o CAA, segundo Klein (2008), porém com cautela no uso de cimentos muito finos ou que apresentem porcentagem elevada de aluminatos em sua composição. Teores acima de 10% de C_3A (aluminato tricálcico) podem resultar em rápida perda de fluidez, tornando o uso do CAA inapropriado em obras, devido à dificuldade de sua aplicação (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015). Sobre a finura do cimento, Nunes (2001) afirma que quanto maior sua superfície específica, maior será a viscosidade plástica. Conforme Hastenpflug (2007), cimentos mais finos proporcionam resistências maiores em idades precoces, mas também liberam maior calor de hidratação.

Para o CAA, o consumo de cimento situa-se entre 200 kg/m^3 a 450 kg/m^3 , a depender da utilização de adições reativas ou inertes. Abaixo de 300 kg/m^3 , deve-se considerar a necessidade de inclusão de outro material cimentício, como por exemplo, a cinza volante, a escória, ou outro. Dosagens superiores a 500 kg/m^3 requerem cuidados adicionais, em virtude da possibilidade de desencadear retração. (GOMES; BARROS, 2009)

Acredita-se que a retração da pasta é a principal razão para ocorrer a fissuração do concreto e que o agregado restringe essa retração e, conseqüentemente, a retração do concreto (FUJIWARA, 2008). Segundo Gomes e Barros (2009), o conteúdo de agregados graúdos no CAA deve estar compreendido entre 28% e 35% do volume do concreto, com proporções aproximadas de 750 kg/m^3 a 920 kg/m^3 , enquanto que o volume de agregados miúdos deva variar entre 40% a 50% do volume de argamassa, com proporções aproximadas de 710 kg/m^3 a 900 kg/m^3 .

A forma e a distribuição granulométrica dos agregados são de grande importância para os CAA, pois influencia no empacotamento e o índice de vazios dele, mas também o fluxo e a habilidade passante do concreto pelas armaduras. Por esse motivo, o espaçamento da armadura é o fator limitante para determinar o tamanho máximo do agregado graúdo, devendo

geralmente ser limitado de 12 mm a 20 mm (embora tamanhos maiores tenham sido utilizados). Quanto mais esféricas forem as partículas, menos susceptíveis de causar bloqueio e maior é o fluxo, por causa da fricção interna reduzida. (EFNARC, 2005)

Tanto as areias naturais quanto as artificiais (obtidas de processos industriais) são adequadas para a produção do CAA, sendo preferíveis as areias de grãos arredondados e lisos, por aumentarem a fluidez da mistura para uma mesma quantidade de água (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015).

2.1.3 Métodos de dosagem

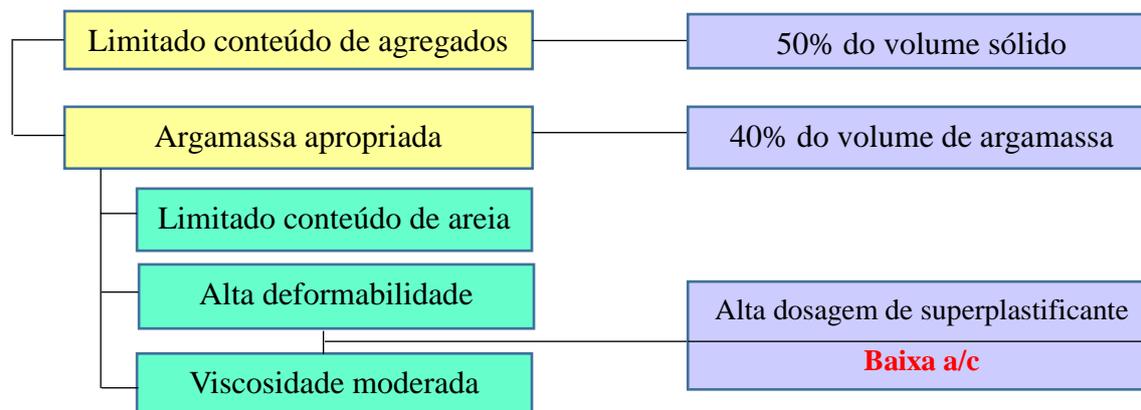
De acordo com Tutikian e Helene (2011), o estudo de dosagem refere-se aos procedimentos necessários para a obtenção do proporcionamento adequado dos materiais constituintes do concreto, visando obter a mistura ideal e mais econômica com os materiais disponíveis em uma determinada região.

O método de dosagem é um passo crítico para a obtenção de CAA de alta qualidade, de acordo com Shi *et al.* (2015). Segundo os autores, um bom método de dosagem deve ser amplamente aplicável e possuir forte robustez para matérias-primas variáveis, além de considerar requisitos técnicos, sustentabilidade e custo.

Geralmente, a otimização da mistura do CAA é focada na constituição dos pós, volume de pasta, características e proporções de agregados miúdos e graúdos para o concreto, de modo a atender, entre outros, os requisitos no estado fresco: capacidade de fluxo, fluidez e habilidade passante. (NEPOMUCENO *et al.*, 2016)

Em 1995, Okamura e Ozawa definiram como método de obtenção da autoadensabilidade do concreto: limitado conteúdo de agregados; baixa relação a/c; e uso de superplastificante. A Figura 2 ilustra este método, que, embora não destaque, a relação a/c é assumida como 0,9 a 1,0 em volume, dependendo das propriedades do cimento, além da dosagem do superplastificante e a proporção final da relação a/c serem determinadas experimentalmente para garantir a autoadensabilidade. (OKAMURA; OUCHI, 2003)

Figura 2 - Esquema do método de Okamura e Ozawa para alcançar a autoandabilidade do concreto.



Fonte: Traduzido de Okamura e Ouchi (2003).

Okamura e Ouchi (2003) esclarecem que, ao contrário do CCV, em que a relação a/c é fixada em função da resistência à compressão, para o CAA, a relação água/finos (a/f) deve ser decidida em função da autoadensabilidade, propriedade muito sensível a esta proporção. Para os autores, na maioria dos casos a relação a/f é suficientemente pequena para se obter a resistência necessária para estruturas normais, exceto quando a maioria dos materiais finos não seja reativa.

Su *et al.* (2001) desenvolveram um método simples para a obtenção de CAA. De acordo com os autores, as etapas do método são: seleção dos materiais, realização dos cálculos, realização dos testes na mistura e ajustes. A principal consideração deste método é a de que se faz necessário preencher os vazios entre os agregados com a pasta de aglomerantes, e, geralmente os vazios gerados pelo agregado solto é de cerca de 42% a 48%.

O Quadro 1 ilustra o estudo comparativo realizado por Fochs *et al.* (2013) entre cinco métodos de dosagem brasileiros, os quais foram divididos em dois grupos. Ao primeiro grupo pertencem os métodos de Gomes *et al.* de 2002 e Repette e Melo de 2005, pois avaliam as características da pasta e da pasta e da argamassa, respectivamente, conforme itens 2 e 3 do quadro, para depois avaliarem as características do concreto. De acordo com os autores, esses métodos dependem menos da experiência de quem os utiliza, contudo, podem demandar um número maior de testes e análises, bem como uma estrutura laboratorial mais bem equipada.

Os itens 2, 3 e 7 do Quadro 1 mostram que os demais métodos (Tutikian de 2004, Tutikian e Dal Molin de 2007 e Alencar e Helene de 2006), pertencentes ao segundo grupo, diferentemente dos métodos do primeiro grupo, avaliam o comportamento do concreto como um todo, ou seja, sem avaliar previamente as características de fluidez, viscosidade e segregação da pasta e/ou da argamassa. (FOCHS *et al.*, 2013)

Tutikian e Pacheco (2012) realizaram um estudo comparativo entre os métodos de Su *et al.* 2001, Repette e Melo 2005 e Tutikian e Dal Molin 2007, utilizando materiais do Sul do Brasil. O método que apresentou menores custos e maiores resistências à compressão aos 7, 28 e 91 dias foi o de Tutikian e Dal Molin 2007, enquanto o de Repette e Melo 2005 atingiu menor penetração de íons cloretos, melhor compactidade e maior módulo de elasticidade.

Apesar de um grande número de métodos de dosagem do CAA ter sido estudado em todo o mundo até o momento, não existe um método padrão, conforme afirmam Cazacu *et al.* (2017) e, por isso, os produtores devem desenvolver sua própria receita, uma vez que as propriedades constituintes são diferentes em cada local.

Quadro 1 - Comparação entre os métodos de dosagem nacionais de CAA.

Item	Critério ou aspecto avaliado	Métodos nacionais de dosagem de CAA				
		Gomes <i>et al.</i> de 2002	Repette e Melo de 2005	Tutikian de 2004	Tutikian e Dal Molin de 2007	Alencar e Helene de 2006
1	Busca o melhor proporcionamento dos agregados através da redução do volume de espaços entre as partículas.	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM
2	Avalia e ajusta indiretamente a viscosidade e fluidez da pasta.	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
3	Avalia e ajusta indiretamente a viscosidade e fluidez da argamassa.	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
4	Determina o ponto de saturação de SP.	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
5	Utiliza plastificante para melhora da trabalhabilidade do concreto antes da adição do SP.	NÃO	NÃO	SIM	SIM	NÃO
6	Corrige o teor de argamassa com objetivo de aumentar a trabalhabilidade do CAA.	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM
7	Considera as características de fluidez, viscosidade e coesão do concreto como um todo, sem avaliar pasta e argamassa em separado.	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM
8	Utiliza algum tipo de diagrama para otimizar futuras dosagens de CAA. (*critério ou aspecto não identificado na literatura pesquisada).	*	SIM	SIM	SIM	SIM
9	Utiliza finos pozolânicos ou não pozolânicos na mistura com intuito de aumentar a estabilidade e evitar a segregação.	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM

Fonte: Fochs *et al.* (2013)

2.1.4 Propriedades do CAA

As três propriedades básicas do CAA no estado fresco são: capacidade de preenchimento das formas, capacidade de escoar e passar através das armaduras, também denominada habilidade passante, e resistência à segregação. Para medir e avaliar essas propriedades, uma gama de ensaios foi desenvolvida. Contudo, nenhum ensaio por si só é capaz de avaliar todos os parâmetros, devendo ser realizada uma combinação deles para caracterizar completamente uma mistura de CAA (EFNARC, 2005).

A NBR 15823-1 (ABNT, 2017a) esclarece que os requisitos específicos para os CAA dependem do tipo de aplicação a que se destinam, além das condições de confinamento relativas à geometria do elemento de concreto, do tipo de equipamento a ser utilizado para o lançamento (bomba, caçamba, grua) e da importância do acabamento requerida. Os parâmetros a partir dos quais são especificadas as propriedades do CAA no estado fresco, de acordo com a aplicação a ser dada, bem como os respectivos ensaios e normas que contêm a metodologia para realização desses ensaios são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Requisitos para o CAA no estado fresco em função de sua aplicação.

Parâmetro	Ensaio	Requisitos de aceitação	Norma
Fluidez e escoamento	Espalhamento (SF)	Para todas as aplicações.	NBR 15823-2 (ABNT, 2017b)
Viscosidade plástica aparente	T ₅₀₀ (VS)	Para todas as aplicações.	
	Em fluxo confinado pelo funil V (VF)	A depender da função da aplicação.	NBR 15823-5 (ABNT, 2017e)
Habilidade passante	Anel J (PJ)	Para todas as aplicações.	NBR 15823-3 (ABNT, 2017c)
	Sob fluxo confinado pela caixa L (PL)	A depender da função da aplicação.	NBR 15823-4 (ABNT, 2017d)
	*Sob fluxo confinado pela caixa U (PU)		
Resistência à segregação	Coluna de segregação (SR)	A depender da função da aplicação.	NBR 15823-6 (ABNT, 2017f)
	*Método da peneira (TP)		

Fonte: Elaborado pela autora, adaptado da NBR 15823-1 (ABNT, 2017a).

Nota: (*) Ensaio facultativo.

A norma supracitada traz ainda uma série de classificações do CAA conforme os quatro parâmetros presentes no quadro anterior e nos resultados dos ensaios correspondentes.

Em sua última atualização foi incluído o índice de estabilidade visual (IEV), a partir do qual é possível classificar o CAA acerca da distribuição dos agregados graúdos na mistura, da distribuição da fração de argamassa ao longo do perímetro e da ocorrência de exsudação.

O *slump-flow* ou espalhamento é um ensaio utilizado para avaliar a capacidade do CAA em fluir sem segregar. Segundo Victor (2007), o aspecto final do concreto deve ser homogêneo, apresentando uma boa distribuição dos agregados e em sua borda não deve apresentar sinais de exsudação. Concentração dos agregados no centro do concreto ensaiado indica tendência à segregação. A Figura 3 retrata a medição do espalhamento de um CAA.

Figura 3 - Medição do *slump-flow*.



Fonte: A autora (2017).

A viscosidade plástica aparente do CAA é avaliada segundo o T_{500} e o funil V. O T_{500} ocorre simultaneamente ao ensaio do *slump-flow*. Se o T_{500} for baixo, significa que o concreto está muito fluido (assim como em caso de apresentar espalhamento elevado); se for alto, indica que está muito coeso (bem como em caso de apresentar espalhamento pequeno). Em ambos os casos, deve haver correção. Ao se repetir o ensaio do funil V após 5 min do seu enchimento e se constatar aumento significativo do tempo de escoamento, é um indicativo de que o CAA está segregando. (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015) A Figura 4 ilustra o equipamento durante a execução do ensaio com o funil V.

Figura 4 - Execução do ensaio do Funil V.



Fonte: A autora (2017).

O ensaio do anel J é tido como uma complementação do *slump-flow* e do funil V, tendo em vista que estes ensaios não tentam simular as armaduras de uma estrutura real. A combinação destes ensaios permite verificar a fluidez e a habilidade do concreto em passar por obstáculos, além de permitir visualizar se está ocorrendo segregação (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015). A Figura 5 mostra o ensaio do anel J.

Figura 5 - Ensaio do anel J.



Fonte: A autora (2017).

O ensaio da caixa L é usado para avaliar a habilidade passante do concreto e também tem relação com a capacidade de preenchimento. Deve-se observar a movimentação do concreto enquanto estiver passando pelas barras, uma vez que, se estiver ocorrendo segregação, o agregado graúdo irá demorar mais a fluir, enquanto a argamassa chegará ao

final do canal horizontal mais rapidamente (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015). A Figura 6 mostra a realização do ensaio da caixa L.

Figura 6 - Caixa L após o ensaio.



Fonte: A autora (2017).

O ensaio da coluna de segregação não é tão comum, porém é descrito pela NBR 15823-6 (ABNT, 2017f) e indicado para determinar a resistência à segregação do concreto, como o próprio nome já sugere. A presença de agregados graúdos em maior quantidade na base da coluna, em relação à quantidade de agregados graúdos presente no topo, ao fim do ensaio, indica a ocorrência de segregação. A Figura 7 retrata a coluna de segregação sendo preenchida com CAA.

Figura 7 - Preenchimento da coluna de segregação durante ensaio.



Fonte: A autora (2017).

O CAA difere do CCV somente em seu estado fresco, por isso necessita ser avaliado sob esses ensaios específicos. No estado endurecido, no entanto, os ensaios são

realizados da mesma forma que são para o CCV.

O maior conteúdo de finos, a maior presença de misturas redutoras de água e a limitação do tamanho máximo do agregado graúdo, em relação ao CCV, afetam o comportamento do CAA no estado endurecido, segundo Aslani e Nejadi (2012). Conforme Bonen e Shah (2004), as propriedades do CAA variam em função das formulações utilizadas, contudo, a literatura tem mostrado que suas propriedades mecânicas tem se mostrado equivalentes ou até mesmo melhores que as propriedades correspondentes do CCV.

Conforme EFNARC (2005), para uma mesma relação a/c ou água/aglutinante, o CAA geralmente terá uma resistência à compressão ligeiramente maior que o CCV, pois a ausência de vibração proporciona uma melhor interface entre pasta e agregado.

O módulo de elasticidade do concreto é significativamente afetado pelo módulo e conteúdo dos agregados. No CAA, o conteúdo de agregados graúdos é inferior ao do CCV, logo, é de se esperar que o seu módulo seja inferior ao do CCV para uma mesma resistência (BONEN; SHAH, 2004). Tutikian (2007), no entanto, constatou em seu estudo que os CAA apresentam módulos de elasticidade iguais ou superiores aos do CCV para resistências à compressão comuns, enquanto que se tornam inferiores para concretos de alta resistência.

Em estudo realizado por Calado *et al.* (2015b) em Recife/PE, cidade que combina condições prejudiciais para estruturas de concreto armado, os resultados mostraram que o CAA apresentou uma resistividade elétrica média 11,4% superior ao CCV, difusão média de íons cloreto 63,3% do CCV, penetração média de carbonatação acelerada de 55,8% do CCV e porosidade média aberta de 55,6% do CCV. Dessa forma, nota-se que o CAA pode ser mais duradouro que o CCV, portanto, pode aumentar a confiabilidade do seu uso em ambientes mais agressivos.

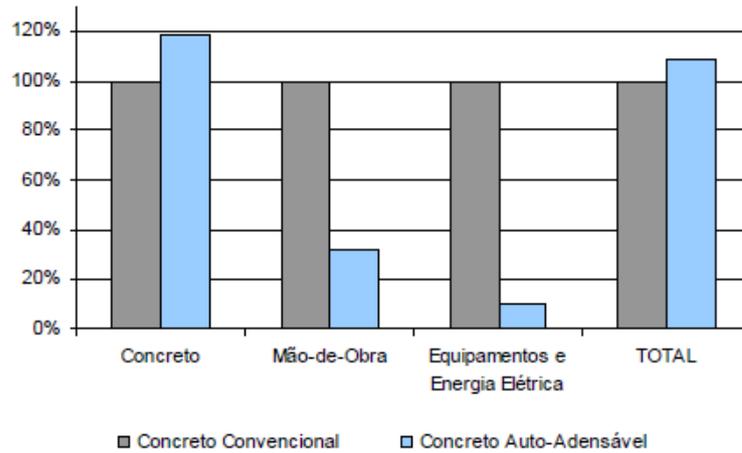
2.2 Casos de uso do CAA no âmbito nacional

A versatilidade do CAA permite que ele possa ser moldado *in loco* e utilizado na indústria de pré-fabricados (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015). De acordo com Nunes *et al.* (2009), este último ambiente é especialmente adequado para o uso do CAA visto que há maior facilidade em instalar sistemas de controle de qualidade devido ao alto grau de automação e repetição de processos similares, menor influência das condições climáticas no processo produtivo e menor tempo de transporte, que elimina problemas com a fluidez.

O primeiro registro da utilização do CAA em estruturas de edifícios residenciais no Brasil é relatado por Geyer (2005). O autor realizou estudo comparativo de custos para o

CAA e para o CCV, o qual é apresentado na Figura 8, onde se observa que embora tenha ocorrido uma redução de 70% nos custos com a mão de obra e de 90% nos custos com equipamentos e energia elétrica, o CAA ainda apresentou um total de custos diretos 8% superior ao CCV.

Figura 8 - Comparativo de custos entre o CAA e o CCV, ambos de 20 MPa.



Fonte: Geyer (2005).

O CAA permitiu e facilitou a concretagem de regiões com alta densidade de armaduras, em que o uso do vibrador se tornava difícil, a exemplo do que pode ser visto na Figura 9. Dessa forma, eliminou-se o risco de exposição do aço e, conseqüentemente, a deterioração da estrutura. (GEYER, 2005)

Figura 9 - Facilidade de penetração do CAA em regiões de alta concentração de armaduras.



Fonte: Geyer (2005).

Um estudo comparativo entre o CAA e o CCV foi realizado na obra do residencial

Pateo São Paulo, por meio de uma parceria entre a concreteira Engemix e a construtora BKO, onde se constatou que a concretagem de uma laje com CAA praticamente idêntica a uma laje concretada com CCV, com f_{ck} de 50 MPa, ambas com volume igual a 50,0 m³, permitiu a redução do tempo de concretagem pela metade. Na ocasião, o custo da mão de obra, com encargos, para aplicação do CAA foi de R\$ 0,70/m³ e de R\$ 7,18/m³ para o CCV. (FARIA, 2008)

Tutikian *et al.* (2006) desenvolveram estudo de ampla comparação entre o CCV e o CAA em empresas de pré-moldados no estado do Rio Grande do Sul. A resistência à compressão dos concretos na empresa A foi de 30 MPa e na empresa B foi de 80 MPa. Os resultados apontaram custos totais equivalentes para as duas tecnologias, tendo o CAA propiciado redução nos custos totais na empresa A de 3,09% e na empresa B, um aumento de 2,82%, viabilizando sua utilização nas duas empresas.

A equivalência de custo é explicada pelos ganhos de produtividade que o CAA proporciona, já que os custos dos materiais do CAA foram mais caros em relação ao CCV em 24,44% na empresa A e 12,57%, na empresa B. A elevada fluidez do CAA permite que o adensamento seja realizado através da força da gravidade, assim, os operários necessitaram apenas nivelar a superfície com a régua para facilitar o acabamento, o que contribuiu significativamente para a diminuição de trabalhadores nas etapas de adensamento (conforme pode ser visto na Figura 10), acabamentos e reparos.

Figura 10 - Concretagem com o CAA na empresa A com poucos operários.



Fonte: Tutikian *et al.* (2006).

Repetto (2007) relatou o monitoramento da concretagem de dois pavimentos de 504 m² de área, sendo um deles em CAA e o outro em CCV, com materiais e sistemas de formas idênticos para ambos os tipos de concreto. A Figura 11 mostra a concretagem das lajes e vigas com o CAA.

Figura 11 - Aplicação do CAA em lajes e vigas.



Fonte: Repette (2007).

Alguns trabalhos de preparação foram necessários antes da aplicação do CAA: moldagem de diques em CCV para evitar que o CAA fluísse dos níveis mais altos para os níveis mais baixos da laje; concretagem de vigas invertidas e escadas em CCV; tamponamento dos furos dos tijolos cerâmicos com argamassa ou chapa plástica para evitar que o CAA entrasse nos tijolos; e preenchimento das lacunas entre vigotas justapostas com argamassa para evitar escoamento do CAA. (REPETTE, 2007)

A substituição do CCV por CAA na obra propiciou uma economia de US\$ 1,94/m³ (considerando valores salariais praticados em Florianópolis em dezembro/2004) nos custos com a mão de obra. No entanto, o custo do CAA foi US\$ 40,00 mais caro que o CCV, para o f_{ck} de 30 MPa. (REPETTE, 2007)

Nunes *et al.* (2009) realizaram estudo para comparar as propriedades do CAA endurecido e CCV em uma fábrica de elementos pré-moldados, em condições reais, no qual constataram que o CAA adequadamente proporcionado, produzido e aplicado é geralmente mais compacto e homogêneo que o CCV equivalente, o que resulta em maior resistência e durabilidade das estruturas. A diferença nas proporções de mistura dos materiais do CAA e do CCV, no entanto, ocasionam um aumento no custo do CAA em relação ao CCV.

Ainda nesse estudo, Nunes *et al.* (2009) verificaram que o tempo de mistura do

CAA dobrou em relação ao tempo necessário para o CCV, embora fosse possível reduzi-lo aumentando as velocidades de mistura ou alterando a configuração das pás no misturador. Portanto, pequenos ajustes em instalações e equipamentos podem se fazer necessários para otimizar a produção dos pré-moldados e maximizar o benefício do uso do CAA.

Serra (2015) realizou estudo para avaliar a utilização do CAA em substituição ao CCV em um edifício vertical, na cidade de Fortaleza/CE, em pilares, vigas e lajes de dois pavimentos. Para efeito de comparação, a autora considerou 88,0 m³ de cada tipo de concreto, constatando que o CAA possibilitou uma melhoria da produtividade do lançamento de 59,2% no primeiro pavimento e de 65,3% no segundo pavimento. Esses índices se alteraram para 48,2% e 21,4%, no primeiro e no segundo pavimento, respectivamente, quando considerados os tempos de espera pelos caminhões-betoneira. Nesse estudo foi possível concluir que o tempo de espera pelos caminhões-betoneira se constitui um gargalo construtivo que impacta negativamente a produtividade.

