

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

CAROLINE LEAL FACCIN

ESTUDO DE VIABILIDADE DA INCORPORAÇÃO DE AREIA INDUSTRIAL EM
CONCRETOS AUTO ADENSÁVEIS

São Carlos

11/2022

CAROLINE LEAL FACCIN

ESTUDO DE VIABILIDADE DA INCORPORAÇÃO DE AREIA INDUSTRIAL EM
CONCRETOS AUTO ADENSÁVEIS

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Câmpus São Carlos do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Anderson
Renato Vobornik Wolenski

São Carlos

11/2022

Faccin, Caroline Leal

Estudo de viabilidade da incorporação de areia industrial em concretos auto adensáveis / Caroline Leal Faccin ; orientador Anderson Renato Vobornik Wolenski. -- São Carlos, SC, 2022.

39 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Câmpus São Carlos, Curso de Graduação em Engenharia Civil, São Carlos, SC, 2022.

Inclui bibliografias.

1. Concreto auto adensável. 2. Areia industrial. 3. Areia natural. I. Wolenski, Anderson Renato Vobornik. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Derlí Sandra Dorigon – CRB-14/831

CAROLINE LEAL FACCIN

ESTUDO DE VIABILIDADE DA INCORPORAÇÃO DE AREIA INDUSTRIAL EM
CONCRETOS AUTO ADENSÁVEIS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Engenharia Civil, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

São Carlos, 9 de dezembro de 2022.

Prof. Anderson Renato Vobornik Wolenski, Dr.

Orientador

Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Ana Paula Antonello Sieg, Me.

Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Allan Guimarães Borçato, Esp.

Instituto Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço toda a instituição e profissionais de ensino do IFSC campus São Carlos, os quais foram essenciais no meu processo de formação profissional, sou grata pela dedicação e por tudo o que aprendi ao longo desses cinco anos do curso.

Aos meus pais, por nunca terem medido esforços para me proporcionar a oportunidade de um estudo de qualidade. Sou grata ao meu pai, Marcos Faccin, por me matricular no curso técnico em edificações e fazer assim pegar apreço pela profissão. Em especial quero agradecer à minha mãe, Rosmari Leal Faccin, pelo apoio, incentivo, companheirismo, pelos conselhos, por sempre estar ao meu lado, me ajudado e principalmente pela ajuda nos ensaios deste trabalho.

Ao meu orientador, Anderson Wolenski pela amizade, pelo incentivo e dedicação para conduzir este TCC e demais trabalhos ao longo dos 7 anos de pesquisas relacionadas a concreto auto adensável, agradeço por me incentivar, me ouvir, me acompanhar e cobrar para eu dar meu melhor sempre, sou eternamente grata por tanta mudança que fez na minha vida e carreira certamente em parte devo muito pela orientação deste grande amigo e professor.

Aos Professores Allan Guimarães Borçato e Ana Paula Antonello Sieg, que participaram da Banca de Defesa, pela disposição, apoio e considerações prestadas.

Aos meus colegas da primeira turma de engenharia civil “2018/01”, pelo companheirismo e amizade ao longo dos anos.

A toda minha família que de uma forma ou outra me ajudaram e acompanharam nesta jornada.

RESUMO

No presente trabalho foram apresentados os estudos teórico e experimental para obtenção de Concretos Auto Adensáveis e sua viabilidade com base no emprego do cimento CP V-ARI, aditivos superplastificantes e de agregados disponibilizados na região Oeste de Santa Catarina com a substituição parcial na proporção de 50% de areia natural pela areia artificial. A dosagem seguiu o método de REPETTE-MELO (MELO, 2005), o qual define três fases do concreto, fase pasta, fase argamassa e fase concreto. Para cada fase foram realizados ensaios específicos, na fase pasta seguem o ensaio de Marsh, conforme propõem a NBR 7681-2 (2013), para a fase argamassa, as análises seguem o ensaio de abatimento de Kantro, proposto em Gomes (2002) e ensaios para determinação dos parâmetros de trabalhabilidade e habilidade passante em estado fresco para a fase concreto, tais como Espalhamento NBR 15823-2 (2017), anel "J", conforme NBR 15823-3, (2017), funil "V" NBR 15823-5 (2017) e caixa "L" NBR 15823-4 (2017), por fim o ensaio em estado endurecido para obtenção dos parâmetros mecânicos de resistência à compressão axial. Nesta pesquisa foram elaborados concretos com relação água/cimento igual a 0,51 utilizando 100% de areia natural (AN100) e posteriormente substituindo 50% por areia industrial da região oeste de Santa Catarina (AA50), visando a obtenção de resistência aproximada 40 MPa aos 28 dias. Para alcançar os parâmetros de fluidez, fez-se necessário o uso de aditivo superplastificante, o qual conforme o método estudado foi ajustado em todas as etapas. A Partir da análise dos resultados pode-se concluir que o traço AN100 teve 5,9% a mais de resistência que o AA50 aos 28 dias. O custo final do CAA com o traço AN100 foi de R\$ 550,38 e o traço AA50 R\$ 570,30 reais, sendo assim tendo um aumento no preço final de 3,61%, tornando se assim, inviável econômica e mecanicamente a substituição parcial da areia natural pela artificial, porém do ponto de vista ambiental teve uma diferença significativa, pois reduz 50% da utilização da areia natural e alcança todos os parâmetros necessários para caracterização do CAA.