Houve uma redução de 43,8% da mão de obra necessária para realizar a primeira concretagem com o CAA e de 56,2% para a segunda, em relação à concretagem realizada com o CCV. Esses resultados refletiram, em média, em uma redução de custo com a mão de obra de 75,7%. (SERRA, 2015)

Calado (2015) realizou estudo cujo objetivo consistia em estabelecer um comparativo de desempenho em termos técnicos e econômicos entre o CAA e o CCV em um ambiente quente e desfavorável do ponto de vista da durabilidade. Para tanto, foi feito um estudo de caso de aplicação do CAA na obra da Arena Pernambuco, em Recife/PE.

A utilização do CAA ocorreu entre os meses de maio e julho/2012, quando foram consumidos aproximadamente 15 000 m³ de concreto, dos quais, cerca de 40% (6.000 m³) foram CAA, utilizado em todas as estruturas pré-moldadas da arquibancada (vigas jacaré e degraus), vide Figura 12, e em paredes e pilares do estádio (CALADO, 2015).

Dentre os resultados obtidos por Calado (2015), ao comparar os custos diretos dos materiais, o CAA custou mais que o CCV, sendo que nos estudos da pesquisa em laboratório, a diferença foi de 14,2%, enquanto que nos estudos da obra do estádio, essa diferença foi de 16,2%. Contudo, ao se considerar o custo por metro cúbico de produção do concreto incluindo fabricação, materiais e aplicação (equipamentos e mão de obra por lançamento e adensamento) nos estudos no laboratório, a diferença caiu de 14,2% para 3,4%. O autor ressalta haver necessidade de adequação das formas e determinadas limitações operacionais devido à perda de trabalhabilidade do CAA em função do tempo.

Figura 12 - Arquibancada da Arena Pernambuco em CAA.



Fonte: Calado (2015).

Dentre as várias possibilidades de aplicação do CAA, Tutikian e Dal Molin (2015) destacam que ele é muito usado em edificações construídas empregando-se o sistema de paredes de concreto armado, que podem ser moldadas no canteiro ou fora dele e montadas posteriormente. Esse último caso é ilustrado na Figura 13, que mostra a execução de uma construção cujas paredes são concretadas em baterias dentro do canteiro, que após a cura, são transportadas por meio de caminhão tipo munck para a sua montagem por meio de pórticos rolantes.

Figura 13 - Construção em paredes de concreto utilizando CAA.



Fonte: Tutikian e Dal Molin (2015).

2.3 Produtividade na construção civil

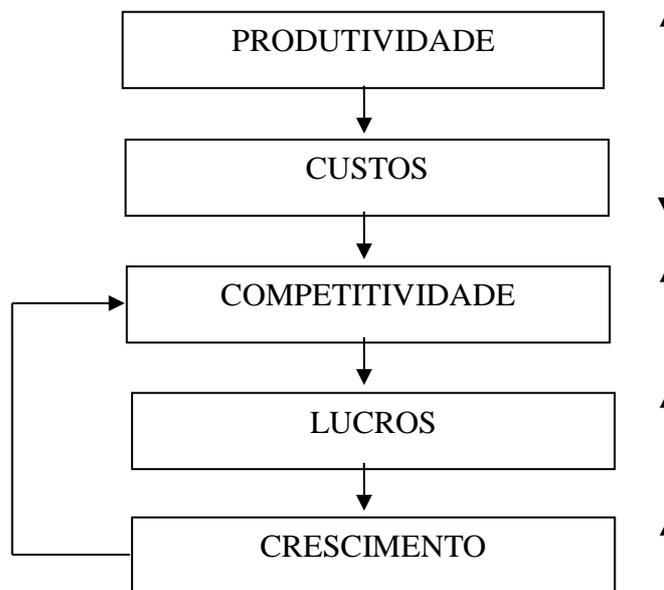
A produtividade envolve o uso dos recursos e promove impactos econômicos, e, por isso, as construtoras estão sempre em busca de melhorá-la. Partindo-se do conhecimento de que o uso do CAA promove a melhoria da produtividade do serviço de concretagem, e de que a produtividade é um importante indicador de desempenho, justifica-se a realização de um levantamento bibliográfico a respeito dela, principalmente para servir de embasamento para o uso correto desse indicador e de outros que se fizerem necessários.

Sistema de indicadores de desempenho, segundo Holanda (2007), trata-se de uma forma de medição capaz de fornecer informações para o questionamento ou avaliação do desempenho de um processo ou sistema, por meio da qual se verifica se os objetivos do sistema organizacional estão sendo atingidos, permitindo a definição de ações em casos de necessidade.

De modo geral, na perspectiva de Martins e Costa Neto (1998), a principal preocupação da medição de desempenho tradicional é a medição em termos do uso eficiente dos recursos, a partir de indicadores de desempenho. A produtividade é um deles. O uso de indicadores de desempenho auxilia na tomada de decisões “assertivas” e apoia os processos de melhoria.

Em um sistema de produção, em que insumos (entradas) são combinados com a finalidade de se obter um produto (saída), a produtividade se refere ao maior ou menor aproveitamento dos recursos neste processo. O aumento desta diminui os custos de produção ou dos serviços prestados, porque permite que cada unidade seja produzida com uma menor quantidade de insumos. Dessa forma, produtos semelhantes produzidos a custo inferior chegam ao mercado a um preço menor, aumentando a competitividade da empresa, que, por sua vez, terá aumento nos lucros e condições favoráveis para investir em seu próprio crescimento. (MOREIRA, 2014) Toda essa cadeia de influência é retratada na Figura 14.

Figura 14 - Mecanismo de influência da Produtividade.

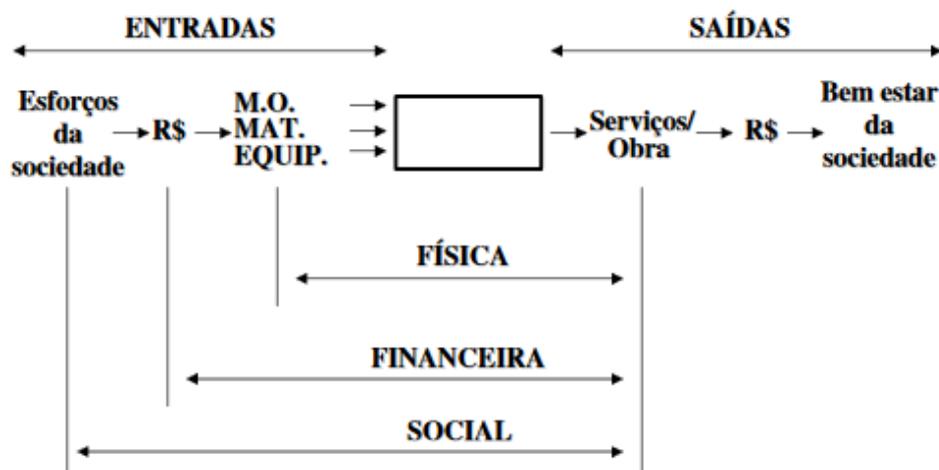


Fonte: Moreira (2014).

“O conceito de produtividade associada a um dado sistema produtivo utilizado no trabalho é o de um índice que compare a produção do sistema com os insumos que foram consumidos para essa produção em um período (dia, mês ou ano)”, pontua Oliveira (2003, p. 402). De acordo com o autor, o consumo de recursos por unidade de produção configura a forma de apresentação da produtividade, forma esta mais utilizada por ser a mais comum na Construção Civil, enquanto que nas indústrias em geral, a produtividade apresenta-se como produção física dividida por recurso.

Para Moreira (2014), os recursos (insumos) mais importantes, levando-se em consideração o percentual que representam no valor da produção, são: mão de obra, capital, energia (incluindo combustíveis) e matérias-primas e materiais auxiliares de produção. O estudo da produtividade, conforme Souza (2000), pode ocorrer do ponto de vista (i) físico - com o uso dos materiais, equipamentos ou mão de obra -, (ii) financeiro - análise feita sobre a quantidade de dinheiro demandada - ou (iii) social - esforço da sociedade encarado como recurso. A Figura 15 ilustra essas diferentes formas de abordagem da produtividade num processo produtivo.

Figura 15 - Abrangências do estudo da produtividade.



Fonte: Souza (2000).

Gaither e Frazier (2002, p. 458) afirmam que a produtividade pode ser aumentada de várias maneiras:

- Aumentar a produção utilizando a mesma quantidade ou quantidades menores de recursos.
- Reduzir a quantidade de recursos utilizados enquanto a mesma produção é mantida ou aumentada.
- Permitir que a quantidade de recursos utilizados se eleve contanto que a produção se eleve mais.
- Permitir que a produção decresça contanto que a quantidade de recursos utilizados decresça mais.

Para manter a competitividade, as empresas acabam sendo induzidas ao desenvolvimento ou incorporação de novas tecnologias, porém, muitas vezes esbarram no obstáculo da escassez da mão de obra qualificada, que traz impacto direto na produtividade dos serviços. A mensuração da produtividade e consumo de materiais para diferentes tecnologias fornece, no entanto, subsídio extra para a tomada de decisão sobre qual tecnologia deve ser empregada com o objetivo de trazer maior custo benefício para a empresa.

Segundo Souza (2000), a Razão Unitária de Produção (RUP), que diz respeito à quantidade de mão de obra (homens-hora) necessária para se produzir uma unidade da saída em estudo (por exemplo, m² de revestimento de argamassa de fachada), representado pela Equação (1), é o indicador mais direto para medição da produtividade da mão de obra. Quanto maior a RUP, menor a produtividade.

$$RUP = \frac{Hh}{QS} \quad (1)$$

Onde:

Hh = Homens-hora despendidos na execução do serviço;

QS = Quantidade de serviço executado pela mão de obra em determinado tempo.

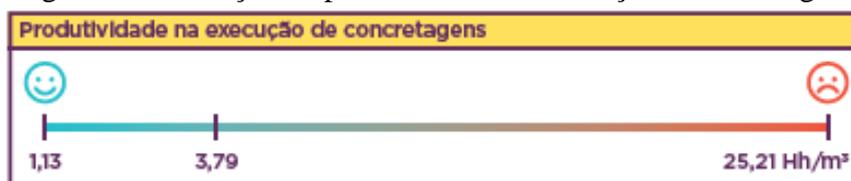
Deve-se levar em consideração, para o cálculo da RUP, a quantidade “líquida” de serviço executado (por exemplo, para o caso de um revestimento, não se considera a área das aberturas) e o tempo em que os operários estiveram disponíveis para o trabalho, seja este tempo produtivo ou improdutivo. (PALIARI; SOUZA, 2008)

É importante ressaltar as classificações da produtividade quanto à abrangência (tipo de mão de obra utilizada) e quanto ao intervalo de tempo relacionado às entradas e saídas. Quanto à abrangência, a RUP pode ser Oficial (considera os oficiais diretamente envolvidos na produção), Direta (além dos oficiais, incluem-se os ajudantes envolvidos diretamente com a produção) ou Global (considera toda a mão de obra relacionada com o serviço). Quanto ao intervalo de tempo, a RUP pode ser classificada como Diária (representa a produtividade diária dos envolvidos no processo), Cumulativa (representa a produtividade acumulada durante um intervalo de tempo) ou Cíclica (adotada quando o serviço possui ciclos de produção bem definidos). Há ainda a RUP Potencial, obtida pela mediana dos valores de RUP Diárias menores ou iguais à RUP Cumulativa final. (PALIARI, 2008)

Nota-se que a medição da produtividade através da RUP é flexível, contudo, deve-se definir com clareza os objetivos que se pretende alcançar, assim como definir quais indicadores são importantes para a obra e para a empresa. (CARRARO, 1998)

A Figura 16 mostra a variação da produtividade para o serviço de concretagem de viga e laje de acordo com o Manual Básico de Indicadores de Produtividade na Construção Civil lançado pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) (2017). Como se pode visualizar, a produtividade é um indicador de grande variabilidade, principalmente nesse tipo de serviço.

Figura 16 - Variação da produtividade no serviço de concretagem.



Fonte: CBIC (2017).

Diversos fatores são capazes de interferir na produtividade e, conseqüentemente,

no valor da RUP. Santosh e Apte (2014) elencaram os seguintes fatores dos quais depende a produtividade das operações de concretagem:

- i. Métodos de fornecimento de concreto, prazos e intervalos de entrega;
- ii. Forma e tamanho do elemento estrutural;
- iii. Disponibilidade de máquinas (misturadores de concreto, planta de lotes, misturador de trânsito, bombas de concreto);
- iv. A presença de armaduras de aço;
- v. As condições meteorológicas no dia da concretagem.

Evidências do uso da RUP como indicador de produtividade na construção civil podem ser encontradas nos estudos desenvolvidos por: Carraro (1998), que utilizou RUP para verificar a produtividade da mão de obra no serviço de alvenaria; Araújo (2000), que utilizou RUP para mensurar a produtividade da mão de obra na execução de formas, armação, concretagem e alvenaria; Paliari (2008), que mensurou a produtividade da mão de obra de sistemas prediais hidráulicos por meio da RUP; Corsini e Paliari (2016) mensuraram a produtividade da mão de obra por meio da RUP na execução dos sistemas prediais elétricos e de comunicação; Soares (2016), que propôs um modelo de controle sistemático da produtividade da mão de obra, utilizando RUP, na execução de diversos serviços de construção civil.

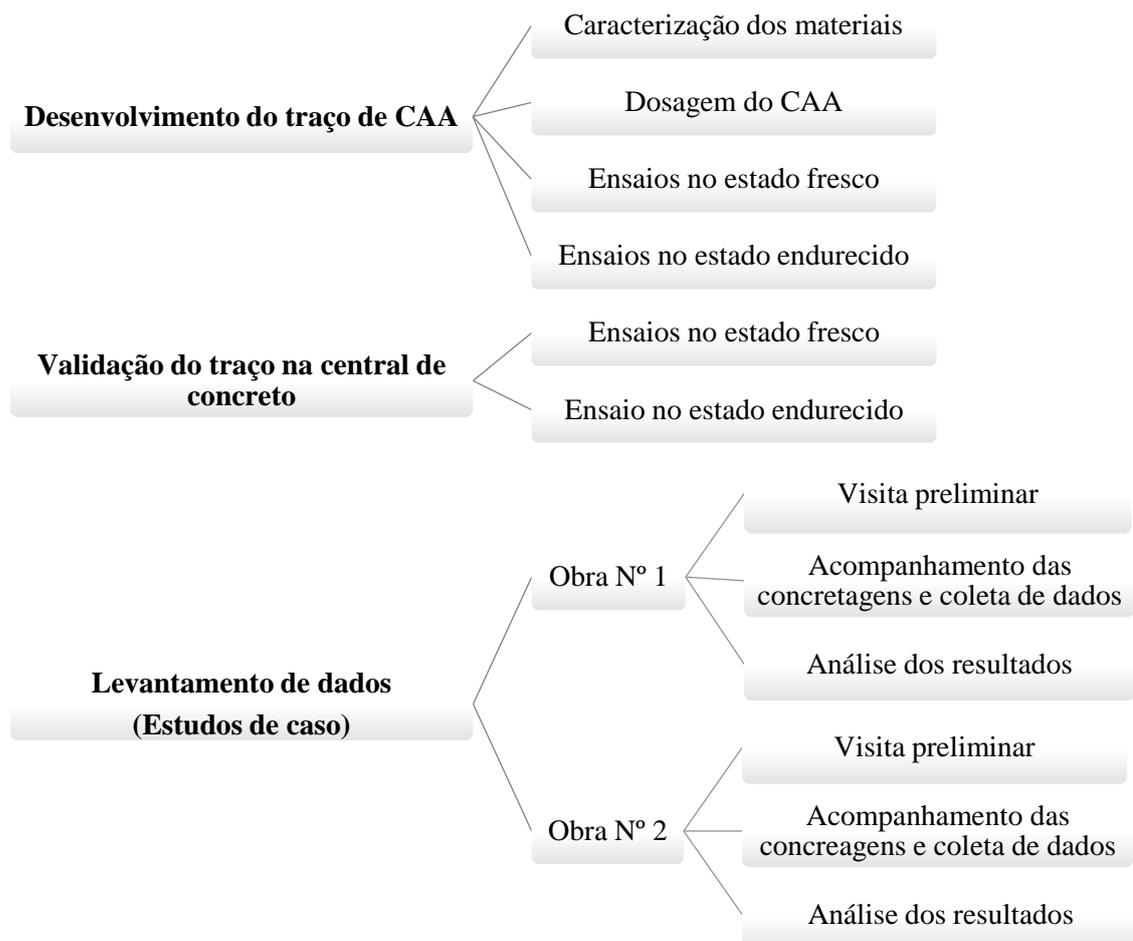
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo aborda as três principais etapas com suas respectivas subetapas, que permitiram o desenvolvimento desta pesquisa. A primeira etapa se refere à obtenção do traço de CAA; a segunda, à validação do traço de CAA em uma central de concreto; e a terceira, ao levantamento de dados por observação direta para realizar a comparação entre o uso do CAA e do CCV.

A estratégia de pesquisa adotada para o levantamento de dados se deu pela realização de estudos de casos em duas diferentes obras de edificação vertical, pertencentes a construtoras distintas, que se dispuseram a colaborar com esta pesquisa substituindo o CCV por CAA em um trecho que contempla laje e algumas vigas.

O fluxograma apresentado na Figura 17 resume as etapas metodológicas descritas.

Figura 17 - Etapas metodológicas.



Fonte: A autora (2017).

3.1 Desenvolvimento do traço de CAA

O desenvolvimento do traço de CAA que seria testado na central de concreto em etapa posterior esteve condicionada inicialmente à coleta e caracterização dos materiais que iriam compô-lo. Em seguida, foi definido o método de dosagem a ser adotado e os requisitos específicos para o concreto conforme a aplicação, bem como estabelecidos os ensaios que seriam realizados no CAA.

A caracterização dos materiais, os testes e ensaios com os CAA foram realizados, em sua maioria, no Laboratório de Materiais de Construção da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC) e no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

3.1.1 Obtenção dos materiais e ensaios de caracterização

Os materiais empregados na dosagem do CAA foram os mesmos que são utilizados pelas centrais de concreto para a fabricação de CCV, uma vez que se pretendia possibilitar a produção de CAA por uma central sem a necessidade de qualquer tipo de investimento. Dessa forma, foram utilizados os materiais fornecidos por uma central de concreto que posteriormente teria a responsabilidade de produzir e fornecer o CAA para as obras colaboradoras com a pesquisa.

3.1.1.1 Cimento

Para a composição do CAA se utilizou cimento Portland pozolânico classe 32 resistente a sulfatos (CP IV-32-RS), da marca Cimento Apodi. Este tipo de cimento foi selecionado porque se pretendia utilizar o CAA também nas fundações das obras, cujo uso não foi possível devido às obras estarem em fase de execução da superestrutura durante a etapa de aplicação do CAA.

Em ensaio para determinação de sua massa específica, conforme a NBR NM 23 (ABNT, 2001a), o CP IV-32-RS apresentou um valor de 2,82 g/cm³. A composição química do cimento foi obtida por meio da espectroscopia por fluorescência de raios X (FRX), realizada no Laboratório de difração de Raios-X pertencente ao Departamento de Física da UFC, e é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - FRX do cimento CP IV-32-RS.

Elemento	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	SrO
%	4,68	17,82	2,58	1,79	58,86	1,06	0,19	12,74	0,28

Fonte: A autora (2017).

3.1.1.2 Agregados miúdos

Dois tipos de agregados miúdos foram utilizados. Um deles, de origem natural, e o outro, originário do processo de cominuição de rochas para a fabricação de brita, aqui denominado pó de pedra. Os resultados de caracterização e suas respectivas normas base são especificados na Tabela 2.

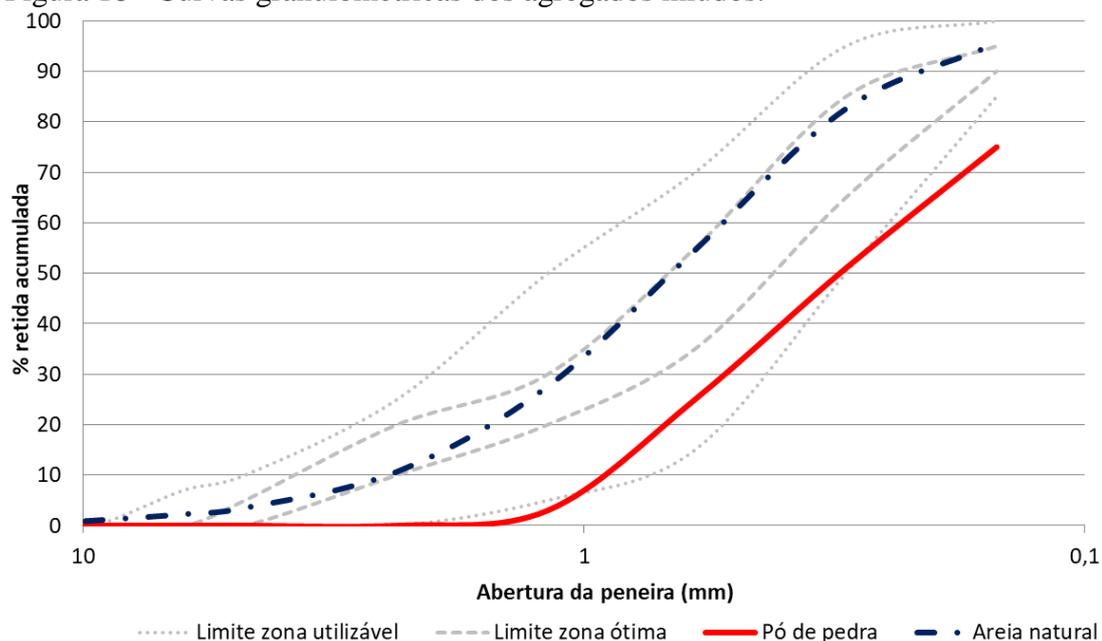
Tabela 2 - Características dos agregados miúdos.

Característica	Norma	Areia natural	Pó de pedra
DMC	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	4,75 mm	1,18 mm
MF	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	2,76	1,55
Massa específica	NBR NM 52 (ABNT, 2009b)	2,58 g/cm ³	2,49 g/cm ³
Massa unitária no estado solto	NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,40 g/cm ³	1,45 g/cm ³
Absorção de água	NBR NM 30 (ABNT, 2001b)	1,34%	1,11%
% Material fino (< 75 µm)	NBR NM 46 (ABNT, 2001c)	2,5%	11,5%
Impurezas orgânicas	NBR NM 49 (ABNT, 2001d)	Satisfatório	Satisfatório

Fonte: A autora (2017).

As curvas granulométricas dos agregados miúdos se encontram na Figura 18. Observa-se que a curva da areia natural se encontra dentro dos limites da zona ótima, com módulo de finura compreendido entre 2,20 e 2,90, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009a). A curva do pó de pedra se encontra parcialmente compreendida nos limites da zona utilizável, com módulo de finura correspondente à zona utilizável inferior (cujo MF varia de 1,55 a 2,20).

Figura 18 - Curvas granulométricas dos agregados miúdos.



Fonte: A autora (2017).

3.1.1.3 Agregados graúdos

Dois agregados graúdos de dimensão máxima característica diferentes, denominados Brita 12,5 e Brita 19,0, comercialmente conhecidos como Brita 0 e Brita 1, respectivamente, foram submetidos aos ensaios de caracterização física. A Tabela 3 apresenta as suas características físicas obtidas a partir dos procedimentos indicados por suas respectivas normas em vigor.

Tabela 3 - Características físicas dos agregados graúdos.

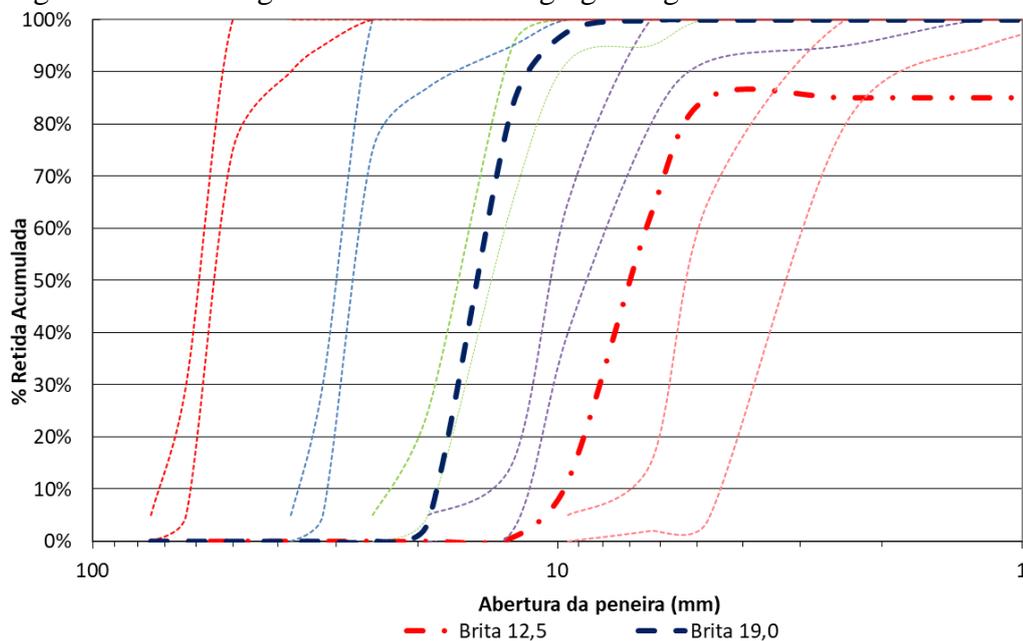
Característica	Norma	Brita 12,5	Brita 19,0
Dimensão Máxima Característica (DMC)	NBR NM 248 (ABNT, 2003b)	12,5 mm	19,0 mm
Módulo de Finura (MF)	NBR NM 248 (ABNT, 2003b)	5,90	6,90
Massa específica	NBR NM 53 (ABNT, 2009c)	2,46 g/cm ³	2,68 g/cm ³
Absorção de água	NBR NM 53 (ABNT, 2009c)	1,14%	0,60%

Fonte: A autora (2017).

As distribuições granulométricas dos agregados graúdos se encontram na Figura 19. A curva granulométrica da Brita 12,5 está situada na zona granulométrica 4,75/12,5 e a curva da Brita 19,0 se encontra na zona 9,5/25,0, conforme os limites estabelecidos pela NBR

7211 (ABNT, 2009a).

Figura 19 - Curvas granulométricas dos agregados graúdos.



Fonte: A autora (2017).

3.1.1.4 Aditivo químico

O aditivo utilizado para promover uma maior fluidez ao concreto e obtenção das características de CAA foi do tipo superplastificante de terceira geração (à base de policarboxilatos) ADVA 129, da marca *Grace Construction Products*, cujas características foram conhecidas a partir de informações fornecidas pelo fabricante. Trata-se de um líquido alaranjado, de pH que pode variar de 4,70 a 6,70, e que possui massa específica compreendida entre 1,060 a 1,100 g/cm³.

O CAA da Obra N° 1 teve o aditivo superplastificante dosado no canteiro de obras, ou seja, saiu da central de concreto com a consistência de um CCV, e, portanto, houve a necessidade de utilizar um aditivo polifuncional redutor de água. O polifuncional utilizado foi o MIRA SET 30, também da marca *Grace Construction Products*, líquido de coloração marrom escura com massa específica compreendida entre 1,150 a 1,210 g/cm³, de acordo com o fabricante.

3.1.1.5 Água

Para a produção do CAA foi utilizada água potável proveniente da rede de

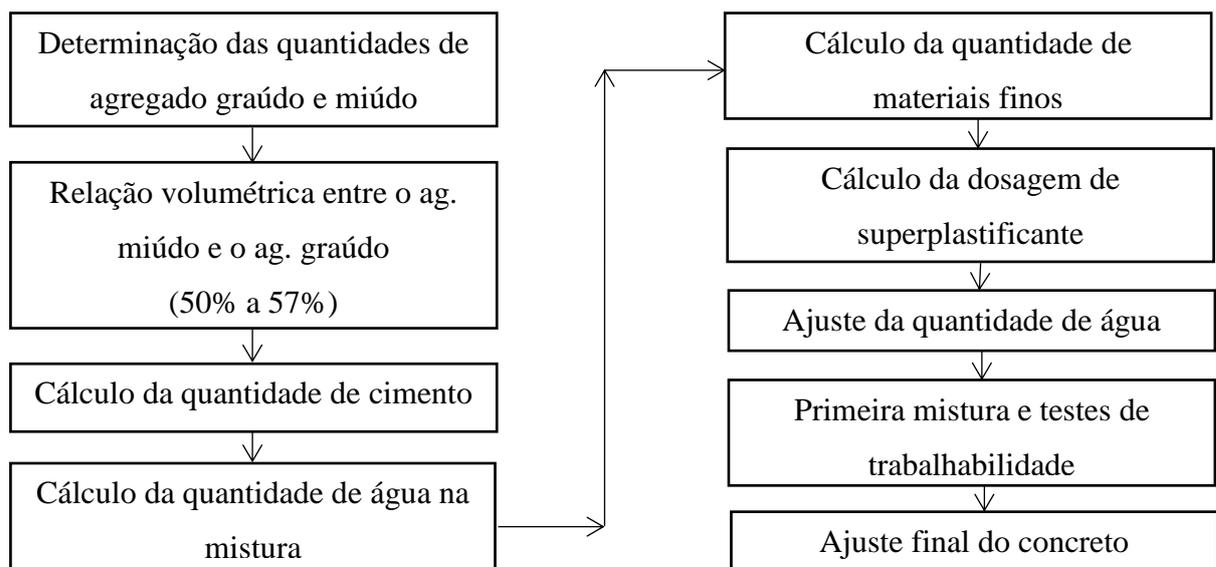
abastecimento público.

3.1.2 Produção do CAA em laboratório

Adotou-se o método de Su *et al.* (2001) para se obter a proporção adequada de mistura dos materiais componentes do CAA, por ser considerado um método eficaz para a dosagem de CAA a partir de materiais com as características semelhantes às encontradas nos materiais comumente utilizados em Fortaleza/CE.

O método supracitado consiste no preenchimento dos vazios existentes entre os agregados não compactados com pasta composta por materiais cimentícios (GOMES; BARROS, 2009). A Figura 20 detalha o passo a passo do método.

Figura 20 - Fluxograma de dosagem do método Su *et al.* (2001).



Fonte: Tutikian e Pacheco (2012).

O traço obtido pelo método foi testado em laboratório e adaptado para atender aos requisitos estabelecidos considerando que a aplicação dada ao CAA seria em lajes e vigas. Em conformidade com a NBR 15823-1 (ABNT, 2017a), para os estudos de dosagem e ajuste do traço de CAA foram realizados os seguintes ensaios:

- Determinação do espalhamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams, de acordo com a NBR 15823-2 (ABNT, 2017b);
- Determinação da habilidade passante - Método do anel J, de acordo com a NBR 15823-3 (ABNT, 2017c);

- Determinação da viscosidade - Método do funil V, de acordo com a NBR 15823-5 (ABNT, 2017e).

A Tabela 4 especifica os requisitos estabelecidos para o CAA no estado fresco, em laboratório, e a Tabela 5 apresenta o traço final obtido em laboratório, após atender a todos os requisitos.

Tabela 4 - Requisitos do CAA em laboratório.

Classe de espalhamento	Classe de índice de estabilidade visual	Habilidade passante (Anel J)	Classe de viscosidade plástica aparente
SF2	IEV 0	PJ1	VF2

Fonte: A autora (2017).

Tabela 5 - Traço final obtido em laboratório.

Material	kg/m³	Unitário
Cimento	408,0	1
Areia natural	652,8	1,6
Pó de pedra	159,1	0,39
Brita 12,5 mm	359,0	0,88
Brita 19,0 mm	391,7	0,96
Água	204,0	0,50
Aditivo superplastificante	2,86	0,70%

Fonte: A autora (2017).

Foram produzidos um total de quinze corpos de prova cilíndricos de dimensões 10 cm x 20 cm. No estado endurecido, o CAA foi avaliado quanto à resistência à compressão, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007), nas idades de 1 dia, 3 dias, 7 dias, 14 dias, 28 dias e 63 dias, por meio de dois corpos de prova para cada uma dessas idades. Também foi realizado ensaio para determinação do módulo de elasticidade (E_{ci}) aos 28 dias, em três corpos de prova, para cada CAA produzido, de acordo com a NBR 8522 (ABNT, 2008).

Todos os corpos de prova foram curados ao ar dentro dos moldes por 24h, período após o qual foram desmoldados e então mantidos em cura por imersão em água até atingirem a idade necessária para a realização dos ensaios. Os corpos de prova destinados ao rompimento à compressão foram capeados com enxofre antes do rompimento, enquanto aqueles destinados ao ensaio de módulo de elasticidade foram apenas retificados.

3.2 Validação do traço de CAA na central de concreto

Pequenos ajustes no traço foram necessários ser realizados na central de concreto para compensar o uso de um misturador diferente daquele utilizado em laboratório. Esses ajustes se deram em termos de quantidade de água, com a redução da relação a/c para 0,46, e de aditivo, aumentado para 1,00%. Os ensaios *slump-flow*, anel J e funil V, normatizados pela NBR 15823-1 (ABNT, 2017a), foram realizados no CAA no estado fresco, após a mistura dos componentes em caminhão-betoneira (3,0 m³ de concreto), a fim de se atestar as propriedades exigidas para que um concreto seja considerado autoadensável.

Foram moldados dois corpos de prova para cada idade nas quais seriam realizados os ensaios de resistência à compressão. Os rompimentos dos corpos de prova na central de concreto ocorreram aos 4 dias (não aos 3 dias, por ser domingo), 5 dias (devido aos requisitos de uma das obras), 7 dias e 28 dias. Os corpos de prova moldados na central de concreto também permaneceram em cura seca ao ar dentro dos moldes por 24h, logo após foram desmoldados e submetidos à cura úmida até atingirem as idades de rompimento.

3.3 Estudos de caso

Preliminarmente à fase de levantamento de dados nas obras, foram realizadas visitas para fins de coleta de informações específicas sobre cada uma delas, bem como para alinhar como e quando seriam realizados os estudos de caso. Também foram necessárias algumas reuniões com todos os profissionais envolvidos na pesquisa, a saber, diretores técnicos das construtoras colaboradoras, engenheiros das obras e profissionais terceirizados responsáveis pela execução das concretagens.

3.3.1 Características das obras

O Quadro 3 elenca as principais características das obras nas quais foram realizados os estudos de caso. A Figura 21 traz a maquete eletrônica da Obra N° 1 e a Figura 22 destaca a planta de forma do pavimento onde foi realizado o estudo de caso desta pesquisa, na qual há a indicação da posição de aplicação do CAA em substituição ao CCV.

Quadro 3 - Características das obras.

	Obra Nº 1	Obra Nº 2
Empreendimento	Aquarela Condomínio Clube	Uno Medical & Office
Construtora	Magis Incorporações	C. Rolim
Natureza	Residencial multifamiliar	Comercial
Quantidade de torres	3	1
Estrutura	1 subsolo + térreo + 1 garagem + 20 pavimentos-tipo	2 subsolos + térreo + 12 andares
f_{ck}	30 MPa	35 MPa
Origem dos concretos	Central de concreto	Central de concreto
Estudo de caso	6º pavimento-tipo/Torre 3	2º pavimento-tipo/4º teto
Volume de CAA	28,0 m ³	28,0 m ³
Área de CAA	140,14 m ²	237,00 m ²
Volume de CCV	78,50 m ³	124,00 m ³
Área de CCV	437,63 m ²	763,00 m ²
Elemento(s) estrutural(ais) concretado(s) com CAA	Laje nervurada e vigas-faixa protendidas	Laje nervurada protendida
Elemento(s) estrutural(ais) concretado(s) com CCV	Laje nervurada, escada, vigas-faixa protendidas e vigas invertidas	Laje nervurada protendida e viga-faixa
Mão de obra	Terceirizada	Própria

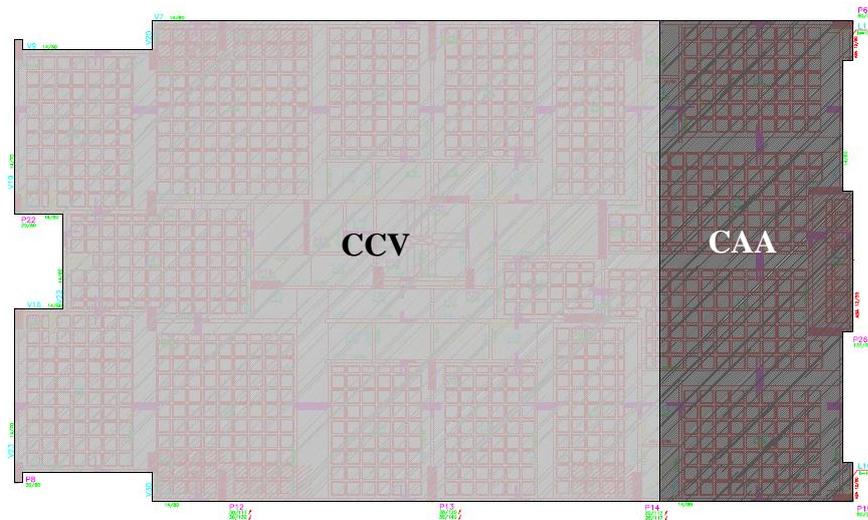
Fonte: A autora (2017).

Figura 21 – Maquete eletrônica do Aquarela Condomínio Clube.



Fonte: Magis Incorporações (2017).

Figura 22 - Planta de forma do sexto pavimento-tipo (Torre 3) da Obra N° 1.

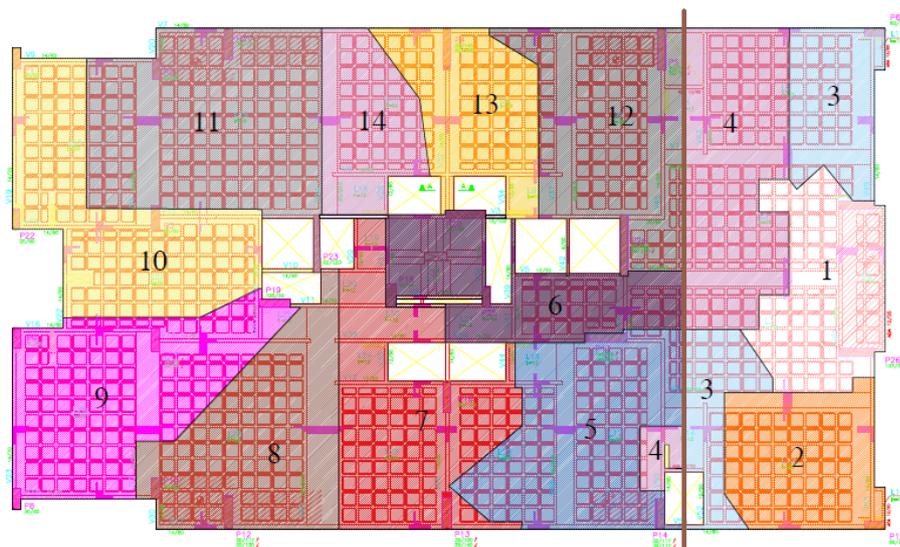


FORMA DO PAVIMENTO TIPO
(DO 2o.AO 11o.PAV.TIPO)
ESCALA 1:20

Fonte: A autora (2017).

O mapa de concretagem da Obra N° 1 é apresentado na Figura 23, onde se observa que a identificação dos concretos lançados (representados pelo número do caminhão-betoneira) foi feita por meio do uso de cores distintas. A referida figura também indica o posicionamento da contenção do CAA (traço marrom), que foi uma ação necessária previamente à concretagem para evitar que o CAA fluísse para além dos limites de onde se pretendia concretar com esse tipo de concreto, para um volume de 28,0 m³.

Figura 23 - Mapa de concretagem da Obra N° 1.



MAPA DE CONCRETAGEM 6° PAVIMENTO-TIPO

Fonte: A autora (2017).

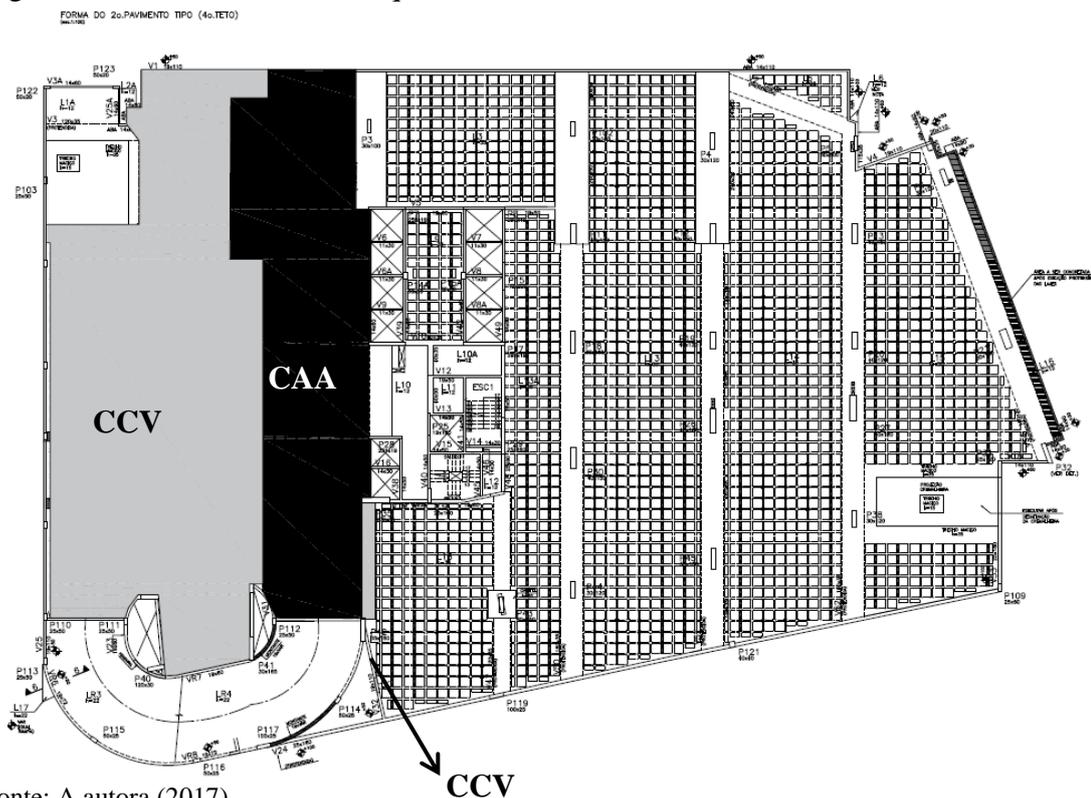
A Figura 24 apresenta a fachada eletrônica frontal da Obra N° 2. A planta de forma desta obra é apresentada na Figura 25, onde são especificados os trechos de concretagem para o CAA e para o CCV durante as medições. Devido à grande extensão do pavimento, a sua concretagem foi dividida em três etapas, e a concretagem acompanhada se deu na primeira delas.

Figura 24 – Fachada eletrônica frontal do Uno Medical & Office.



Fonte: C. Rolim Engenharia (2017).

Figura 25 - Planta de forma do quarto teto da Obra N° 2.



Fonte: A autora (2017).

O mapa de concretagem da Obra N° 2 é apresentado na Figura 26. A identificação dos concretos lançados foi feita pelo uso de cores distintas e pela numeração dos caminhões-betoneira (1 a 18). A contenção do CAA, realizada em CCV, é representada pela hachura cinza na referida figura.

Figura 26 - Mapa de concretagem da Obra N°2.



Fonte: A autora (2017).

3.3.2 Estanqueidade das formas

Havia-se uma preocupação com a estanqueidade das formas, visto que a pressão exercida pelo CAA nelas se torna maior que a exercida pelo CCV, e também com relação à delimitação do trecho a ser concretado com o CAA. Dessa forma, foram realizadas visitas nas obras em dias de concretagens normais com o CCV para averiguação do estado das formas da laje e das vigas a serem concretadas.

Na Obra N° 1 foram observadas caixas (cubetas) com buracos ou empenadas, de forma que geravam espaços vazios entre elas, tornando crítico o vazamento de concreto naqueles pontos, bem como no encontro das folhas de madeira compensada que compunham a forma de algumas vigas-faixa, conforme pode ser visto na Figura 27.

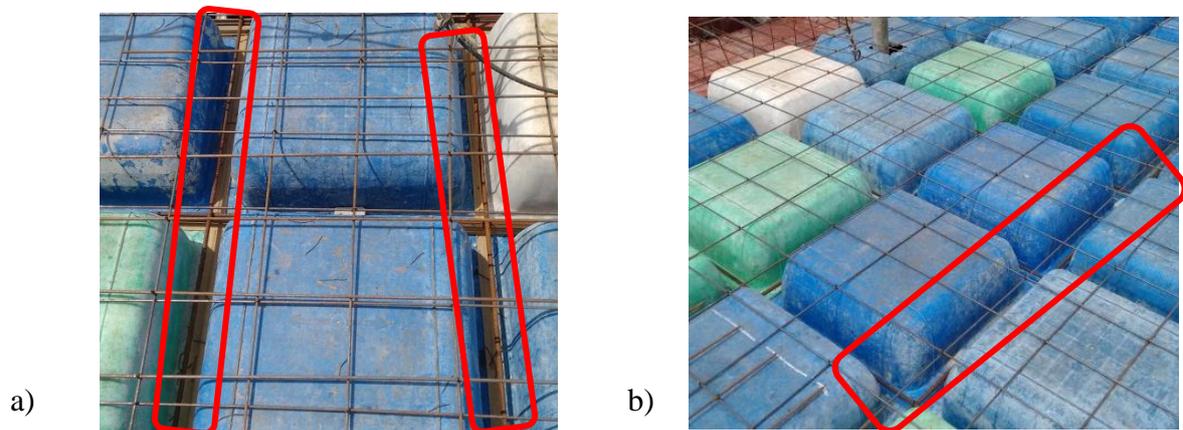
Figura 27 – Exemplos de espaços vazios entre as formas.



Fonte: A autora (2017).

Como paliativo, solicitou-se a troca das caixas inapropriadas por outras em melhor estado, além de ter sido proposto o uso de fita adesiva nos encontros de caixas (entre as nervuras) e formas de vigas. Tinha-se a intenção de descobrir se na ausência da fita adesiva, o vazamento de concreto seria significativo, portanto, propôs-se que no trecho delimitado para ser concretado com CAA, em metade fosse usada a fita adesiva e na outra, não, como pode ser visto na Figura 28a (fita adesiva com coloração marrom) e na Figura 28b, respectivamente.

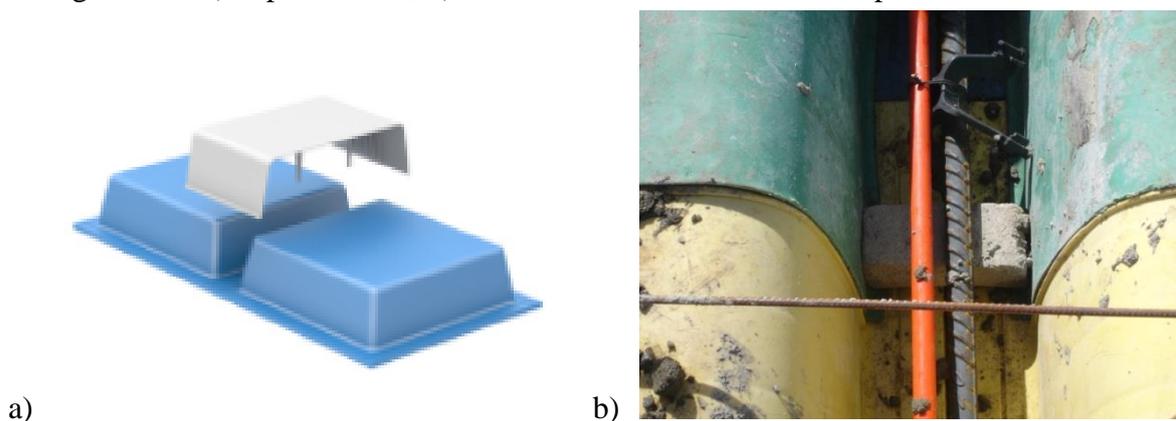
Figura 28 - Trecho delimitado para o CAA: a) Com fita adesiva; b) Sem fita adesiva.