Palavras-chave: Concreto auto adensável. Areia industrial. Areia natural.

ABSTRACT

In the present work, theoretical and experimental studies were presented to obtain Self-Compacting Concrete and its viability based on the use of CP V-ARI cement, superplasticizer additives and aggregates available in the western region of Santa Catarina with partial replacement in the proportion of 50 % natural sand versus artificial sand. The dosage followed the method of REPETTE-MELO (MELO, 2005), which defines three phases of concrete, paste phase, mortar phase and concrete phase. Specific tests were carried out for each phase, in the paste phase they follow the Marsh test, as proposed by NBR 7681-2 (2013), for the mortar phase, the analyzes follow the Kantro slump test, proposed in Gomes (2002) and tests to determine the parameters of workability and ability to pass in the fresh state for the concrete phase, such as Spreading NBR 15823-2 (2017), "J" ring, according to NBR 15823-3, (2017), "V" funnel NBR 15823 -5 (2017) and box "L" NBR 15823-4 (2017), finally the test in a hardened state to obtain the mechanical parameters of resistance to axial compression. In this research, concrete with a water/cement ratio equal to 0.51 was made using 100% natural sand (AN100) and later replacing 50% with industrial sand from the western region of Santa Catarina (AA50), aiming to obtain a resistance of approximately 40 MPa at 28 days. To achieve the fluidity parameters, it was necessary to use a superplasticizer additive, which according to the studied method was adjusted in all stages. Based on the analysis of the results, it can be concluded that the AN100 trait had 5.9% more resistance than the AA50 at 28 days. The final cost of the CAA with the AN100 trait was R\$ 550.38 and the AA50 trait R\$ 570.30 reais, thus having an increase in the final price of 3.61%, thus making it economically and mechanically unfeasible to partial replacement of natural sand by artificial sand, but from an environmental point of view there was a significant difference, as it reduces 50% of the use of natural sand and achieves all the necessary parameters for the characterization of the CAA.

Keywords: Self-compacting concrete. Industrial sand. Natural sand.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Materiais constituintes do CAA e CCV.....	19
Figura 2 – Curva granulométrica da areia natural.....	22
Figura 3 – Curva granulométrica da areia artificial redonda.....	23
Figura 4 – Curva granulométrica do agregado graúdo.....	24
Figura 5 – Diagrama adaptado do método de REPETTE-MELO e metodologia.....	25
Figura 6 - Resultado dos Ensaios de Cone de Marsh para $a/c=0,51$	30
Figura 7 — Ensaio de Kantro A) argamassa com 50% de agregado miúdo B) argamassa com 45% de agregado miúdo.....	31
Figura 8 - Ensaios na fase concreto em estado fresco. A) Espalhamento; B) Anel “J”; C) Caixa “L”; D) Funil “V”	32
Figura 9 - Ensaios na fase concreto: C) Caixa L; D) Funil V; E) Resistência à compressão.....	33
Figura 10 - Resultado dos ensaios de resistência à compressão no estado endurecido.....	33
Figura 11 - Relação custo/ MPa.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Massa específica dos materiais utilizados.....	20
Tabela 2 - Características físicas do Cimento Portland CP V-ARI	20
Tabela 3 - Propriedades físicas e químicas do aditivo superplastificante SP 40205.....	21
Tabela 4 - Módulo de finura e dimensão máxima da areia artificial redonda.....	22
Tabela 5 - Traços dos concretos pesquisados.....	24
Tabela 6 - Resultado dos Ensaios de Cone de Marsh para $a/c=0,51$	29
Tabela 7 - Resultado dos Ensaios de Cone de Marsh para $a/c=0,51$	31
Tabela 8 - Síntese dos parâmetros do CAA para o estado fresco.....	32
Tabela 9 - Custo dos materiais utilizados por metro cúbico.....	34
Tabela 10 - Custo por material para confecção de um metro cúbico de concreto auto adensável.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT — Associação Brasileira de Normas Técnicas