Fonte: A autora (2017).

Na Obra Nº 2, optou-se por não se fazer o teste com a fita adesiva. Eram utilizados elementos Tapa Nervura (Figura 29a), com o intuito de diminuir o volume de aço e concreto necessários. Estes, contudo, constituíam a maior preocupação durante a fase de concretagem, pois poderiam sair do lugar e causar o preenchimento das nervuras com o concreto, indevidamente. Neste caso, tomou-se a providência de utilizar pequenos blocos de concreto para travar os elementos Tapa Nervura, conforme se observa na Figura 29b.

Figura 29 – a) Tapa Nervura; b) bloco de concreto travando o Tapa Nervura.



Fonte: a) Impacto (2017); b) A autora (2017).

3.3.3 Contenção do concreto

Uma vez que as concretagens do pavimento foram iniciadas com o CAA nas duas obras e tendo em vista que a fluidez do CAA permite que ele se espalhe por todo o espaço disponível, houve a necessidade de se promover a sua contenção. Na Obra Nº 1, a contenção do concreto foi feito com pedaços de chapas de madeira compensada e sacos de cimento umedecidos, como é possível ser observado na Figura 30.

Figura 30 - Contenção para o CAA na Obra Nº 1.



Fonte: A autora (2017).

Diferentemente do modo como foi feita a contenção do CAA na Obra N° 1, na Obra N° 2 a contenção foi feita pelo próprio CCV, concretado três dias antes. A Figura 31 mostra que foram feitos diques com o CCV, criando-se um espaço confinado para ser preenchido pelo CAA. Contudo, foi necessário completar a concretagem do trecho delimitado para o CAA com um pouco do CCV, porque o volume de CAA disponível não foi suficiente.

Figura 31 - Contenção para o CAA na Obra N° 2.



Fonte: A autora (2017).

3.3.4 Reunião com os operários

Durante a concretagem com o CAA na Obra N° 1, notou-se a falta de experiência dos operários com o CAA e atentou-se para o fato de que isso poderia impactar negativamente na produtividade. Portanto, como a concretagem na Obra N° 2 ocorreu um mês após a concretagem na Obra N° 1, optou-se por realizar uma reunião com os operários da Obra N° 2 para lhes dar uma breve introdução sobre o CAA e informá-los de como se deveria trabalhar com ele. A Figura 32 mostra o momento da reunião, enquanto as informações eram repassadas.

Figura 32 - Reunião com os operários na Obra N° 2.



Fonte: A autora (2017).

3.3.5 Recebimento e lançamento dos concretos

Em razão do CAA não conseguir manter suas propriedades por muito tempo e a central de concreto ficar bastante distante das obras, sendo esse percurso realizado em um intervalo médio de tempo de uma hora, optou-se inicialmente por acrescentar o aditivo superplastificante apenas após a chegada dos caminhões-betoneira na Obra N° 1. Portanto, os caminhões-betoneira partiram da central com o concreto em seu estado convencional com utilização de um aditivo polifuncional para conferir característica de CCV.

Com a experiência da Obra N° 1, percebeu-se que o acréscimo de aditivo na obra atrasava a liberação dos caminhões-betoneira para a concretagem, então decidiu-se que para a Obra N° 2, o concreto partiria da central já em seu estado autoadensável, com o uso do superplastificante ainda na central. Nesse caso, o aditivo polifuncional foi dispensado.

O lançamento dos concretos esteve condicionado ao seu recebimento e aceitação. Dessa forma, de cada caminhão-betoneira retirou-se uma amostra para a realização de ensaios no estado fresco e moldagem de corpos de prova para posteriores ensaios no estado endurecido. Constatadas as conformidades, os concretos eram liberados para o lançamento.

- Obra N° 1

Os requisitos para os concretos no estado fresco foram estabelecidos em função de sua aplicação, tal como especificados na Tabela 6. Para o CCV, foi realizado apenas o *slump*

test, conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998). Seu único requisito era que o *slump* fosse de (140 ± 20) mm.

Tabela 6 - Requisitos dos CAA nas obras.

Classe de espalhamento	Classe de índice de estabilidade visual	Classe de viscosidade plástica aparente (Funil V)	Habilidade Passante (Caixa L)
SF2	IEV 0	VF2	PL2

Fonte: A autora (2017).

No caso do CAA, após a chegada dos caminhões-betoneira à obra, retirou-se uma amostra para realização do *slump test* com a finalidade de fornecer um parâmetro para definir a quantidade de aditivo superplastificante necessária. A depender do resultado do *slump test*, via-se a necessidade de utilizar o superplastificante em maior ou menor quantidade. Portanto, o aditivo foi dosado na obra, através de sua medição em volume em um recipiente graduado, tal como observa-se na Figura 33.

Figura 33 - Dosagem do aditivo superplastificante na Obra N° 1.



Fonte: A autora (2017).

Logo em seguida foram realizados os ensaios *slump-flow*, funil V e caixa L para o primeiro caminhão-betoneira e apenas o *slump-flow* para os demais caminhões-betoneira contendo CAA, a fim de se agilizar a liberação do caminhão para o bombeamento.

Nesta obra foram utilizados quatro caminhões-betoneira de CAA, cada um deles contendo $7,0 \text{ m}^3$ (aproximadamente 77,8% de sua capacidade), totalizando um volume de $28,0 \text{ m}^3$. Após a realização dos ensaios no estado fresco, foram moldados dois corpos de prova para

cada idade de rompimento à compressão (7 dias e 28 dias) de todos os caminhões-betoneira e mais três corpos de prova para o ensaio de módulo de elasticidade aos 28 dias apenas para dois caminhões-betoneira de cada tipo de concreto.

Para saber se os resultados médios dos módulos de elasticidade do CAA e do CCV desta obra podem ser considerados iguais, utilizou-se da ferramenta análise de dados do Microsoft Office Excel. Foi realizada a análise de variância (ANOVA), fator único, com 95% de confiança.

A Figura 34a mostra o lançamento e o espalhamento do CAA, que se deu sem dificuldade, e a Figura 34b mostra a etapa de acabamento da superfície, que garantia a espessura adequada da laje, na Obra N° 1. A cura úmida do CAA foi igualmente realizada para os dois tipos de concreto.

Figura 34 – Concretagem na Obra N° 1: a) lançamento e espalhamento do CAA; b) acabamento do CAA.



Fonte: A autora (2017).

- Obra N° 2

O CAA da Obra N° 1 não alcançou a resistência à compressão esperada (coerente com os resultados de laboratório e de testes na central e que atendia à resistência de projeto das duas obras), o que provocou uma mudança na composição do traço especialmente em termos de consumo de cimento. Essa medida foi tomada a fim de garantir que não houvesse dúvida de que o CAA atingiria a resistência de projeto especificada para a Obra N° 2.

Na Obra N° 2, dos caminhões-betoneira após a chegada, por conterem o concreto já no estado autoadensável, foram retiradas amostras de concreto para a realização dos ensaios *slump-flow*, funil V e caixa L para o primeiro caminhão-betoneira e somente *slump-flow* para os demais, também com a finalidade de agilizar a liberação dos caminhões-betoneira para o

bombeamento. O CAA saiu da central somente com o acréscimo de aditivo superplastificante. Não houve a necessidade de utilização de aditivo polifuncional.

Para a concretagem com o CAA na Obra N° 2 também foram utilizados quatro caminhões-betoneira, cada um deles contendo 7,0 m³ de CAA, totalizando 28,0 m³. Os CCV da Obra N° 2 necessitavam ter um *slump* de (100 ± 20) mm. Os requisitos para os CAA aplicados também foram os mesmos especificados na Tabela 6.

Para a obra N° 2, de cada caminhão-betoneira foram moldados um corpo de prova para rompimento aos 4 dias (prazo definido para a realização da pré-protensão, com 70% da resistência à compressão de projeto) e dois corpos de prova para rompimento aos 28 dias.

Três corpos de prova foram moldados para o módulo de elasticidade aos 28 dias para todos os caminhões-betoneira contendo CAA e três corpos de prova para quatro caminhões-betoneira contendo CCV. Uma análise de variância (ANOVA) de fator único no Microsoft Office Excel, com 95% de confiança, também foi realizada para os módulos de elasticidade dos concretos da Obra N° 2, a fim de saber se atingiram resultados semelhantes.

A Figura 35 mostra o momento do lançamento e do espalhamento do CAA na Obra N° 2. A cura úmida do CAA foi realizada tal como para o CCV.

Figura 35 - Lançamento e espalhamento do CAA na Obra N° 2.



Fonte: A autora (2017).

3.3.6 Levantamento de dados nas obras

Os seguintes parâmetros foram mensurados durante as concretagens: ruído, tempo de concretagem; quantidade de profissionais, ferramentas e máquinas envolvidas em todas as

etapas das concretagens. Uma equipe de cinco pessoas foi montada para realizar a coleta de dados (simultaneamente) nas obras, embora esse número não tenha se mantido constante ao longo do dia. Cada pessoa da equipe possuía uma função. Informações referentes a custos foram obtidas posteriormente.

- Ruído

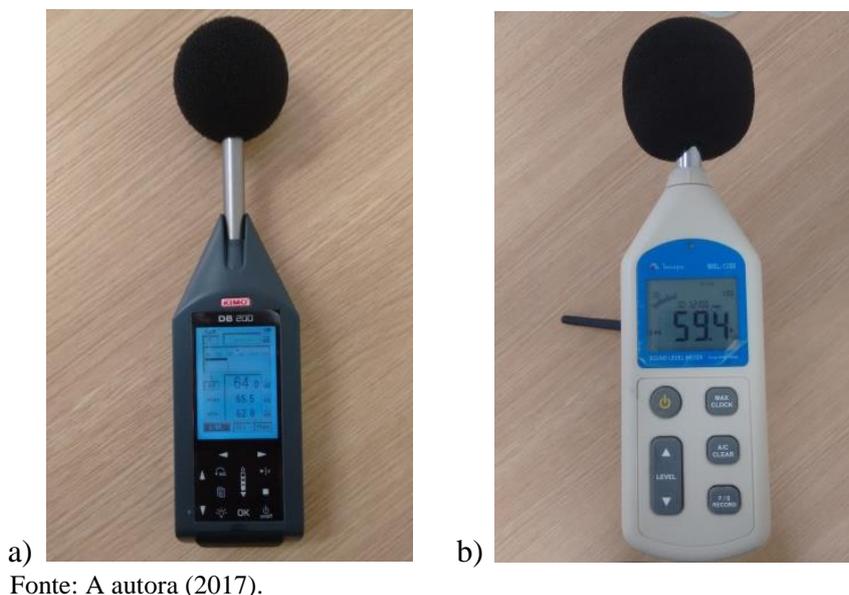
O CAA dispensa o uso do vibrador de imersão para adensamento do concreto, ao contrário do CCV. Diante deste fato, realizaram-se medições de ruído sobre a laje que estava sendo concretada, enquanto outro aparelho registrava o ruído no entorno da obra, ainda nas imediações internas do canteiro de obras, a fim de se comprovar a diferença da intensidade de ruído perceptível durante a concretagem com esses dois tipos de concreto.

O vibrador de imersão corresponde a uma fonte de ruído contínuo ou intermitente, de acordo com a Norma de Higiene Ocupacional 01 (NHO-01) (FUNDACENTRO, 2001) e com a Norma Regulamentadora 15 (NR-15) (BRASIL, 1978b), que estabelecem como critério de referência (máxima exposição diária permissível) o nível de 85 dB(A), correspondente a uma dose de 100% para exposição de 8 horas diárias. Este critério de referência é utilizado para se determinar se um ambiente é insalubre ou não, contudo, nesta pesquisa as medições de ruído não tiveram este propósito.

As medições do ruído ocorreram por meio de um medidor de nível de pressão sonora, comumente chamado de decibelímetro¹. No entorno da obra, o ruído foi medido utilizando-se um decibelímetro modelo DB200, da marca KIMO, com resolução de 0,1 dB. Na laje, as medições ocorreram com um decibelímetro modelo MSL-1355, da marca Minipa, também com resolução de 0,1 dB. Ambos possuíam precisão classe 2 e são apresentados na Figura 36.

¹ A rigor, a denominação técnica para este equipamento é medidor de nível de pressão sonora. Contudo, nesta dissertação será utilizada a denominação mais comum, ou seja, decibelímetro, para efeito de simplificação.

Figura 36 – Decibelímetros utilizados nas medições de ruído a) no entorno; b) na laje.

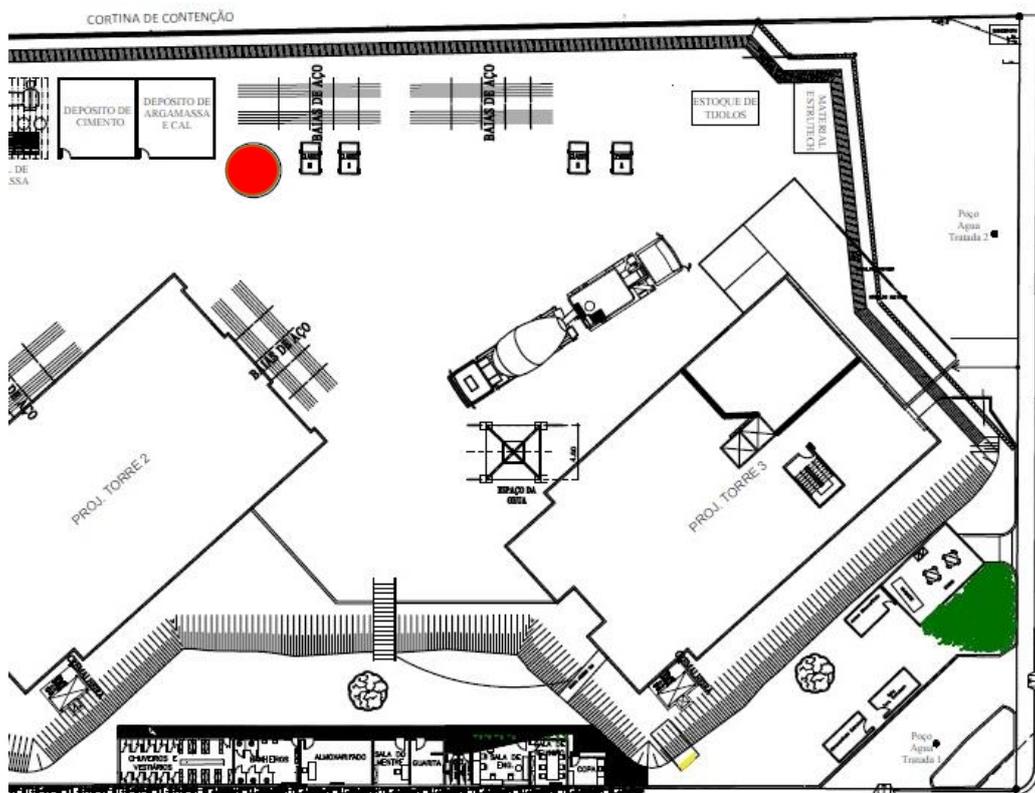


Os decibelímetros foram configurados para uma faixa de medição compreendida entre 30 dB e 130 dB, operando no circuito de ponderação “A” (condições ambiente), com tempo de resposta lento (*slow*), em acordo com a NR15 (BRASIL, 1978) e a NHO-01 (FUNDACENTRO, 2001), por se tratar de medição de ruído contínuo ou intermitente. Sobre os microfones dos decibelímetros, foram utilizadas esponjas protetoras, com o intuito de evitar possíveis interferências causadas pelo vento e também para protegê-los contra poeira.

As medições no entorno da obra ocorreram com o decibelímetro preso a um tripé, a 1,30 m de altura, enquanto sobre a laje, devido à movimentação dos profissionais durante a concretagem, elas ocorreram com o decibelímetro empunhado pelo operador, localizado tão perto quanto possível dos profissionais que manipulavam os vibradores, atentando-se para manter o aparelho a uma altura não superior a 1,50 m.

A Figura 37 mostra a exata localização do decibelímetro que realizou medições de ruído no entorno da Obra N° 1. A Figura 38 apresenta uma foto aérea do pavimento concretado com CAA, na Obra N° 2, e indica a posição do decibelímetro, embora este tenha se localizado no pavimento anterior (térreo).

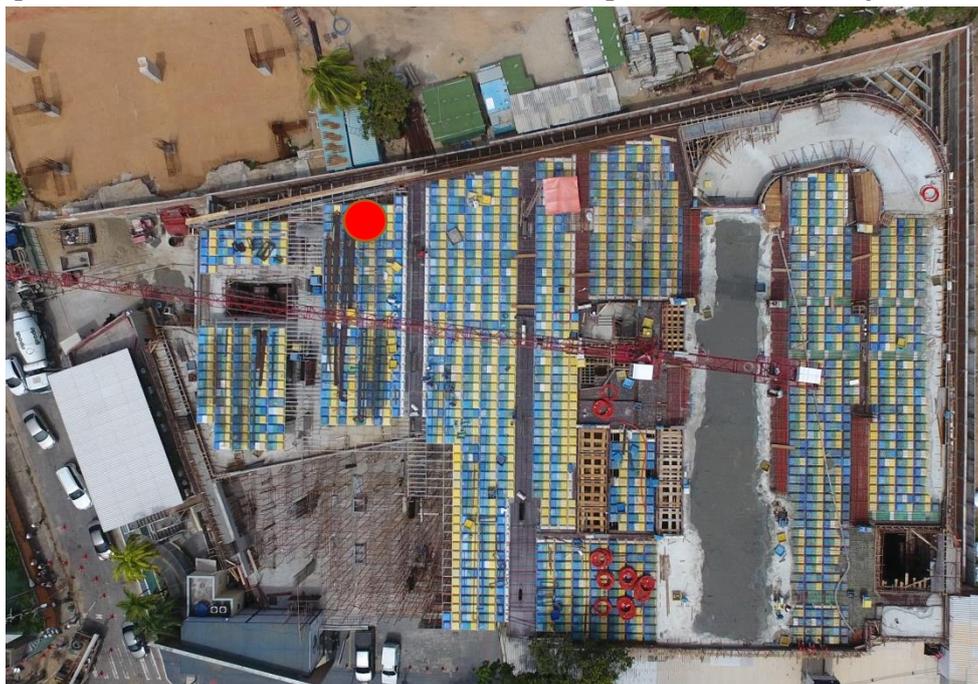
Figura 37 – Recorte do layout do canteiro de obras da Obra N° 1, demonstrando a posição do decibelímetro no entorno da obra (subsolo).



Fonte: A autora (2017).

Nota: O círculo vermelho indica a posição na qual o decibelímetro ficou situado.

Figura 38 - Posição do decibelímetro na Obra N° 2 no entorno da obra (pavimento térreo – imediatamente inferior ao pavimento em exibição).

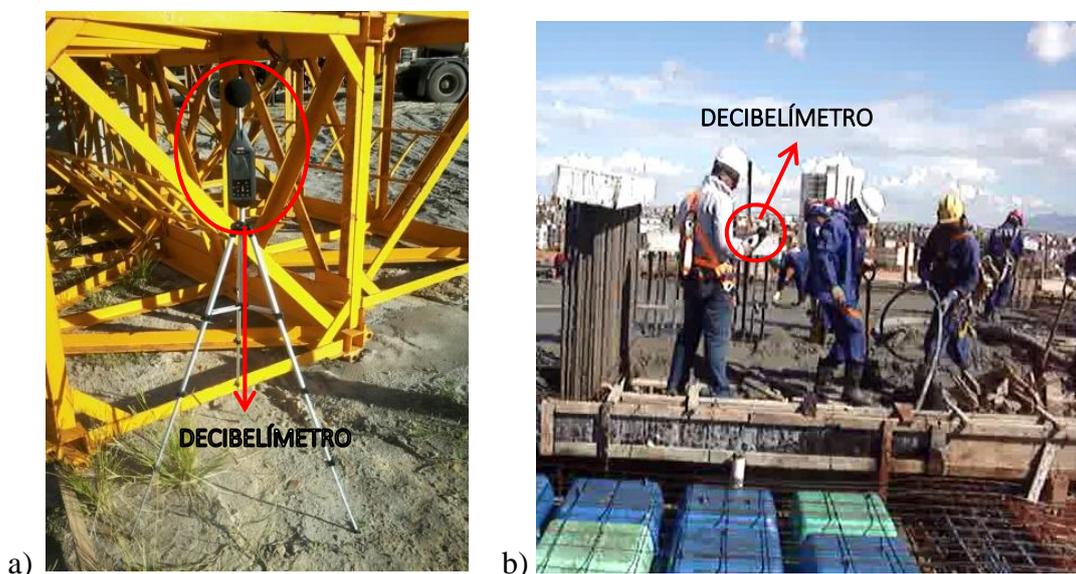


Fonte: A autora (2017).

Nota: O círculo vermelho indica a posição na qual o decibelímetro ficou situado.

A Figura 39 ilustra as medições de ruído em uma das obras.

Figura 39 - Medições de ruído a) no entorno da obra; b) na laje.



Fonte: A autora (2017).

Cada medição, cujo medidor gravava um registro por segundo, durava cerca de três minutos, durante o descarregamento de cada caminhão-betoneira. Para a concretagem com o CCV, as medições foram realizadas a partir do momento em que o concreto passava a ser adensado com o vibrador, enquanto para o CAA, as medições ocorriam poucos instantes após o início de descarregamento do caminhão-betoneira.

- Mão de obra, maquinário e ferramentas

Durante as concretagens, tomou-se nota de todos os profissionais que estavam diretamente ligados a esse serviço em suas várias etapas (espalhamento, adensamento - quando realizado - e acabamento), bem como se identificou e quantificou os maquinários e ferramentas utilizados por eles. Esses dados foram coletados durante o descarregamento de cada caminhão-betoneira.

- Tempo de concretagem

O tempo de concretagem foi obtido mediante acompanhamento integral de todas as etapas que envolviam esse serviço, tomando-se o cuidado para descontar o tempo de

qualquer parada alheia à execução, a exemplo de interrupção para almoço, atraso dos caminhões-betoneira seguido de interrupção de qualquer uma das atividades, entre outros motivos.

- Custos

O custo do metro cúbico de cada tipo de concreto foi obtido junto à central de concreto. Por outro lado, o custo da mão de obra foi informado pela empresa terceirizada que executou a concretagem, no caso da Obra N° 1, e pela própria construtora, que possuía mão de obra própria, no caso da Obra N°2. Dessa forma, foi possível contabilizar o custo global das concretagens para as duas tecnologias (CAA e CCV).

3.3.7 Indicadores de desempenho do processo construtivo

Para realizar a comparação entre os parâmetros medidos e/ou adquiridos nas obras para o CAA e para o CCV, foram usados indicadores de desempenho, os quais se encontram especificados para cada parâmetro no Quadro 4.

Quadro 4 - Indicadores usados.

Parâmetro	Indicador
Ruído médio em dB(A) por caminhão-betoneira	RM _{CB}
Ruído médio em dB(A) por tipo de concreto	RM _{TC}
Taxa de concretagem	m ³ /h
Produtividade da mão de obra	RUP _{MO}
Produtividade dos maquinários e das ferramentas	RUP _{MF}
Custo do metro cúbico do concreto	R\$/m ³
Custo do concreto por unidade de resistência	R\$/MPa
Custo total da mão de obra por hora	R\$ _{MO} /h

Fonte: A autora (2017).

O ruído médio mensurado durante o descarregamento de cada caminhão-betoneira foi obtido a partir da Equação (2), onde “n” é a quantidade de registros obtidos para cada caminhão-betoneira. O ruído médio para cada tipo de concreto foi obtido conforme a Equação (3), onde “n” desta vez se refere à quantidade de caminhões-betoneira para cada tipo de concreto. Esses indicadores foram criados pela autora.

$$RM_{CB} = \frac{\sum \text{Registros de ruído em dB(A)/medição}}{n} \quad (2)$$

$$RM_{TC} = \frac{\sum RM/CB}{n} \quad (3)$$

Onde:

$\sum RM/CB$ = somatório do ruído médio por caminhão-betoneira.

A quantidade de serviço dividida pelo tempo dispendido na realização do serviço é definida por Dantas (2006) para expressar a velocidade de concretagem (V). Na presente dissertação, contudo, essa velocidade foi chamada de taxa de concretagem, representada pelo indicador m^3/h , e calculada por meio da Equação (4).

$$m^3/h = \frac{\text{volume de concreto}}{\text{tempo de concretagem}} \quad (4)$$

A produtividade da mão de obra foi medida por meio da RUP para expressar a quantidade de homem-hora necessária para realizar o serviço de concretagem para determinado volume de concreto, conforme a Equação (5), de acordo com Souza (2000). Quanto à abrangência, a RUP utilizada foi a do tipo Oficial, ou seja, foram considerados apenas os oficiais diretamente envolvidos no serviço. Quanto ao intervalo de tempo, considerou-se a RUP Diária.

A partir do conhecimento de que produtividade pode ser mensurada do ponto de vista físico, referente a materiais, mão de obra ou equipamentos (SOUZA, 2000), a RUP foi adaptada nesta dissertação e utilizada para se obter a produtividade dos maquinários e das ferramentas usados durante a concretagem. O indicador RUP_{MF} , portanto, foi calculado segundo a Equação (6).

$$RUP_{MO} = \frac{H \times h}{m^3} \quad (5)$$

Onde:

RUP_{MO} = produtividade da mão de obra;

H = quantidade de homens necessários para realizar o serviço de concretagem;

h = tempo total dedicado ao serviço de concretagem (considerando as interrupções), em horas;

m^3 = volume de concreto, em metros cúbicos.

$$RUP_{MF} = \frac{MF \times h}{m^3} \quad (6)$$

Onde:

RUP_{MF} = produtividade das máquinas e ferramentas;

MF = quantidade média de máquinas e ferramentas usadas durante a concretagem;

h = tempo de duração da concretagem, em horas;

m^3 = volume de concreto, em metros cúbicos.

O custo do concreto foi mensurado por meio de dois indicadores; um em termos de valor monetário (R\$) por unidade de volume (m^3) e o outro, valor monetário (R\$) por unidade de resistência à compressão (MPa).

O custo total da mão de obra por hora ($R\$_{MO}/h$) foi calculado mediante a soma do valor para cada operário envolvido no serviço, por hora trabalhada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados de laboratório obtidos para o traço de CAA utilizado para substituir o CCV nas obras, os resultados obtidos para esse traço quando testado na central de concreto e, ainda, os resultados obtidos na fase de levantamento de dados nas obras, para os dois tipos de concreto. Logo, esses resultados possibilitaram a comparação entre o CCV e o CAA em obras verticais.

4.1 Obtenção do traço de CAA

Durante o teste realizado na central de concreto, o traço de CAA necessitou de adaptação quanto à quantidade de água e de aditivo superplastificante, sendo mantidos os consumos dos demais materiais. Portanto, enquanto o consumo de cimento permaneceu 408 kg/m³, a relação a/c foi reduzida de 0,50 para 0,46, e o consumo de aditivo foi elevado de 0,70% para 1,00%. A Tabela 7 a seguir fornece os resultados dos ensaios realizados no CAA no estado fresco nos dois ambientes.

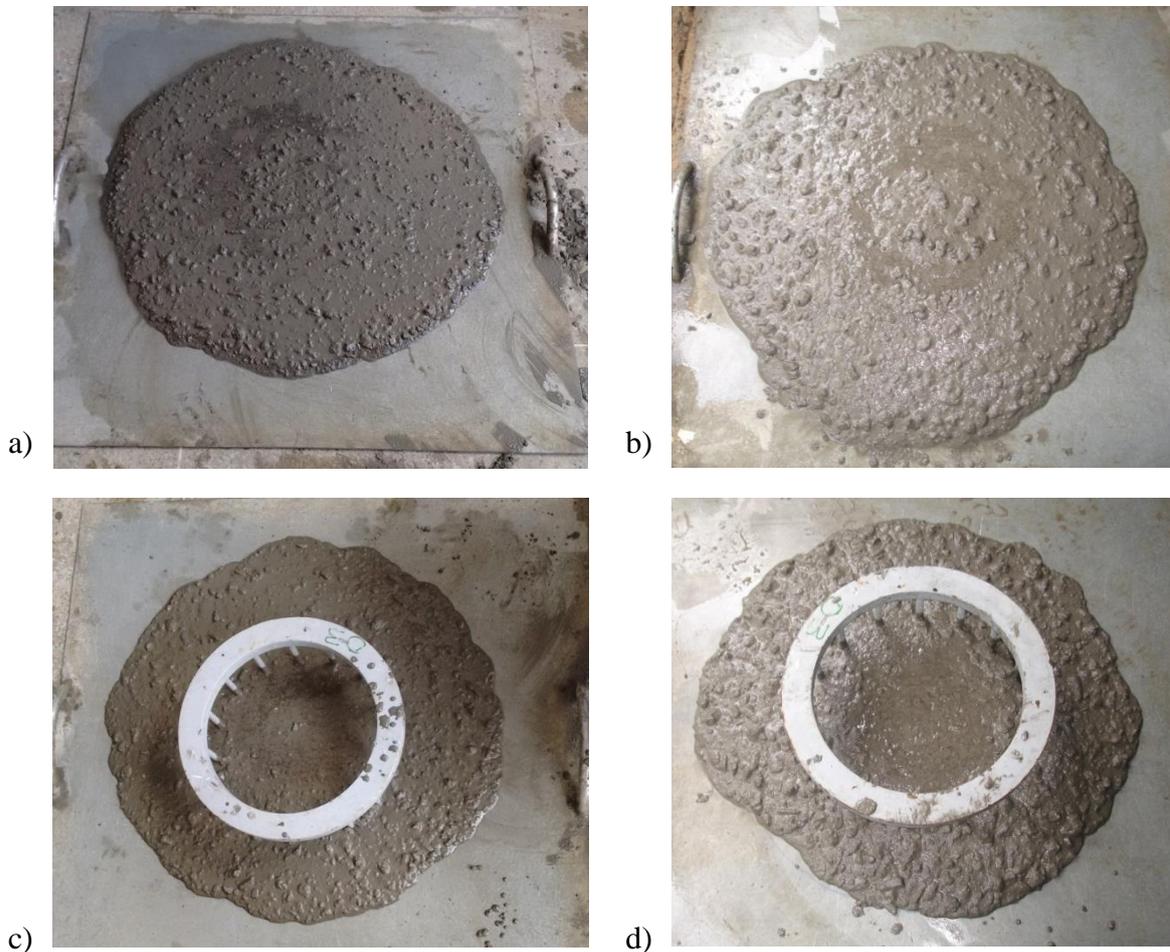
Tabela 7 - Resultados dos ensaios realizados no CAA, em teste, no estado fresco.

Ensaio	Em laboratório		Na central de concreto	
	Resultado	Classe	Resultado	Classe
<i>Slump-flow</i>	720,0 mm	SF2	717,5 mm	SF2
Anel J	47,0 mm	PJ1	85,0 mm	-
Funil V	3,58 s	VF1	2,99 s	VF1

Fonte: A autora (2017).

Constantou-se que o CAA apresentava as propriedades necessárias para considerá-lo apto a ser utilizado. Na Figura 40a e na Figura 40b, é possível visualizar a ausência de exsudação nas bordas do concreto, bem como a ausência de concentração de agregados graúdos no centro, que indicariam segregação. Portanto, em ambas as situações o índice de estabilidade visual pode ser classificado como IEV0, pois há uma adequada distribuição dos agregados. Na Figura 40c e na Figura 40d não se vê a formação de uma coroa de agregados no centro do anel J devido à passagem do concreto pelas armaduras.

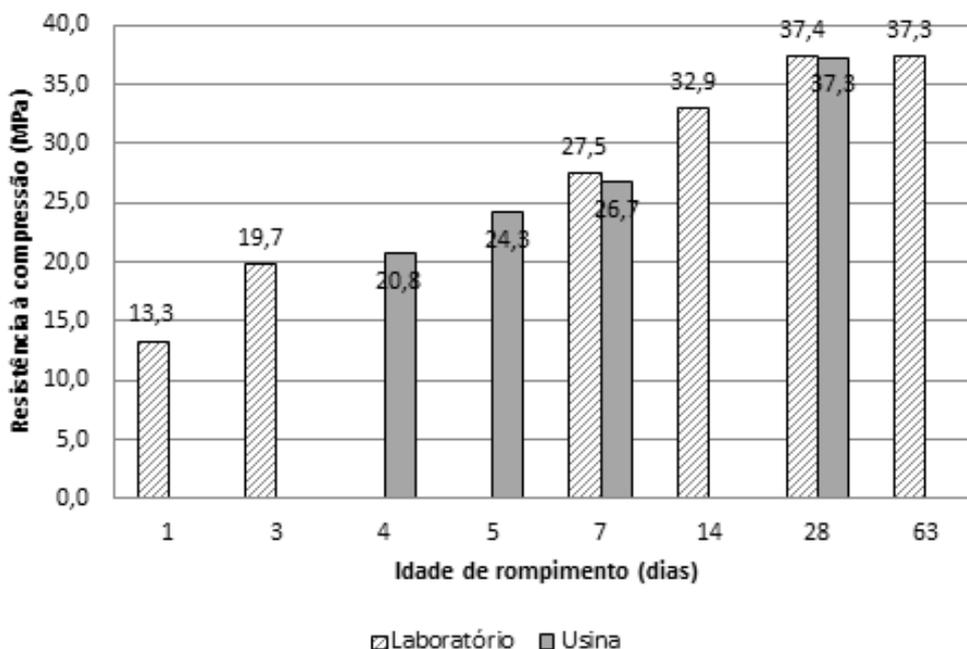
Figura 40 – Ensaio no estado fresco: a) *Slump-flow* realizado no CAA em laboratório; b) *Slump-flow* realizado no CAA na central de concreto; c) Ensaio do anel J realizado no CAA em laboratório; d) Ensaio do anel J realizado CAA na central de concreto.



Fonte: A autora (2017).

A seguir, na Figura 41, apresentam-se os resultados médios da resistência à compressão em cada idade de rompimento para o CAA testado em laboratório e na central de concreto. Embora se tenha conseguido diminuir um pouco o volume de água da mistura, o teste na central de concreto ocorreu em dia de chuva, quando os agregados apresentavam alto teor de umidade, o que pode explicar a resistência ter se mantido praticamente a mesma em relação à obtida em teste realizado no laboratório.

Figura 41 - Resistência média à compressão do CAA produzido em laboratório e na central.



Fonte: A autora (2017).

O ensaio para determinação do módulo de elasticidade do CAA foi realizado apenas em laboratório, no qual se obteve um resultado médio igual a 24,89 GPa aos 28 dias.

4.2 Ensaio no CAA no estado fresco – nas obras

A Tabela 8 apresenta os traços finais dos CAA utilizados nas duas obras.

Tabela 8 - Traço finais dos CAA.

Material	Traço 30 MPa (Obra N° 1)		Traço 35 MPa (Obra N° 2)	
	kg/m ³	Unitário	kg/m ³	Unitário
Cimento	408,0	1	428,0	1
Areia natural	652,9	1,6	653,0	1,53
Pó de pedra	159,1	0,39	159,0	0,37
Brita 12,5 mm	359,0	0,88	359,0	0,84
Brita 19,0 mm	391,0	0,96	392,0	0,92
Água	187,7	0,46	193,0	0,45
Superplastificante	Variável*	0,40% - 0,70%	4,28	1%

Fonte: A autora (2017).

Nota: (*) Valores diferentes para cada um dos quatro caminhões-betoneira.

- Obra Nº 1

A Tabela 9 traz os resultados dos ensaios para o CAA da Obra Nº 1.

Tabela 9 - Resultados dos ensaios no estado fresco para o CAA da Obra Nº 1.

CB	<i>Slump test</i>	Aditivo	<i>Slump flow</i>	Funil V	Caixa L	Classe
1º	35 mm	0,73%	750 mm	3 s	0,92	SF2/VF1/PL2
2º	100 mm	0,40%	685 mm	N.R.	N.R.	SF2
3º	90 mm	0,57%	710 mm	N.R.	N.R.	SF2
4º	100 mm	0,40%	675 mm	N.R.	N.R.	SF2

Fonte: A autora (2017).

Legenda: N.R. corresponde a ensaio não realizado. CB corresponde a caminhão-betoneira.

- Obra Nº 2

A Tabela 10 apresenta os resultados dos ensaios no estado fresco para o CAA desta obra.

Tabela 10 - Resultados dos ensaios no estado fresco para o CAA da Obra Nº 2.

CB	<i>Slump-flow</i>	Funil V	Caixa L*	Classe
1º	693,33 mm	3 s	0,83	SF2/VF1/PL2
2º	727,5 mm	N.R.	N.R.	SF2
3º	750 mm	N.R.	N.R.	SF2
4º	790 mm	N.R.	N.R.	SF3

Fonte: A autora (2017).

Legenda: N.R. corresponde a ensaio não realizado. CB corresponde a caminhão-betoneira.

Nota: (*) Verificar Apêndice C.

Esperava-se que no ensaio do *slump-flow*, para cada caminhão-betoneira, a classe de espalhamento fosse SF2, no entanto, observa-se que para o último caminhão-betoneira contendo CAA, a classe de espalhamento foi SF3 (com resultado acima de 750 mm). O CAA, apesar de muito fluido, não apresentou segregação (vide Figura 42), e, portanto, foi lançado neste estado sem qualquer prejuízo.

Figura 42 - *Slump flow* do quarto caminhão-betoneira contendo CAA da Obra N° 2.



Fonte: A autora (2017).

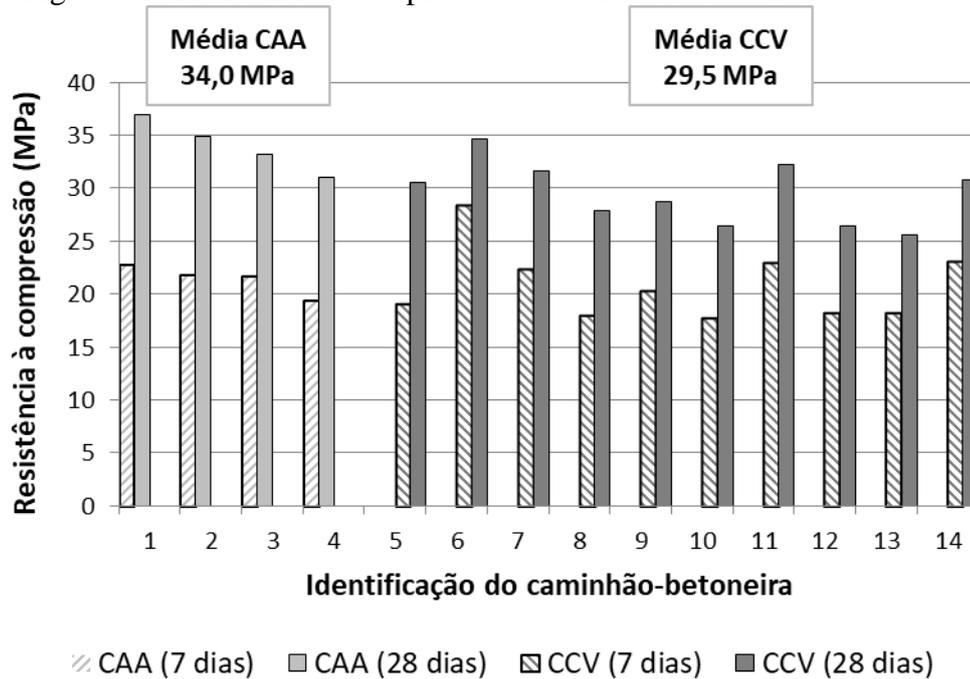
4.3 Propriedades mecânicas dos CAA das obras

- Obra N° 1

A Figura 43 apresenta os resultados de resistência à compressão dos concretos utilizados na Obra N° 1, fornecidos pela empresa que realiza o controle tecnológico dos mesmos.

Analisando a Figura 42 é possível perceber que o CAA atendeu ao requisito de 30 MPa para a obra, embora se esperasse uma resistência que superasse 35 MPa aos 28 dias, tal como ocorreu nos testes realizados em laboratório e na central de concreto para o mesmo traço. É possível que tenha ocorrido alguma falha na pesagem da água de amassamento do CAA na central de concreto, o que justificaria a perda de resistência. Contudo, nota-se que a ocorrência de resistências mais baixas também se deu no CCV, o que sugere que haja deficiência no processo produtivo como um todo, independente do tipo de concreto produzido.

Figura 43 - Resistência à compressão dos concretos da Obra N° 1.



Fonte: A autora (2017).

O ensaio do módulo de elasticidade foi realizado para dois caminhões-betoneira de cada tipo de concreto. Os resultados podem ser acompanhados na Tabela 11 e se encontram coerentes com os resultados obtidos nos testes em laboratório. Há uma pequena diferença no resultado médio para os dois tipos de concreto, no entanto, a ANOVA mostrou que a diferença dos resultados não foi significativa, pois, o F obtido foi inferior ao $F_{crítico}$, assim como o P foi superior a 0,05. A Tabela 23, no Apêndice B, apresenta a ANOVA feita.

Tabela 11 - Módulo de elasticidade dos concretos da Obra N° 1.

CB	Tipo de concreto	Módulo de elasticidade (GPa)	Resultado médio (GPa)
2°	CAA	25,5	24,7
4°	CAA	23,8	
6°	CCV	23,4	22,5
10°	CCV	21,6	

Fonte: A autora (2017).

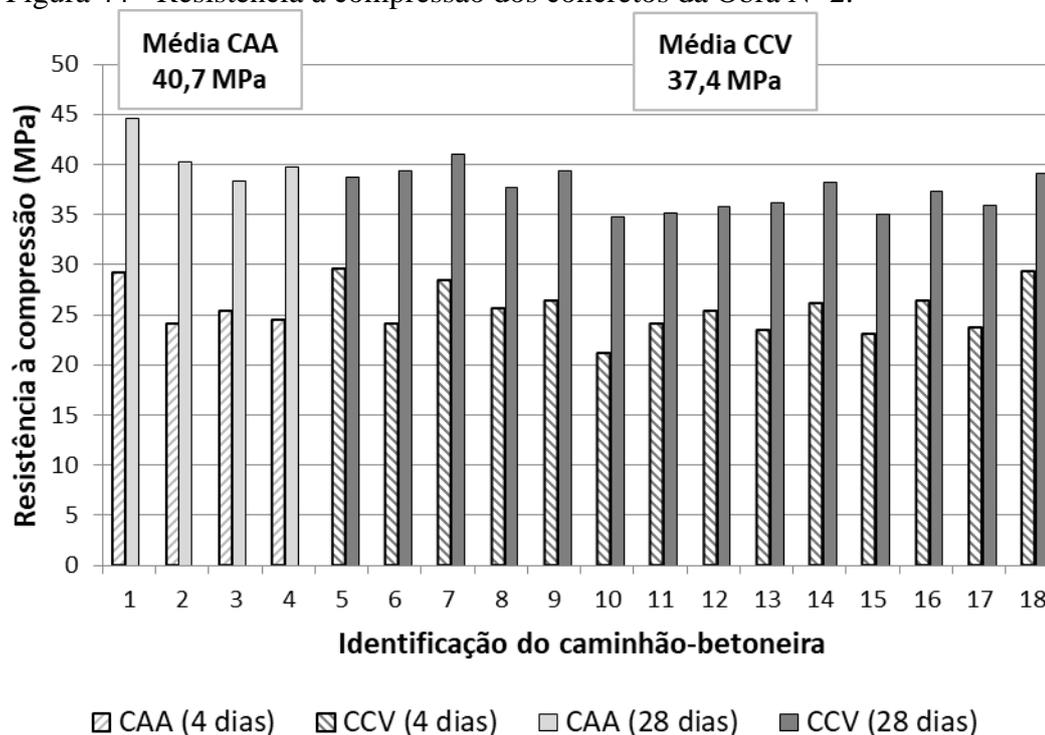
Legenda: CB corresponde a caminhão-betoneira.

- Obra N° 2

A Figura 44 mostra os resultados médios da resistência à compressão para os

concretos da Obra N° 2 fornecidos pela empresa que realizou o controle tecnológico dos concretos. O requisito inicial desta obra era de que aos cinco dias os concretos superassem 70% da resistência à compressão de projeto, ou seja, aos cinco dias, os concretos necessitariam ter no mínimo 24,5 MPa, valor este que foi alcançado pelo CAA já no quarto dia (idade de rompimento devido o quinto dia não ser dia útil). O mesmo não ocorreu com o CCV de todos os caminhões-betoneira. Esse resultado para o CAA foi promovido, provavelmente, pelo aumento do consumo de cimento proposital.

Figura 44 - Resistência à compressão dos concretos da Obra N° 2.



Fonte: A autora (2017).

Observa-se ainda, na Figura 44, que apenas o concreto do caminhão-betoneira de número 10 não superou os 35 MPa, contudo, neste caso, trata-se do CCV, cuja responsabilidade era inteiramente atribuída à central de concreto.

A Tabela 12 expõe os resultados para o ensaio do módulo de elasticidade dos concretos da Obra N° 2. Nota-se que as médias dos resultados para cada tipo de concreto são equivalentes e, comprovadamente pela ANOVA, não há diferença significativa entre os resultados, já que o F obtido foi inferior ao $F_{crítico}$ e o P superior a 0,05. A Tabela 24, no Apêndice B, apresenta a ANOVA feita.

Tabela 12 - Módulo de elasticidade dos concretos da Obra N° 2.

CB	Tipo de concreto	Módulo de elasticidade	Resultado médio
		(GPa)	(GPa)
1°	CAA	30,4	
2°	CAA	27,6	29,4
3°	CAA	31,1	
4°	CAA	28,4	
6°	CCV	29,7	
7°	CCV	31,1	29,0
8°	CCV	26,6	
9°	CCV	28,7	

Fonte: A autora (2017).

Legenda: CB corresponde a caminhão-betoneira.

Os resultados para o módulo de elasticidade do CAA em comparação ao CCV, nas duas obras, estão coerentes com os resultados obtidos por Tutikian (2007), uma vez que, segundo o autor, para resistências à compressão convencionais, os CAA apresentam módulos de elasticidade iguais ou superiores ao CCV.

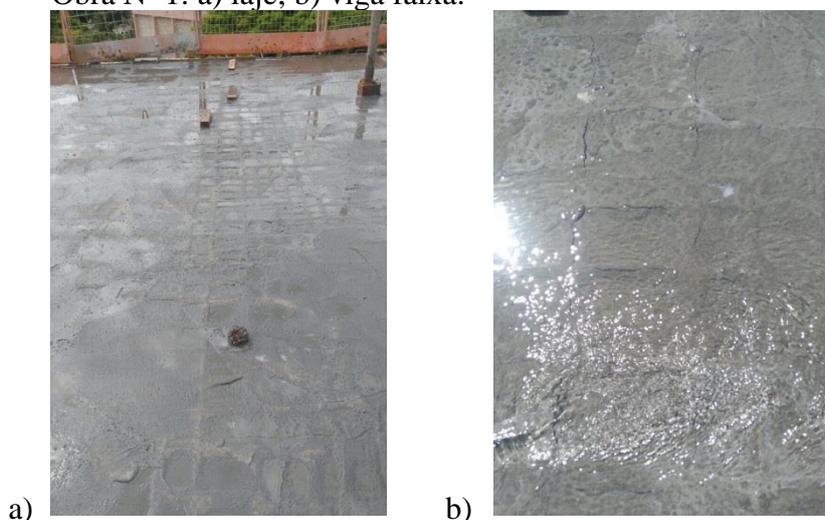
4.4 Estanqueidade das formas

Durante a concretagem com o CAA na Obra N° 1, observou-se que houve pouco vazamento no trecho que estava sem fita adesiva e nenhum vazamento no trecho em que a fita foi utilizada. Na Obra N° 2, não ocorreu qualquer tipo de vazamento significativo entre as formas durante as concretagens. Logo, pôde-se concluir que a fita adesiva pode ser dispensada, sem prejuízo significativo, desde que se tenha o cuidado em tornar as formas mais estanques o quanto for possível. O uso da fita adesiva requer tempo para aplicá-la, atrasando a colocação das armaduras, além de promover um custo a mais não orçamentado.