ARI — Alta Resistência Inicial

AA50 — Amostra com substituição de 50% de areia natural por 50% de areia artificial

AAR - Areia Artificial Redonda

AN100 — Amostra referência com 100% de areia natural

ANM - Areia Natural Média

a/c — Água/cimento

B0 - Brita nº 0

CO₂ - Dióxido de carbono

CAA — Concreto Auto Adensável

cp's — Corpos-de-prova

CP — Cimento Portland

d — Diâmetro

fck — Resistência à compressão característica do concreto

IBGE — Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBRACON- Instituto Brasileiro de Concreto

IFSC — Instituto Federal de Santa Catarina

MPa — Mega Pascal

NBR — Norma Brasileira

SNIC — Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

SP — Superplastificante

TCC — Trabalho de Conclusão de Curso

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1.1 Objetivo geral	14
1.1.2 Objetivo específico	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Cimento Portland	17
2.2. Agregados	17
2.3. Aditivos	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1 Materiais Empregados e Sua Caracterização	19
3.1.1. Cimento Portland CP V-ARI	20
3.1.2. Aditivo Superplastificante Silicon Premix 40205	21
3.1.3. Agregado Miúdo — Areia natural média (ANM)	21
3.1.4. Agregado Miúdo - Areia artificial redonda (AAR)	22
3.1.5. Agregado Graúdo	23
3.2 Metodologia	24
3.2.1. Fase pasta	26
3.2.1.1 Cone de Marsh	26
3.2.2 Fase Argamassa	27
3.2.2.1 Mini abatimento de cone de Kantro	27
3.2.3. Fase concreto:	27
3.2.3.1 Espalhamento:	28
3.2.3.2 Anel “J”:	28
3.2.3.3 Caixa “L”:	28
3.2.3.4 Funil “V”:	29
3.2.3.5 Ensaio de controle no Estado Endurecido	29
4. RESULTADOS	29
4.1 Fase pasta	29
4.2 Fase argamassa	30
4.3. Fase concreto	31
4.4 Estimativas de custos	34
5. CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento na busca por projetos estruturais em concreto armado, com densas armaduras, as pesquisas se tornaram indispensáveis para manter a qualidade diante de tal demanda. Dentre os concretos especiais, o concreto Autoadensável (CAA) se destaca dada sua capacidade de aliar resistência mecânica com fluidez, coesão e trabalhabilidade, não necessitando de vibração para seu adensamento.

A NBR 15823 (2017), documento norteador dos CAAs, expõe que tais propriedades possibilitam um adensamento em função apenas de seu peso próprio, com um completo preenchimento da forma mesmo diante de densas armaduras e/ou dutos, além da manutenção de sua homogeneidade e ausência de segregação nas etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento.

Com a ampla utilização de recursos naturais na construção civil, temos como consequência, vários impactos ambientais. Com isso, é de suma importância estudos de novas fontes de materiais que possam ser usados equivalentemente em seu rendimento, sem deixar seu benefício nas questões ambientais e econômicas.

De acordo com Silva (2018) a mineração corresponde a uma atividade econômica e industrial que consiste na pesquisa, exploração, lavra (extração) e beneficiamento de minérios presentes no subsolo. Essa atividade é uma das grandes responsáveis pela atual configuração da sociedade em que vivemos, visto que diversos produtos e recursos utilizados por nós, são provenientes dessa atividade, como computadores, cosméticos, estradas, estruturas metálicas, entre outros.

Diante disso, o agregado miúdo natural, amplamente utilizado nas construções, é extraído de leitos de rios, provocando a retirada da cobertura vegetal, degradação dos cursos d'água e demais danos ao meio ambiente. Sendo assim, órgãos responsáveis pela fiscalização do meio ambiente, como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), vêm enrijecendo as leis de exploração de áreas próximas dos centros urbanos. Como consequência, as empresas mineradoras têm sido forçadas a extrair essa areia em locais cada vez mais distantes do mercado consumidor, aumentando o preço final do produto.

Visto toda essa problemática, busca-se substituir a areia natural pelos rejeitos gerados no beneficiamento mineral, ou seja, a areia industrial, a qual é um material ou agregado derivado da britagem de rochas, de grãos redondos com diâmetro inferior

a 4,80 mm, muito semelhante à areia natural a ponto de ser comercializado (ALMEIDA e SILVA, 2005).

Segundo Drago et al. (2009), para concretos convencionais com relações água/cimento fixadas em 0,55 e 0,60 apresentaram melhor resultado com 60% de areia de britagem e concretos com relação água/cimento fixada em 0,65 apresentaram melhor resultado com 100% de areia de britagem.