4.5 Pós-concretagens

Houve retardo de pega em todo o CAA lançado na Obra N° 1, possivelmente provocado pela interação do aditivo polifuncional utilizado na central de concreto e o aditivo superplastificante acrescentado na obra. Esse fato ocasionou retração plástica no CAA e assentamento plástico, ao ponto de quase expor as armaduras (vide Figura 45).

Figura 45 - Assentamento e retração plásticos no CAA da Obra N° 1: a) laje; b) viga faixa.



Fonte: A autora (2017).

O incidente levou ao entendimento de que ao haver necessidade de dosar o superplastificante na obra, devem-se realizar testes preliminarmente à fase de uso do CAA para a concretagem, a fim de evitar que esse tipo de problema ocorra sem que haja tempo hábil para tomar algum tipo de providência.

A Figura 46 mostra a aparência das vigas e da laje após a desforma do CAA na Obra N° 1. Nota-se a ausência de nichos de concretagem e um acabamento superficial satisfatório. A fita adesiva não ofereceu um acabamento muito diferente daquele obtido nos trechos sem fita.

Na Obra N° 2 não houve retardo de pega no CAA, tendo o concreto endurecido normalmente. Houve, contudo, o surgimento de fissuras de retração (Figura 47) por toda a extensão do CAA, mesmo tendo sido realizada a cura adequadamente, que podem ter sido desencadeadas pelo elevado consumo de cimento da mistura.

Bonen e Shah (2004) afirmam que, de um modo geral, o CAA é mais vulnerável à retração que o CCV, devido o volume de pasta ser maior. Os autores sugerem ainda que esta generalização seja aplicada especialmente aos CAA que possuam baixa relação a/c, por causa da tensão combinada entre a retração autógena e a retração por secagem, que são propriamente elevadas. Ainda de acordo com os autores, a retração pode ser reduzida através da substituição de uma boa parte do cimento por material não pozolânico ou que possua baixa atividade pozolânica, para evitar o refinamento da microestrutura dos poros (que é o que causa maior retração após a secagem).

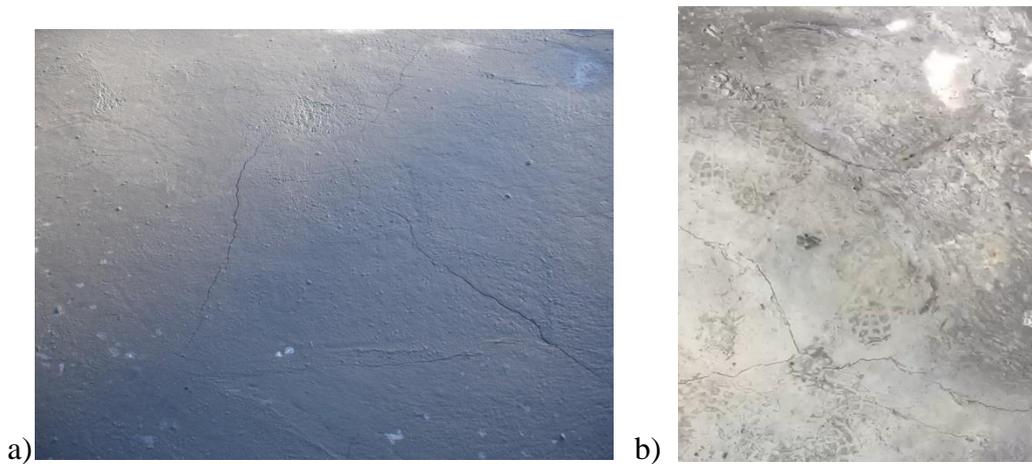
Figura 46 – Aparência do CAA após a desforma na Obra N° 1: a) trecho de laje sem fita

adesiva; b) trecho de laje com fita adesiva; c) fundo de viga faixa; d) lateral de viga.



Fonte: A autora (2017).

Figura 47 – Fissuras de retração no CAA da Obra Nº 2: a) durante endurecimento; b) após 24 h.

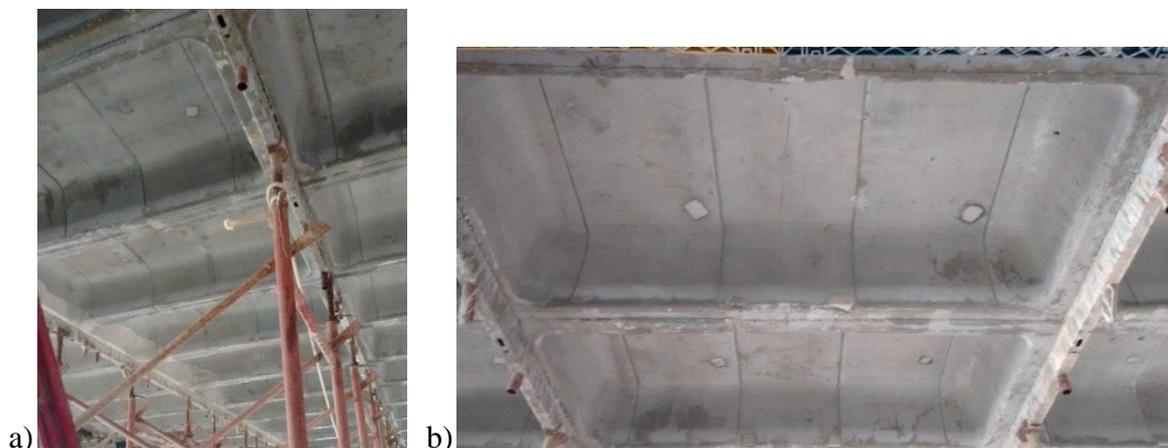


Fonte: A autora (2017).

A Figura 48a e a Figura 48b mostram a aparência do CAA após a desforma na Obra Nº 2. Não se constata nicho de concretagem e se verifica um acabamento superficial

satisfatório.

Figura 48 - Aparência do CAA após a desforma na Obra N° 2: a) trecho de laje; b) trecho de laje em detalhe.



Fonte: A autora (2017).

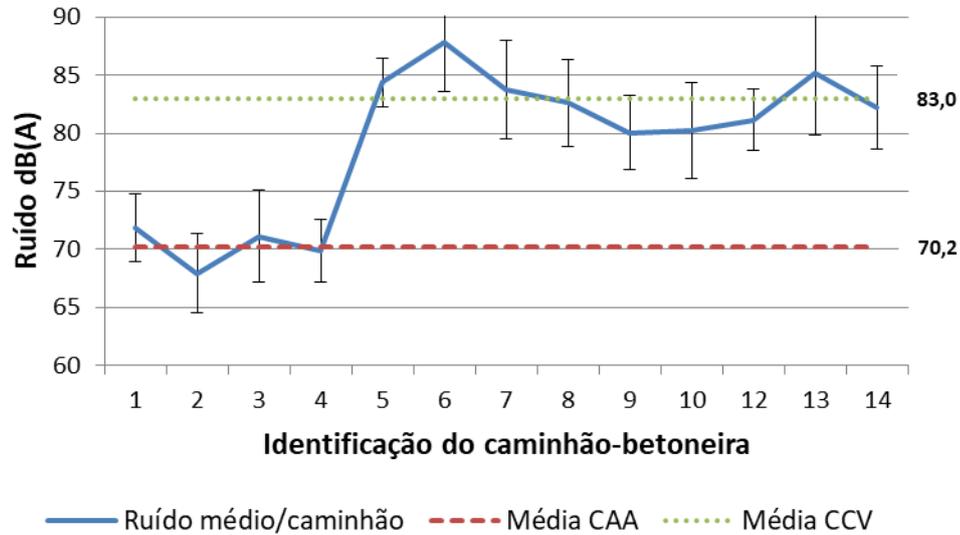
4.6 Análise comparativa entre o CAA e o CCV

Esta sessão contempla os resultados obtidos a partir do acompanhamento das concretagens nas obras e coleta de dados.

4.6.1 Ruído

A média do ruído registrado durante a concretagem com o CAA na Obra N°1 (1° ao 4° caminhão-betoneira), na laje (Figura 49), corresponde a uma redução de 15,4% em relação à média do ruído registrada para a concretagem com o CCV (demais caminhões-betoneira). Para a obra N° 2 (Figura 50), a média obtida para o CAA (3° e 4° caminhão-betoneira) em relação ao CCV (demais caminhões-betoneira), foi 11,8% inferior.

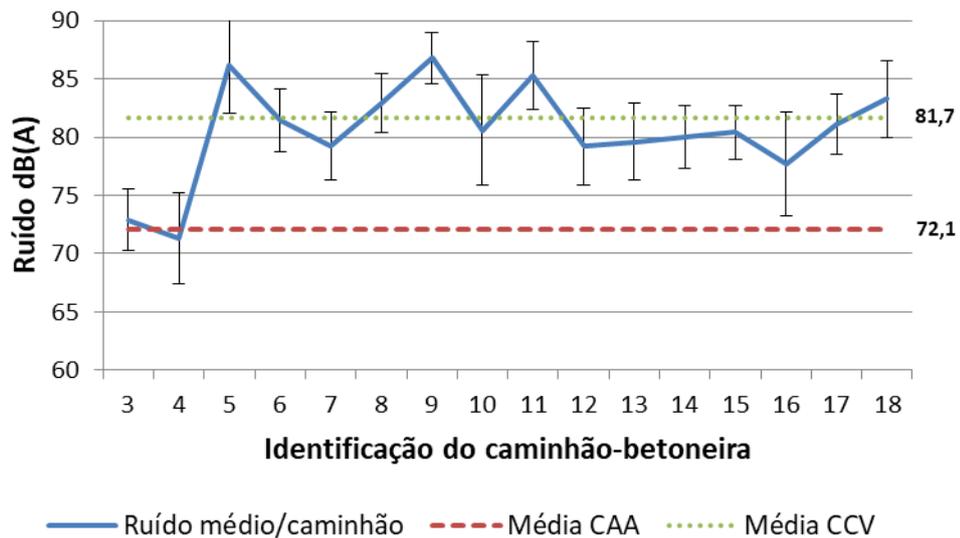
Figura 49 - Ruído medido sobre a laje da Obra N° 1.



Fonte: A autora (2017).

A ausência de registros para o 11° caminhão-betoneira, na Figura 49, e para o 1° e 2° caminhão-betoneira na Figura 50 se deve a uma falha ocorrida na manipulação do decibelímetro durante a gravação dos dados.

Figura 50 - Ruído medido sobre a laje da Obra N° 2.



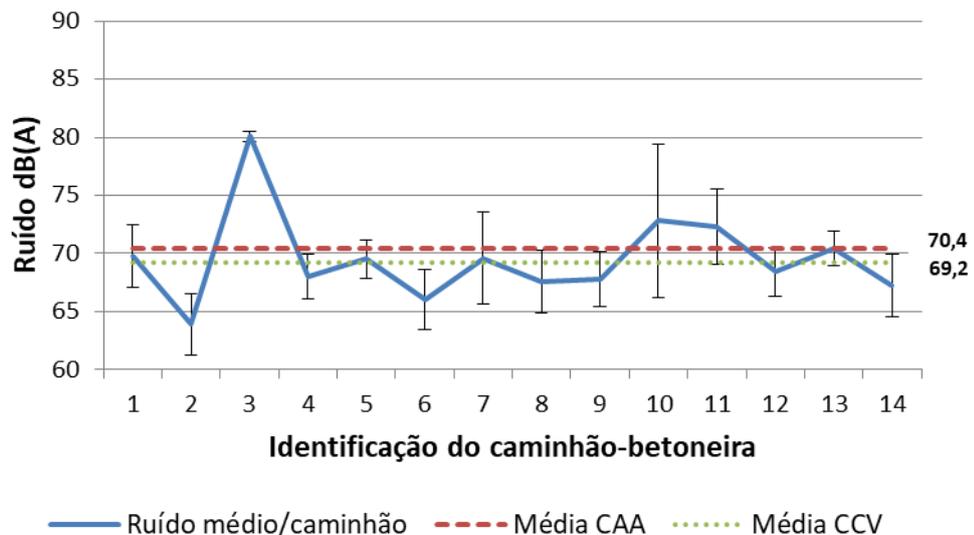
Fonte: A autora (2017).

Conforme pode ser observado na Figura 51 e na Figura 52, que apresentam as médias de ruído registrados no entorno de cada obra, nota-se que as médias tanto para o CCV quanto para o CAA ficaram compreendidas entre 70 dB(A) e 72 dB(A), tendo sido obtidas médias superiores em 1,7% na Obra N° 1 e 0,4% na Obra N° 2, para o CAA em

relação ao CCV.

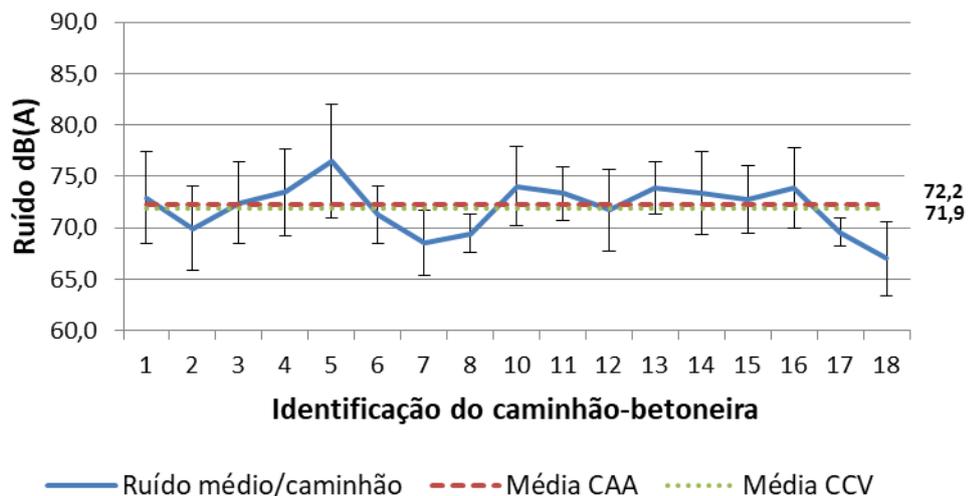
Considerando-se que essas diferenças são mínimas (menos que 2 dB(A)) e que o decibelímetro pode ter registrado o ruído de outras fontes durante a concretagem com os primeiros caminhões-betoneira, pode-se considerar que as médias obtidas para o CAA e para o CCV no entorno das obras são equivalentes.

Figura 51 - Ruído medido no entorno da Obra N° 1.



Fonte: A autora (2017).

Figura 52 - Ruído medido no entorno da Obra N° 2.



Fonte: A autora (2017).

Fazendo-se uma comparação das médias obtidas para o CAA na laje com as médias obtidas no entorno da obra, nas duas obras elas praticamente se mantêm, ou seja, a ausência do uso do vibrador de imersão propicia níveis de ruído no ambiente que está sendo

concretado semelhantes aos níveis perceptíveis no entorno da obra, que provavelmente são inerentes às outras atividades que estão sendo realizadas na obra no momento da concretagem.

No estudo realizado por Bartos e Söderlind (2000 *apud* TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015), no entanto, os autores concluíram que o ruído captado pelos operários e pelo entorno da edificação durante a execução da concretagem com CAA é de aproximadamente um décimo do ruído recebido durante a concretagem com o CCV. A diferença entre esse resultado com o da presente pesquisa pode ser justificada pela divergência nos métodos de medições do ruído.

Nota-se, contudo, que independente do uso do CAA ou do CCV, em ambas as obras, tanto na laje quanto no entorno da obra, as médias dos ruídos se encontram inferiores ao critério de referência estabelecido pelo NHO-01 (FUNDACENTRO, 2001) e pela NR-15 (BRASIL, 1978b), que é de 85 dB(A).

Portanto, a ausência do ruído do vibrador de imersão contribui positivamente para a saúde e segurança não apenas dos operários que estão executando a concretagem, mas também para os demais que se encontram realizando outras funções dentro do canteiro de obras. Essa correlação se dá devido o ruído ser caracterizado como um risco físico, dentre os riscos ambientais considerados pela NR-9 (BRASIL, 1978a) que podem causar danos à saúde do trabalhador.

4.6.2 Tempo de concretagem e taxa de concretagem

A Tabela 13 contempla, além dos volumes, o tempo necessário para realizar a concretagem dos trechos delimitados para cada tipo de concreto em cada uma das obras e as taxas de concretagem. O tempo é apresentado sob a forma bruta, ou seja, quando não foram descontados os tempos de parada alheios à concretagem (por exemplo, atraso da chegada do caminhão-betoneira à obra, atraso da liberação do caminhão-betoneira para o descarregamento), e sob a forma líquida, quando esses tempos de parada foram descontados.

Tabela 13 - Tempo de concretagem.

Obra	Tipo de concreto	Volume de concreto (m ³)	Tempo de concretagem (h)		Taxa de concretagem (m ³ /h)
			Bruto	Líquido	
Nº 1	CAA	28,0	1,77	1,40	20,00
	CCV	78,5	5,50	5,37	14,62
Nº 2	CAA	28,0	1,17	1,02	27,45
	CCV	124,0	7,57	5,97	20,77

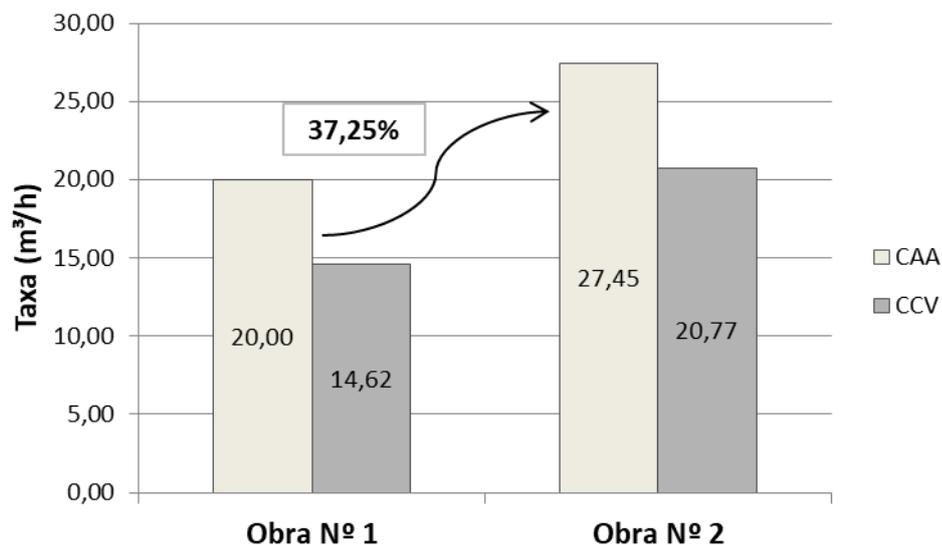
Fonte: A autora (2017).

Nota: Em razão da coleta de dados ter ocorrido em apenas um dia de concretagem para cada obra, considerou-se o tempo de concretagem líquido para o cálculo das taxas de concretagem.

Se estabelecida uma taxa de concretagem média entre as taxas do CAA da Obra Nº 1 e da Obra Nº 2, obtém-se o valor de 23,73 m³/h, valor esse aproximado à taxa de concretagem média² obtida no estudo realizado por Serra (2015), que foi de 24,12 m³/h.

O volume de CAA aplicado nas duas obras foi o mesmo (28,0 m³), no entanto, nota-se que a taxa de concretagem obtida para o CAA da Obra Nº 2 foi 37,25% superior à taxa obtida para o CAA da Obra Nº 1, como ilustra a Figura 53.

Figura 53 - Taxa de concretagem em termos de volume concretado por unidade de tempo.



Fonte: A autora (2017).

² Valor médio obtido a partir das taxas de concretagem da 1ª e da 2ª concretagem com o CAA, calculadas levando em consideração o volume concretado de 88,0 m³ e o tempo de concretagem considerando o tempo de espera entre caminhões.

Dois fatores podem ter contribuído para o aumento da taxa de concretagem do CAA da Obra Nº 1 para a Obra Nº 2 de maneira significativa. O primeiro se refere à necessidade de uma atenção maior, conseqüentemente tempo, para garantir o desnível da varanda com o CAA na Obra Nº 1, ou seja, está relacionado às condições de concretagem oferecidas para a aplicação do CAA. O segundo diz respeito ao fator aprendizagem, devido à experiência adquirida na Obra Nº 1 ter sido repassada aos operários que trabalharam na concretagem com o CAA na Obra Nº 2, que ocorreu cronologicamente mais à frente.

Na Obra Nº 1, a taxa de concretagem do CAA foi 36,8% superior à taxa obtida com o CCV, enquanto na Obra Nº 2, essa diferença foi de 32,2%. Acredita-se que a eficiência seja aumentada, ou seja, que a velocidade de concretagem aumente na medida em que se aumenta a experiência com o CAA, conforme se conheçam os gargalos e os resolva.

Os gargalos observados que podem influenciar o tempo de concretagem são: o intervalo entre a saída dos caminhões-betoneira da central de concreto; a dosagem do superplastificante na obra; a realização dos ensaios no estado fresco e liberação do caminhão-betoneira para descarregamento; e a movimentação do mangote e desmonte da tubulação para realocação. Todos estes podem ser resolvidos a partir de um estudo prévio de como se dará a concretagem, antecipando-se aos fatos.

4.6.3 Quantidade e produtividade da mão de obra

- Obra Nº 1

A Tabela 14 apresenta a quantidade de operários executando a concretagem durante o descarregamento de cada caminhão-betoneira na Obra Nº 1 e as respectivas RUP_{MO} para o CAA e para o CCV. As etapas da concretagem consideradas incluíam o lançamento do concreto até o seu acabamento plano.

Foram identificados como lançadores, os operários responsáveis pela manipulação do mangote; vibradores, os operários que realizavam a vibração do concreto; espalhadores, os operários que espalhavam o concreto com uma pá; e acabadores, os operários que regularizam a superfície do concreto. Os lançadores e espalhadores eram serventes, os acabadores eram pedreiros e os vibradores eram auxiliares.

Considerando a média de operários necessários para realizar cada função, nota-se que o número de lançadores não sofreu variação com o tipo de concreto a ser lançado, mas que com o CAA foi possível diminuir a quantidade de espalhadores e acabadores, assim como

eliminar os vibradores. Efetivamente, houve uma discreta diminuição de operários durante a concretagem com o CAA na Obra N° 1, da ordem de 15,3% no efetivo, visto que, como dito anteriormente, houve a interferência de operários sem que existisse uma real necessidade.

Tabela 14 - Quantitativo e RUP da mão de obra envolvida na concretagem na Obra N° 1.

	CB	Lançador	Vibrador	Espalhador	Acabador	Total de homens	RUP _{MO}
CAA	1	4	0	3	0	7	0,50
	2	4	0	5	1	10	
	3	4	0	6	2	12	
	4	4	0	5	2	11	
	Média	4	0	4,75	1,25	10	
CCV	5	4	2	3	2	11	0,81
	6	4	2	6	2	14	
	7	4	2	5	2	13	
	8	4	1	5	3	13	
	9	4	1	5	1	11	
	10	4	1	5	1	11	
	11	4	1	5	1	11	
	12	4	1	5	1	11	
	13	4	1	5	2	12	
	14	4	1	5	1	11	
Média	4	1,30	4,9	1,6	11,8		

Fonte: A autora (2017).

- Obra N° 2

Na Tabela 15 se apresenta o quantitativo de operários necessários para realizar a concretagem na Obra N° 2, assim como as RUP_{MO} do CAA e do CCV. Considerou-se para a concretagem desta obra, também, as etapas desde o lançamento do concreto até a completa regularização da superfície após atingir a espessura necessária.

A identificação dos operários quanto às suas funções foi realizada de maneira semelhante à da Obra N° 1. Os lançadores e vibradores eram serventes, assim como os espalhadores (exceto um deles, que era pedreiro), e os acabadores eram pedreiros. Neste caso, por se tratar de mão de obra contratada pela própria construtora, além de já se ter adquirido experiência na Obra N° 1, foi possível realizar um corte de operários mais expressivo para a concretagem com o CAA.

Portanto, houve uma redução significativa na quantidade de operários espalhadores, da ordem de 56,4%, além da eliminação dos acabadores. Assim como na Obra

Nº 1, não foi possível eliminar nenhum dos lançadores, pois a necessidade desses operários independe do tipo de concreto usado. Um operário vibrador foi necessário rapidamente apenas para vibrar o CAA que perdeu a fluidez dentro da tubulação, à espera da liberação do caminhão-betoneira seguinte. Nesta obra, a redução do efetivo foi de 40%.

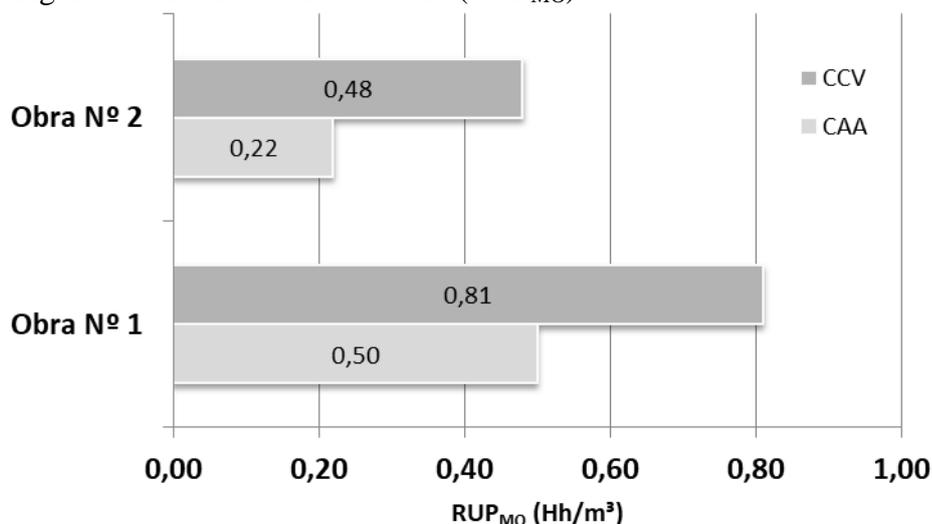
Tabela 15 - Quantitativo e RUP da mão de obra envolvida na concretagem na Obra Nº 2.

	CB	Lançador	Vibrador	Espalhador	Acabador	Total de homens	RUP _{MO}
CAA	1	4	0	1	0	5	0,22
	2	4	1	2	0	7	
	3	4	0	2	0	6	
	4	4	0	2	0	6	
	Média	4	0,25	1,75	0	6	
CCV	5	4	2	3	1	10	0,48
	6	4	2	3	1	10	
	7	4	2	3	1	10	
	8	4	2	3	1	10	
	9	4	2	3	1	10	
	10	4	2	3	1	10	
	11	4	2	3	1	10	
	12	4	2	3	1	10	
	13	4	2	3	1	10	
	14	4	2	3	1	10	
	15	4	2	3	1	10	
	16	4	2	3	1	10	
	17	4	2	4	0	10	
	18	4	2	4	0	10	
Média	4	2,00	3,1	0,9	10,0		

Fonte: A autora (2017).

A Figura 54 reúne as RUP_{MO} obtidas para as duas obras. Nela, observa-se claramente que a produtividade do CAA foi maior em relação ao CCV nas duas obras, com valores de RUP inferiores aos obtidos para o CCV, uma vez que quanto menor a RUP, maior é a produtividade. Na Obra Nº 1, houve uma melhoria de 38,3% da produtividade possibilitada pelo CAA em relação ao CCV, enquanto na Obra Nº 2, essa melhoria foi de 54,2%.

Os valores de RUP obtidos por Serra (2015), quando levado em consideração somente o tempo de lançamento foi de 0,20 para a primeira concretagem com CAA e de 0,17 para a segunda concretagem, valores aproximados aos obtidos na Obra Nº 2, o que respalda os resultados obtidos nesta pesquisa.

Figura 54 – RUPs da mão de obra (RUP_{MO}).

Fonte: A autora (2017).

Há uma diferença de 56,0% entre a produtividade do CAA da Obra Nº 1 e a produtividade do CAA da Obra Nº 2. Aspectos executivos pertinentes a cada obra devem ser considerados como possível causa para essa diferença, o que pode ser evidenciado ao comparar a produtividade do CAA da Obra Nº 1 com a produtividade do CCV da Obra Nº 2, que é praticamente a mesma. Contudo, há de se considerar também que a expertise adquirida pela equipe técnica durante a concretagem com o CAA na Obra Nº 1 compartilhada com os operários da Obra Nº 2 contribuiu para que a melhoria da produtividade do CAA de uma obra para a outra fosse mais expressiva.

De fato, Serra (2015) também constatou em seu estudo que a produtividade da segunda concretagem com o CAA foi melhor que a produtividade da primeira, portanto, esse resultado em comum nas duas pesquisas corrobora para a conclusão de que a produtividade melhora em função da expertise adquirida em concretagens anteriores com o CAA.

O esforço para realizar a concretagem, em suas várias etapas, com o CAA, é menor em relação ao CCV, e isso diminui o desgaste das ferramentas e dos operários. É provável que estes fatores tenham se refletido positivamente na produtividade.

A melhoria da produtividade reduz o tempo de concretagem, tornando-se possível realizar esse serviço para um volume maior de concreto ao longo da jornada diária de trabalho dos operários, podendo acelerar o cronograma da obra, além de promover a redução de custos, também, por minimizar a necessidade de realização de hora-extra.

4.6.4 Quantidade e produtividade do maquinário e ferramentas

- Obra N° 1

A Tabela 16 mostra o quantitativo de máquinas e ferramentas usadas na Obra N° 1 durante o descarregamento de cada caminhão-betoneira. Nota-se que, nesta obra, houve a redução de uma unidade de pá e de régua durante a concretagem do CAA, e de duas unidades de vibradores de imersão, além do aumento de uma unidade de colher de pedreiro, em relação às máquinas e ferramentas usadas durante a concretagem com o CCV.

Tabela 16 – Quantitativo e RUP dos maquinários e ferramentas usados na Obra N° 1.

	CB	Bomba estacionária	Vibrador	Pá	Colher de pedreiro	Régua	Média	RUP _{MF}
CAA	1	1	0	2	1	0	1,4	0,07
	2	1	0	3	2	1		
	3	1	0	3	3	2		
	4	1	0	3	2	2		
CCV	5	1	2	2	1	2	1,8	0,12
	6	1	2	4	2	2		
	7	1	2	3	2	2		
	8	1	1	3	2	3		
	9	1	1	3	2	1		
	10	1	1	3	2	1		
	11	1	1	3	2	1		
	12	1	1	3	2	1		
	13	1	1	3	2	2		
	14	1	1	3	2	1		

Fonte: A autora (2017).

Na Obra N° 1, obteve-se uma redução de 22,2% no uso de máquinas e ferramentas ao se utilizar o CAA, considerando os valores médios. Uma redução um tanto discreta, mas significativa, levando-se em consideração a eliminação do uso do vibrador de imersão durante a concretagem com o CAA. Este fato contribui para a redução do consumo de energia, que, consequentemente, implica em redução de custos.

A concretagem na Obra N° 1 era realizada por uma empresa terceirizada, a qual mantinha uma equipe fixa de operários para a execução do serviço. Durante a execução da concretagem com o CAA, muitos operários ficaram ociosos e curiosos, o que os levou a participarem da execução das etapas de concretagem mesmo sem haver necessidade.

Possivelmente, a quantidade de ferramentas utilizadas pouco variou entre o CAA e o CCV, devido à interferência desses operários.

- Obra N° 2

A Tabela 17 mostra o quantitativo de máquinas e ferramentas usadas na Obra N° 2 durante o descarregamento de cada caminhão-betoneira. Observa-se que as quantidades de máquinas e ferramentas usadas nesta obra são bem inferiores às registradas para a Obra N° 1, de modo que não havia como diminuir significativamente essas quantidades fazendo a substituição do CCV por CAA. Ainda assim, houve uma redução de 50,0% no número médio de máquinas e ferramentas utilizadas, em relação ao CCV.

Tabela 17 - Quantitativo e RUP dos maquinários e ferramentas usadas na Obra N° 2.

	CB	Bomba estacionária	Vibrador	Pá	Colher de pedreiro	Desempenadeira	Média	RUP _{MF}
CAA	1	1	0	2	0	0	0,7	0,03
	2	1	1	2	1	0		
	3	1	0	2	0	0		
	4	1	0	2	0	0		
CCV	5	1	1	3	1	1	1,4	0,07
	6	1	1	3	1	1		
	7	1	1	3	1	1		
	8	1	1	3	1	1		
	9	1	1	3	1	1		
	10	1	1	3	1	1		
	11	1	1	3	1	1		
	12	1	1	3	1	1		
	13	1	1	3	1	1		
	14	1	1	3	1	1		
	15	1	1	3	1	1		
	16	1	1	3	1	1		
	17	1	1	4	0	0		
	18	1	1	4	0	0		

Fonte: A autora (2017).

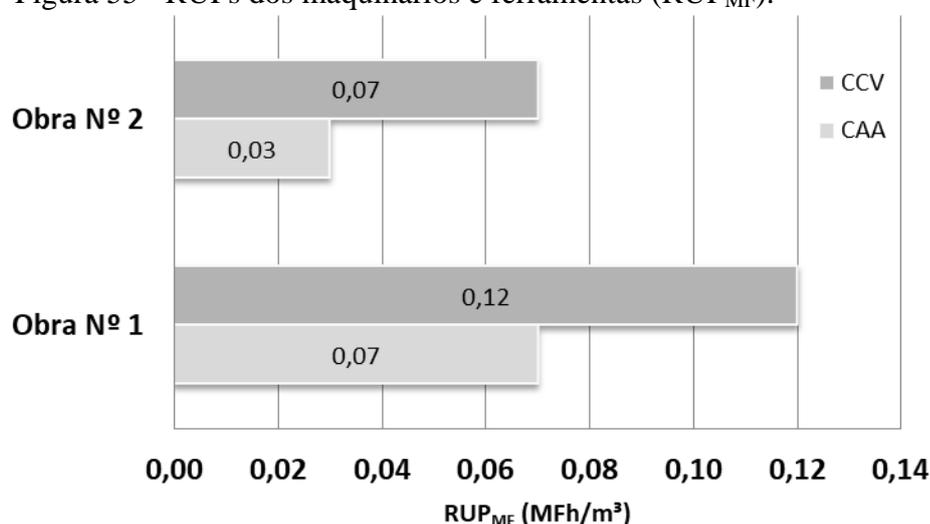
Durante o bombeamento do 2º caminhão-betoneira contendo CAA na Obra N° 2, foi necessário utilizar em um curto intervalo de tempo o vibrador de imersão, pois houve um pequeno atraso no descarregamento entre o 1º e o 2º caminhão-betoneira, fazendo com que o CAA que estava dentro da tubulação (pertencente ainda ao 1º caminhão-betoneira) perdesse a

sua fluidez e adquirisse consistência de CCV. Assim que esse concreto foi bombeado e vibrado, não houve mais a necessidade da utilização do vibrador.

A concretagem com o CAA na Obra N° 2 dispensou ainda o uso da desempenadeira, que servia para dar um acabamento melhor à superfície do concreto. Apenas o uso da colher de pedreiro foi suficiente para corrigir a espessura da laje (conferida com o uso de um garfo) e promover o acabamento necessário.

A produtividade dos maquinários e ferramentas também foi mensurada por meio da RUP. A Figura 55 apresenta as RUPs obtidas.

Figura 55 - RUPs dos maquinários e ferramentas (RUP_{MF}).



Fonte: A autora (2017).

A Figura 55 permite visualizar facilmente que as RUPs obtidas para os maquinários e ferramentas com o CAA nas duas obras são inferiores às obtidas para o CCV. Os valores se traduzem em ganho de produtividade de 41,7% na Obra N° 1 e de 57,1% na Obra N° 2. De uma obra para a outra, a produtividade do CAA aumentou 57,1%, possivelmente em razão da menor quantidade de operários e, conseqüentemente, de ferramentas usadas na Obra N° 2 em relação à Obra N° 1.

O ganho de produtividade no uso de maquinários e ferramentas indica que, com o CAA, é possível realizar o serviço de concretagem utilizando uma quantidade menor destes dispositivos, ou seja, o CAA promove uma maior eficiência no uso destes recursos.

4.6.5 Custos

A seguir são apresentados os custos dos concretos e da mão de obra necessária para a realização das concretagens com o CAA e com o CCV nas duas obras. Ressalta-se que os valores considerados são referentes ao período compreendido entre maio e junho de 2017.

4.6.5.1 Custo dos concretos por volume e por unidade de resistência à compressão

- Obra N° 1

Os custos dos concretos usados na Obra N° 1 estão dispostos na Tabela 18. Para a Obra N° 1 o CAA custou R\$ 57,26 mais caro que o CCV, por metro cúbico, portanto, 21,8% mais oneroso. É uma diferença significativa, porém, deve-se levar em consideração que o CAA usado nesta obra foi dosado para atender a um f_{ck} de 35 MPa (requisito da Obra N° 2), enquanto o CCV foi dosado apropriadamente para se obter um f_{ck} de 30 MPa (requisito da Obra N° 1).

Tabela 18 - Custo dos concretos da Obra N° 1.

Tipo de concreto	Volume de concreto	R\$/m³	R\$/MPa*
CAA	28,00 m ³	320,00	9,41
CCV	78,50 m ³	262,74	8,91

Fonte: A autora (2017).

Nota: (*) Considerando-se o resultado médio de resistência à compressão para cada tipo de concreto.

Comparando-se esses valores com os valores obtidos no estudo realizado por Serra (2015), em que o CAA foi 18,75% mais caro que o CCV para a resistência de 30 MPa, nota-se que a diferença percentual entre os custos do CAA e do CCV utilizados na Obra N° 1 é aproximada à diferença apontada pela referida autora. No estudo realizado por Repette (2007), também para um concreto de f_{ck} igual a 30 MPa, no entanto, essa diferença foi de 42,1%, ou seja, quase o dobro da diferença obtida nesta pesquisa.

Observa-se que a diferença de custo do CAA para o custo do CCV, na Obra N° 1, por unidade de resistência (MPa), foi de apenas R\$ 0,50. Vale lembrar, no entanto, que o CAA foi dosado inicialmente para um f_{ck} de 35 MPa, embora não o tenha atingido nesta obra.

- Obra Nº 2

Os custos dos concretos para a Obra Nº 2 são apresentados na Tabela 19. A diferença do preço do metro cúbico do CAA em relação ao CCV desta obra foi de R\$ 39,28, logo, o CAA foi 13,5% mais oneroso que o CCV.

Tabela 19 - Custo dos concretos da Obra Nº 2.

Tipo de concreto	Volume de concreto	R\$/m³	R\$/MPa*
CAA	28,00 m ³	331,00	8,13
CCV	124,00 m ³	291,72	7,80

Fonte: A autora (2017).

Nota: (*) Considerando-se o resultado médio de resistência à compressão para cada tipo de concreto.

De fato o CAA costuma ser mais caro que o CCV, devido à maior presença de materiais cimentícios e alta dosagem de aditivo superplastificante em sua composição, como afirmam Cazacu *et al.* (2017). A exemplo disso, as diferenças entre as proporções de mistura do CAA e do CCV em termos de agregados graúdos, materiais finos e superplastificante em estudo realizado por Nunes *et al.* (2009), numa indústria de pré-fabricados, resultaram em maior custo do CAA em relação ao CCV em cerca de 18%.

A diferença entre o preço do CAA, por MPa, e o preço do CCV na Obra Nº 2 foi R\$ 0,33. Comparando-se com a diferença obtida para Obra Nº 1, nota-se que o valor do CAA diminui conforme se aumenta a resistência do concreto. Esse resultado vai de encontro aos resultados obtidos por Dal Molin *et al.* (2012 *apud* CALADO *et al.*, 2015a), em que se constatou que o CAA apresentou maior custo para resistências de 30 MPa e 35 MPa, custo equivalente para a resistência de 40 MPa e custo menor para resistências superiores, em relação ao CCV.

4.6.5.2 Custo da mão de obra por unidade de tempo

- Obra Nº 1

A Tabela 20 apresenta os custos referentes à mão de obra necessária na Obra Nº 1, com encargos sociais e BDI. Neste caso, havia três categorias nas quais se enquadravam todos os operários que realizaram as concretagens.

Tabela 20 - Custo da mão de obra da Obra Nº 1.

Operário	Quantidade de operários		Custo/tempo (R\$/h)	Custo da M.O. do CAA/tempo (R\$/h)	Custo da M.O. do CCV/tempo (R\$/h)
	CAA	CCV			
Pedreiro	1,25	1,6	33,70		
Servente	8,75	8,9	21,63	231,39	279,15
Auxiliar	0	1,3	25,17		

Fonte: A autora (2017).

Comparando-se o custo da mão de obra por hora para execução da concretagem com o CAA em relação à execução com o CCV, nota-se que houve uma redução de R\$ 47,76. Considerando uma jornada de trabalho mensal de 220 h, a economia é de R\$ 10.507,20 ao mês. Ou seja, estes valores representaram uma economia de 17,1% para a empresa em termos de custos com a mão de obra.

- Obra Nº 2

Os custos referentes à mão de obra na Obra Nº 2, com encargos sociais e outras despesas (alimentação, EPIs, vale transporte e exames), são apresentados na Tabela 21. Nesta obra havia apenas duas categorias de operários. A diferença do custo da mão de obra, por hora, necessária para realizar a concretagem com o CAA em relação ao CCV foi de R\$ 51,60. Considerando a jornada de trabalho mensal dos operários, o CAA permitiria uma economia de R\$ 11.352,00 no orçamento mensal da empresa, ou seja, proporcionaria uma economia de 41,3% com a mão de obra.

Tabela 21 - Custo da mão de obra da Obra Nº 2.

Operário	Quantidade de operários		Custo/tempo (R\$/h)	Custo da M.O. do CAA/tempo (R\$/h)	Custo da M.O. do CCV/tempo (R\$/h)
	CAA	CCV			
Pedreiro	1	2	18,96		
Servente	5	8	10,88	73,36	124,96

Fonte: A autora (2017).

Embora a redução de custos com a mão de obra especialmente na Obra Nº 2 tenha atingido um valor razoável, os estudos de Geyer (2005), Repette (2007) e Serra (2015) convergem para a possibilidade de um cenário ainda mais otimista, com redução de custos trabalhistas superiores a 60%.

4.6.6 Extrapolações

O tempo necessário para realizar a concretagem de todo o volume programado em cada obra utilizando apenas um dos tipos de concreto foi simulado. Para tanto, utilizou-se as taxas de concretagem obtidas para o CCV de cada uma das obras, e a taxa de concretagem obtida para o CAA da Obra N° 2 (27,45 m³/h), pois esta leva em consideração a eliminação dos gargalos que afetam a taxa e que foram possíveis ser eliminados a partir da experiência adquirida na Obra N° 1. Os valores obtidos estão mostrados na Tabela 22.

Tabela 22 - Simulação dos tempos de concretagem.

Obra	Tipo de concreto	Volume de concreto (m³)	Tempo de concretagem (h)
N° 1	CAA	106,5	3,9
	CCV		7,3
N° 2	CAA	152,0	5,5
	CCV		7,3

Fonte: A autora (2017).

Dessa forma, utilizando-se o CAA na Obra N° 1 seria possível reduzir o tempo de concretagem em 3,4 h (3h24min) e na Obra N° 2, em 1,8 h (1h48min), valores comparados com a simulação do volume total concretado com CCV. Portanto, haveria uma economia de 46,7% na Obra N° 1 e 24,3% na Obra N° 2, no tempo de concretagem. Esses resultados podem ser melhorados, como dito anteriormente, conforme se obtenha uma experiência maior com o CAA.

A soma do custo da mão de obra (R\$ M.O.), obtida a partir da Equação (7) com o custo do volume total (R\$ V_{total}) a ser concretado, obtido através da Equação (8), resulta no custo total da concretagem. Com isso, é possível simular qual seria esse custo total se tivesse sido utilizado somente um tipo de concreto, considerando-se as taxas de concretagem obtidas nesta pesquisa.

$$R\$ M.O. = T \times R\$ M.O./h \quad (7)$$

Onde:

R\$ M.O. = custo da mão de obra;

T = tempo necessário para realizar a concretagem total, conforme taxa de concretagem;
 $R\$ M. O./h$ = custo da mão de obra por hora, sem levar em consideração hora extra.

$$R\$ V_{total} = V \times R\$ m^3 \quad (8)$$

Onde:

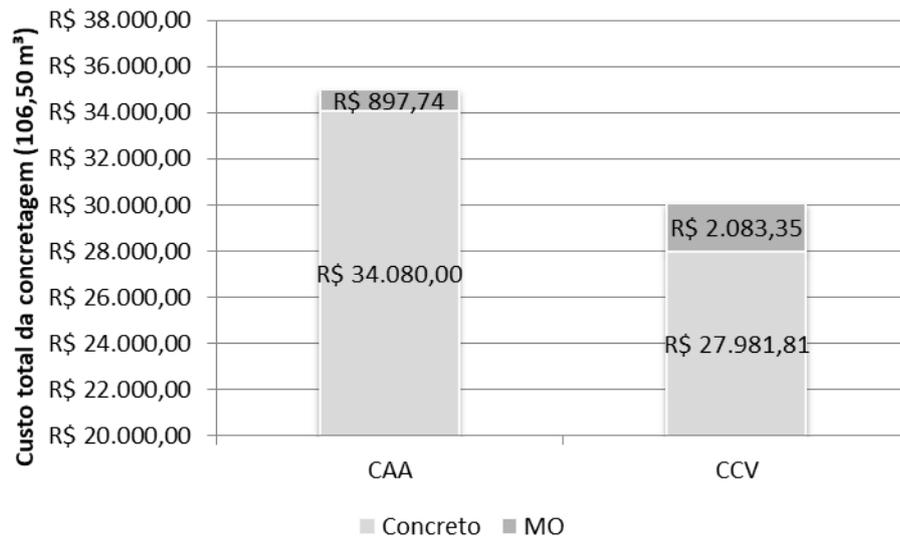
$R\$ V_{total}$ = custo do volume total;

V = volume total;

$R\$ m^3$ = preço do metro cúbico do concreto.

A Figura 56 apresenta a simulação realizada para a Obra N° 1, onde se observa claramente que o custo do concreto constitui a principal despesa da concretagem, correspondendo a 97,4% do custo total da concretagem quando usado CAA e 93,1% quando usado CCV. Ressalta-se que a simulação feita para o CAA foi realizada utilizando a taxa de concretagem do CAA obtida na Obra N° 2 (27,45 m³/h), sob a mesma justificativa aplicada à simulação do tempo de concretagem.

Figura 56 - Simulação dos custos da concretagem para a Obra N° 1.

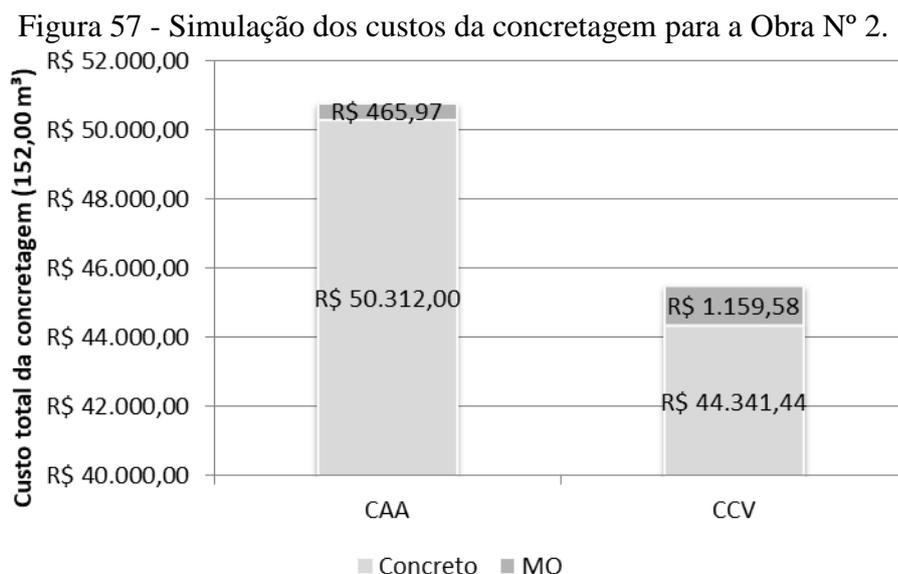


Fonte: A autora (2017).

De acordo com a simulação feita para a Obra N° 1, para um volume de 106,50 m³ de concreto, mantendo-se as taxas de concretagem obtidas e os custos com a mão de obra, o CAA propiciaria um custo total de concretagem igual ao do CCV se custasse em torno de

R\$ 273,87/m³. Portanto, apenas R\$ 11,13 mais caro que o CCV, já que o custo do CCV foi de R\$ 262,74/m³.

A Figura 57 apresenta os resultados da simulação da concretagem do volume total ora usando o CAA, ora usando o CCV, na Obra N° 2. Fica ainda mais evidente que o custo do concreto influencia fortemente o custo da concretagem, sobretudo ao se usar o CAA, pois, neste caso, esse custo representou 99,1% do custo total, contra 97,4% ao se usar o CCV.



Fonte: A autora (2017).

No caso da Obra N° 2, de acordo com a simulação feita, para que o custo total da concretagem com o CAA ficasse equivalente ao custo total da concretagem com o CCV, o CAA deveria custar em torno de R\$ 296,28/m³, portanto, apenas R\$ 4,56 a mais que o CCV, que custou R\$ 296,28/m³.

Segundo Rich *et al.* (2015), o preço do material constitui a principal barreira para o uso do CAA. De fato, nas duas obras se pôde notar que o custo do CAA elevado em relação ao CCV provocaria um aumento expressivo no custo total da concretagem, fato suficiente para provocar a rejeição do material pelos construtores.

As simulações feitas permitem inferir que para tornar viável o uso do CAA, embora se obtenha uma boa economia com a mão de obra, o preço pago por metro cúbico de CAA precisa ser aproximado ao preço do CCV. Contudo, deve-se ressaltar que outras economias não foram levadas em consideração nesta pesquisa, como, por exemplo, a economia de energia, o prolongamento da vida útil das formas e dos EPIS e a redução do custo com manutenção e reparos futuros.

4.6.7 Resumo dos resultados

O Quadro 5 resume os principais resultados obtidos nesta pesquisa comparando os resultados do CAA com os do CCV nas duas obras.

Quadro 5 – Quadro resumo.

Obra	Taxa de concretagem	Ruído na laje	Ruído no entorno	Mão de obra (efetivo)	RUP da M.O.	RUP dos M.F.	Custo da M.O.	Custo do material
Nº 1	36,8% 	15,4% 	1,7% 	15,3% 	38,3% 	41,7% 	17,1% 	21,8% 
Nº 2	32,2% 	11,8% 	0,4% 	40,0% 	54,2% 	57,1% 	41,3% 	13,5% 

Fonte: A autora (2017).

Legenda: M.O. = mão de obra; M.F. = maquinário e ferramentas; seta para cima indica resultado do CAA superior em relação ao CCV; seta para baixo indica resultado do CAA inferior em relação ao CCV; cor verde representa resultado bom; cor vermelha representa resultado ruim.

Visualmente é perceptível que o uso do CAA possibilita resultados significativamente positivos e que devem ser levados em consideração no momento da decisão sobre qual tecnologia se utilizar para a concretagem de elementos estruturais em obras verticais.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

O objetivo geral dessa dissertação consistiu em comparar o uso do CAA e do CCV em obras verticais. Para tanto, foram apresentadas as etapas de desenvolvimento do traço de CAA a ser utilizado, em laboratório e em uma central de concreto; foram realizados dois estudos de caso de sua aplicação; e utilizados indicadores de desempenho de custo, ruído, taxa de concretagem e produtividade da mão de obra e dos maquinários e ferramentas para realizar a comparação entre as duas tecnologias (CAA e CCV). A partir dos resultados obtidos, foram extraídas as seguintes conclusões:

- **Ruído**

A ausência do uso do vibrador de imersão para o CAA reduziu o ruído em ao menos 10% na laje, em relação ao CCV, considerando as duas obras. No entorno das obras, independente do tipo de concreto utilizado, as médias de ruído registradas ficaram compreendidas entre 70 dB(A) e 72 dB(A), ou seja, médias semelhantes às obtidas na laje durante a concretagem com o CAA na Obra N° 1 e na Obra N° 2, respectivamente. Nesses termos, conclui-se que o ruído perceptível na laje durante a concretagem com o CAA, tal como o ruído perceptível no entorno da obra independente do tipo de concreto utilizado na concretagem, provavelmente esteve relacionado ao ruído provocado pela execução de outras atividades no canteiro de obras no momento da concretagem.

O CAA, portanto, com a sua contribuição na redução do ruído durante a concretagem promove melhorias na saúde e na segurança dos operários, visto que o ruído é considerado um risco físico capaz de causar dano à saúde do trabalhador.

- **Maquinários e ferramentas**

A quantidade de máquinas e ferramentas usadas na concretagem com o CAA é influenciada pela quantidade de mão de obra envolvida neste serviço. Este fato fica evidenciado no caso da Obra N° 2, a qual possuía um efetivo menor em relação à Obra N° 1 e que sofreu uma redução maior no efetivo para a concretagem com o CAA, resultando em uma redução no uso de máquinas e ferramentas de 50%. Este valor poderia ter sido superior, caso

não tivesse ocorrido a perda de consistência do CAA que ficou um tempo maior na tubulação e por isso necessitou ser vibrado.

- **Mão de obra**

O uso do CAA possui um impacto expressivo sobre a mão de obra necessária para a realização da concretagem, sobretudo sobre os operários envolvidos no adensamento (vibração) do concreto, dispensando-os (exceto quando o CAA perde a fluidez e se comporta como CCV).

A necessidade de espalhadores e acabadores se torna menor, pois sua capacidade de fluir e sua tendência a se autonivelar diminui bastante o trabalho desses operários, que além de possibilitar a redução do efetivo, contribui para um desgaste menor dos mesmos. Este fato, inclusive, promove melhorias na produtividade do serviço.

O CAA não interfere, no entanto, na quantidade de lançadores, pois essa necessidade é inerente ao tamanho e peso do mangote usado.

- **Tempo de concretagem**

O CAA promove a diminuição do tempo de concretagem. As simulações dos tempos necessários para realizar a concretagem do volume total com o CAA mostraram que é possível se promover uma redução de 24% a 46% do tempo necessário para realizar a concretagem com o CCV, considerando-se as taxas de concretagem obtidas. Dessa forma, propicia a programação de uma concretagem com volume superior ao que seria possível realizar se utilizando CCV, em um dia.

- **Produtividade**

A produtividade da mão de obra utilizando CAA foi maior que a do CCV nas duas obras, sobretudo na Obra N° 2. Embora o volume de CAA concretado tenha sido inferior ao do CCV, notou-se que a redução do esforço para realizar a concretagem é menor ao se usar o CAA, conseqüentemente há um desgaste menor das ferramentas e dos operários, que favorece a melhoria da produtividade tanto da mão de obra, quanto dos maquinários e ferramentas.

- **Custos**

O CAA propiciou a redução de custos com a mão de obra, através da eliminação dos operários vibradores e diminuição da necessidade dos demais operários, assim como pela redução do tempo necessário para realizar a concretagem. No entanto, constatou-se que para tornar seu uso viável, ao se considerar somente o custo do material e da mão de obra, faz-se necessário que o preço cobrado por metro cúbico de CAA seja aproximado ao preço cobrado para o CCV.

5.2 Considerações finais

Aqui são descritas algumas impressões percebidas durante a realização da pesquisa.

- A dosagem do aditivo superplastificante na obra não se mostrou muito eficiente, por requerer tempo, além de um profissional específico para realizar tal procedimento. Portanto, é preferível que esta dosagem seja feita ainda na central. Na impossibilidade da dosagem ocorrer na central, é indicado que sejam feitos testes antecipadamente para avaliar a compatibilidade dos aditivos polifuncional e superplastificante, a fim de se evitar as consequências da incompatibilidade, tal como ocorreu o retardo de pega na Obra Nº 1.

- A estanqueidade das formas é um requisito essencial para o uso do CAA, dada a sua alta fluidez. Observou-se que a utilização de formas plásticas deformadas pelo uso com o CCV compromete a estanqueidade das mesmas, mas que mesmo deformadas, é possível utilizá-las, devendo-se realizar ações que as tornem mais estanques quanto possível. O uso de fita adesiva não se mostrou uma ação significativa, sendo o uso de formas menos desgastadas a ação de maior impacto neste quesito. O uso de elementos Tapa Nervuras requer esforço para mantê-los no lugar. A vida útil das formas com o uso do CAA é prolongada, uma vez que não são submetidas ao desgaste provocado pela vibração do concreto.

- Viu-se que a melhor maneira, dentre as usadas, para conter o CAA foi através da concretagem do perímetro com o CCV. A contenção realizada com chapas de madeira compensada é de difícil execução, requer tempo e ainda assim promove o escape do concreto, uma vez que a taxa de armadura, sobretudo se for alta, dificulta o perfeito encaixe da madeira. A situação ideal para o uso do CAA é a adoção desta tecnologia ainda na fase de projeto, onde são levadas em consideração todas as suas restrições. Dessa forma, elimina-se ou ao menos diminui ao máximo a necessidade de realizar a contenção do CAA.

- Não é possível realizar o transporte do CAA da central de concreto até o canteiro de obras com o uso de toda a capacidade volumétrica do caminhão-betoneira, tal como é possível realizar o transporte do CCV. Considerando que o CAA diminui o tempo de concretagem, deve-se ter uma maior quantidade de caminhões-betoneira disponíveis para realizar a entrega do produto e a curtos intervalos de tempo, para que o tempo de concretagem não seja aumentado devido à espera do insumo.

5.3 Sugestões para trabalhos futuros

O presente estudo contempla algumas limitações, de modo que as lacunas deixadas por elas podem ser preenchidas a partir de trabalhos futuros. Portanto, sugerem-se os seguintes pontos a serem estudados para complementar os resultados até então obtidos:

- a) Viabilidade técnica e econômica do CAA incluindo a concretagem de fundações e pilares;
- b) Estudo da economia de energia possibilitada pelo uso do CAA;
- c) Estudo comparativo da vida útil das formas quando utilizado CAA e CCV;
- d) Realizar estudo de caso e usar os mesmos indicadores em uma amostragem maior (por exemplo, 1 andar, 1 torre).

REFERÊNCIAS

AÏTCIN, P. C. **Concreto de Alto Desempenho**, tradução de Geraldo G. Serra – São Paulo: PINI, 2000.

ALLEN, E; IANO, J. **Fundamentos da Engenharia de Edificações: Materiais e Métodos**. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2013.

ARAÚJO, J. L. de. **Considerações sobre concreto auto-adensável e uma aplicação com materiais locais**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

ARAÚJO, L. O. C. de. **Método para a previsão e controle da produtividade da mão de obra na execução de fôrmas, armação, concretagem e alvenaria**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ASLANI, F.; NEJADI, S. Mechanical properties of conventional and self-compacting concrete: An analytical study. **Construction and Building Materials**. v. 36, p. 330-347, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – (ABNT). **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009a.

_____. **NBR 8522**: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15823-1**: Concreto autoadensável Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco. Rio de Janeiro, 2017a.

_____. **NBR 15823-2**: Concreto autoadensável Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2017b.

_____. **NBR 15823-3**: Concreto autoadensável Parte 3: Determinação da habilidade passante - Método do anel J. Rio de Janeiro, 2017c.

_____. **NBR 15823-4**: Concreto autoadensável Parte 4: Determinação da habilidade passante - Métodos da caixa L e da caixa U. Rio de Janeiro, 2017d.

_____. **NBR 15823-5**: Concreto autoadensável Parte 5: Determinação da viscosidade - Método do funil V. Rio de Janeiro, 2017e.

_____. **NBR 15823-6**: Concreto autoadensável Parte 6: Determinação da resistência à segregação - Métodos da coluna de segregação e da peneira. Rio de Janeiro, 2017f.

_____. **NBR NM 23**: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001a.

_____. **NBR NM 30:** Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001b.

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

_____. **NBR NM 46:** Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2001c.

_____. **NBR NM 49:** Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001d.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009b.

_____. **NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009c.

_____. **NBR NM 67:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BONEN, D.; SHAH, S. P. **The effects of formulation on the properties of self-consolidating concrete.** *In:* International RILEM Symposium on Concrete Science and Engineering: A Tribute to Arnon Bentur. RILEM Publications S.A.R.L., PRO 036, 2004. p. 43-56.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora Nº 9 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978a. Disponível em: < <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR09/NR-09-2016.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2017.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora Nº 15 – Atividades e Operações Insalubres.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978b. Disponível em: < <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR15/NR15-ANEXO15.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

CALADO, C.; CAMÕES, A.; JALALI, S.; BARKOKÉBAS JR, B. **Concreto auto-adensável (CAA), mais do que alternativa ao concreto convencional (CC).** Recife: Editora da Universidade de Pernambuco, 2015a.

CALADO, C.; CAMÕES, A.; MONTEIRO, E.; HELENE, P.; BARKOKÉBAS JR, B. Durability Indicators Comparison for SCC and CC in Tropical Coastal Environments. **Materials**, v. 8, p. 1459-1481, 2015b.

CALADO, C. F. de A. **Concreto auto-adensável: alternativa ao concreto convencional em climas quentes.** 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da

Universidade do Minho, 2015.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Manual Básico de Indicadores de Produtividade na Construção Civil**. Brasília, DF: CBIC, 2017. 92 p.

CAMPOS, C. A. **Aplicação de concreto auto-adensável em lajes moldadas in loco – Estudo de caso no setor de edificações**. 2013. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

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

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

CAZACU, N.; BRADU, A. FLOREA, A. Self Compacting Concrete Structures: A Techno-Economic Analysis. **Advanced Engineering Forum**, v. 21, p. 624-631, 2017.

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, S. Francisco, 16-19 September 2001.

CORSINI, T. de A.; PALIARI, J. C. Produtividade da mão de obra na execução dos sistemas prediais elétricos e de comunicação. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, Porto Alegre. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2016. p. 4449-4461.

COUTINHO, B. S. **Propriedades e comportamento estrutural do concreto auto-adensável**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

DANTAS, M. M. **Proposição de ações para melhoria da produtividade da concretagem em edifícios verticais**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

DOMONE, P. L. Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies. **Cement & Concrete Composites**, v. 28, 2006, p. 197-208.

EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS (EFNARC). **Specification and guidelines for self-compacting concrete**. EFNARC, February, 2002.

_____. **The European Guidelines for Self-Compacting Concrete - Especification, Production and Use**. BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, May, 2005.

FARIA, R. Solução fluida. **Revista Técnica**, n. 132. 2008. Disponível em:

<<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/132/artigo286483-1.aspx>>. Acesso em: 23 abr. 2016.

FOCHS, R. G.; RECENA, F. A. P.; SILVA, I. N. L. Review: métodos experimentais de dosagem de concreto autoadensável (CAA) desenvolvidos no Brasil. **Revista Liberato**, v. 14, n. 21, p. 99-110, jan./jun. 2013.

FUJIWARA, T. Effect of Aggregate on Drying Shrinkage of Concrete. **Journal of Advanced Concrete Technology**, v. 6, n. 1, p. 31-44, February 2008.

FUNDACENTRO. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma de Higiene Ocupacional: Procedimento Técnico – Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído**. NHO 01. 2001. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/normas-de-higiene-ocupacional/publicacao/detalhe/2012/9/nho-01-procedimento-tecnico-avaliacao-da-exposicao-ocupacional-ao-ruído>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da Produção e Operações**. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2002.

GEIKER, M. **Self-compacting concrete (SCC)**. In: MINDESS, S. (Editor). Developments in the formulation and reinforcement of concrete. 1 ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2008. 1. v, Chapter 9, p. 187-207.

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

GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. de. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2009.

HASTENPFLUG, D. **Contribuição ao estudo da uniformidade do concreto auto-adensável de alta resistência em pilares e vigas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 2, Cap. 29, p. 905-944.

HOLANDA, F. M. de A. **Indicadores de desempenho: uma análise nas empresas de construção civil do município de João Pessoa – PB. 2007**. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis) – Programa Multiinstitucional e Inter-Regional de Pós-Graduação em Ciências Contábeis, Universidade de Brasília, Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, João Pessoa, 2007.

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

MARTINS, R. A.; COSTA NETO, P. L. de O. Indicadores de desempenho para a gestão pela qualidade total: uma proposta de sistematização. **Gestão & Produção**. v. 5, n. 3, p. 298-311,

dez. 1998.

MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

NEPOMUCENO, M. C. S.; PEREIRA-DE-OLIVEIRA, L. A.; LOPES, S. M. R.; FRANCO, R. M. C. Maximum coarse aggregate's volume fraction in self-compacting concrete for different flow restrictions. **Construction and Building Materials**. v. 113, p. 851-856, 2016.

NUNES, S. C. B. **Betão Auto-compactável: tecnologias e propriedades**. 2001. Dissertação (Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2001.

NUNES, S.; FIGUEIRAS, H.; SOUSA COUTINHO, J.; FIGUEIRAS, J. SCC and conventional concrete on site: property assessment. **IBRACON Structures and Materials Journal**, v. 2, n. 1, p. 25-36, mar. 2009.

OKAMURA, H.; OUCHI, M. Self-compacting Concrete. Development, present use and future. Á. Skarendahl, Ö, Petersson (Eds.), **Proceedings of the First International RILEM Symposium**, Stockholm, 1999. p. 3-14.

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

OLIVEIRA, R. R. de. Metodologia para melhoria da qualidade e produtividade em obras habitacionais de caráter repetitivo. In: FORMOSO, Carlos Torres.; INO, Akemi. (Ed.). **Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional**. 1. ed. Porto Alegre: ANTAC, Coletânea Habitare, 2003, v. 2, p. 397-421.

PALIARI, J. C. **Método para prognóstico da produtividade da mão-de-obra e consumo unitário de materiais: sistemas prediais hidráulicos**. v.1. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PALIARI, J. C.; SOUZA, U. E. L. de. **Método simplificado para prognóstico do consumo unitário de materiais e da produtividade da mão-de-obra: sistemas prediais hidráulicos**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/502. São Paulo: EPUSP. 2008. 29 p.

REPETTE, W. L. Concreto autoadensável. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 2, p. 1731-1806.

REPETTE, W. L. Self-compacting concrete – a labor cost evaluation when used to replace traditional concrete in building construction. In: **Proceedings of the 5th International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete**, Ghent, Belgium, p. 1001-1006, 2007.

RICH, D.; GLASS, J.; GIBBS, A. G. F.; GOODIER, C. I.; SANDER, G. Optimising construction with self-compacting concrete. In: **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials**, v. 170, n. 2, p. 104-114, apr. 2015.

SANTOSH, V.; APTE, M. R. Productivity in Building Construction. **Journal of Mechanical and Civil Engineering**, v. 10, n. 5, p. 64-71, jan. 2014.

SERRA, J. H. F. **Avaliação da utilização do concreto autoadensável em substituição ao concreto convencional em uma obra de edificação vertical**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SHI, C.; ZEMEI WU; LV, K.; LINMEI WU. A review on mixture design methods for self-compacting concrete. **Construction and Building Materials**, v. 84, p. 387-398, 2015.

SKARENDAHL, Á.; PETERSSON, Ö. Self-Compacting Concrete. **Proceedings** of the First International RILEM Symposium. RILEM Publications S.A.R.L., Proceedings PRO 7, 1999.

SOARES, G. N. **Proposição de um modelo de gestão da produtividade e retroalimentação orçamentária**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

SOUZA, U. E. L. de. Como medir a produtividade da mão-de-obra na Construção Civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., p. 25-28, abr. 2000. Salvador: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** 2000.

SU, N.; HSU, K.C.; CHAI, H.W. A simple mix design method for self-compacting concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 31, n. 12, p. 1799-1807, December 2001.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto Autoadensável**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2015.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C.; LAMARGA, R.; VIECILLI, F. Viabilidade técnica e econômica do concreto auto-adensável em empresas de pré-moldado. **Concreto & Construções**. Ano XXXIV, n. 43, IBRACON, jun., jul., ago. 2006, p. 30-35.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1, p. 415-451.

TUTIKIAN, B. F.; PACHECO, M. Concreto autoadensável (CAA) – comparativo entre métodos de dosagem. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 5, n. 4, p. 500-529, 2012.

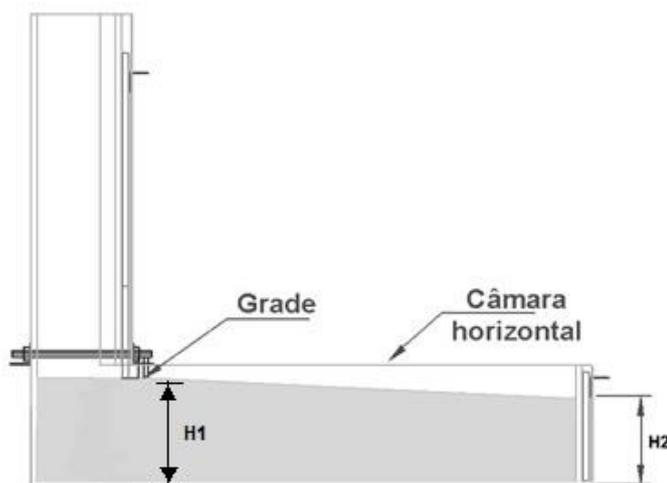
TUTIKIAN, B. F. **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos auto-adensáveis**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

VICTOR, J. W. R. **Estudio de la sensibilidad e influencia de la composición en las propiedades reológicas y mecánicas de los hormigones autocompactantes**. 2007. Tesis doctoral – Universitat Politècnica de València, València, 2007.

APÊNDICE A – ADAPTAÇÃO NO ENSAIO DA CAIXA L

O resultado do ensaio da Caixa L na Obra N° 2 foi obtido a partir de uma consideração feita devido ter ocorrido uma medição de maneira diferente à indicada pela NBR 15823-4 (ABNT, 2017d). A Figura 58 indica que o H1 considerado na realização do ensaio se encontra à jusante das armaduras, quando, de acordo com a referida norma, deveria estar situado à montante, junto à parede vertical do equipamento.

Figura 58 - Esquema que demonstra a localização do H1 considerado no ensaio da Caixa L realizado na Obra N° 2.



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

APÊNDICE B – ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A Tabela 23 apresenta a ANOVA para os resultados de módulo de elasticidade do CAA e do CCV da Obra N° 1.

Tabela 23 - ANOVA – Módulo de elasticidade - Obra N° 1.

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	P	F_{crítico}
Entre grupos	4,644025	1	4,644025	3,069567	0,221868	18,51282
Dentro dos grupos	3,02585	2	1,512925			
Total	7,669875	3				

Fonte: A autora (2017).

Legenda: SQ = Soma quadrada; GL = Grau de liberdade; MQ = Média quadrada; P = Probabilidade.

A Tabela 24 apresenta a ANOVA para os resultados de módulo de elasticidade do CAA e do CCV da Obra N° 2.

Tabela 24 - ANOVA – Módulo de elasticidade - Obra N° 2.

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	P	F_{crítico}
Entre grupos	0,2485125	1	0,2485125	0,077004515	0,790712	5,987378
Dentro dos grupos	19,363475	6	3,227245833			
Total	19,6119875	7				

Fonte: A autora (2017).

Legenda: SQ = Soma quadrada; GL = Grau de liberdade; MQ = Média quadrada; P = Probabilidade.