Costa (2005), diz que os concretos produzidos com areia artificial podem ser aplicados com segurança até teores de 50% de substituição. Na maioria dos casos, os resultados foram superiores aos traços similares fabricados com agregados naturais, consistindo em uma opção ambientalmente correta e economicamente viável.

Uma alternativa que se apresenta neste trabalho, é o uso da areia industrializada na produção do concreto auto adensável em substituição parcial à areia natural. Essa substituição é justificada pela inserção dos princípios da sustentabilidade e custo benefício, mantendo seus parâmetros.

1.1.1 Objetivo geral

Produzir um traço de concreto auto adensável com elevado desempenho e com o menor impacto ao meio ambiente, diminuindo a extração do agregado miúdo natural, comparando custo e a viabilidade de comercialização.

1.1.2 Objetivo específico

Produzir um concreto auto adensável com todos os parâmetros de fluidez e trabalhabilidade no seu estado fresco considerando a NBR 15823 (2017), avaliar visualmente a ocorrência de segregação ou exsudação.

Avaliar a resistência à compressão do concreto auto adensável com 100% de areia natural comparando com um concreto com substituição parcial de 50% de areia natural pela areia artificial.

Alcançar um concreto com resistência mínima de 40 MPa aos 28 dias.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com Metha (1996), o concreto de cimento Portland, considerado um sólido, a partir de sua pega, é um material que permanece em constante evolução. Segundo a ASTM (American Society for Testing and Materials), o concreto é um material compósito que consiste em um aglomerante no qual estão aglutinadas partículas de diferentes naturezas: o aglomerante é o cimento em presença de água e o agregado é qualquer material granular, como areia, pedregulho, rocha britada, escória de alto forno e resíduos de construção e de demolição.

Se as partículas do agregado são maiores que 4,80 mm, o agregado é considerado graúdo, caso contrário, o agregado será considerado miúdo em sua composição, é possível conter aditivos e adições de substâncias químicas que alteram algumas propriedades adequando-as às necessidades construtivas citado por (MEHTA; MOTEIRO, 2008).

Um concreto só será considerado autoadensável se três propriedades forem alcançadas simultaneamente: fluidez, coesão necessária para que a mistura esco intacta entre barras de aço (ou habilidade passante) e resistência à segregação (SNIC, 2006).

De acordo com Costa (2005), o uso do CAA é economicamente viável em situações específicas: quando há dificuldade para o adensamento ou vibração do material, ou armaduras muito densas. Já em situações corriqueiras, necessita-se de um estudo global, abrangendo todas as variáveis, para a determinação do tipo de concreto mais viável economicamente, o CAA ou o concreto convencional (CC).

As altas taxas de abatimento do CAA provêm, principalmente, da utilização de aditivos superplastificantes, que permitem elevar a fluidez do concreto sem aumentar os valores da relação água/cimento (a/c), bem como manter a coesão das partículas, de modo a evitar a ocorrência da segregação ou exsudação do concreto (WOLENSKI et al., 2010).

Segundo Tutikian (2008), a produção de um CAA exige elevada fluidez com viscosidade e coesão entre as partículas, de modo a garantir um escoamento contínuo e ausente de segregação e/ou exsudação. O adensamento requer três requisitos: a capacidade de preenchimento, a resistência à segregação e a capacidade de transpasse entre armaduras densas.

Tutikian (2008) ainda diz que ao criar um CAA, deve-se considerar a diminuição na relação a/c, mantendo a fluidez e a trabalhabilidade do produto. Como resultado, o uso de aditivos em quantidades normalizadas leva a um aumento da trabalhabilidade por um período maior de tempo, bem como um aumento na resistência e durabilidade.

O setor da construção civil é um dos maiores consumidores de recursos naturais, cerca de 75% desses recursos produzidos no planeta são consumidos em obras de construção civil. Dentre os produtos produzidos em atividades mineradoras, os mais utilizados na construção civil são o cimento e os agregados. No entanto, estes agregados possuem uma grande importância por proporcionar uma melhora nas propriedades do concreto, sendo a areia natural um dos mais utilizados (PINTO, 1999).

Silva (2018) comenta sobre o aumento constante da demanda de areia natural no mercado e a grande preocupação com a preservação do meio ambiente, a extração da areia natural está sendo cada vez mais controlada pelos órgãos responsáveis pela fiscalização do meio ambiente. Como a areia natural é obtida, principalmente, através da extração em leitos dos rios, as licenças para exploração deste material tem sido suspensa, tornando a areia natural um material mais caro e escasso no mercado da construção civil (SILVA et.al., 2018).

Devido este fato, surge a necessidade e importância de se realizar um estudo sobre a utilização desses materiais (areia industrial) gerados em altas quantidades no processo da produção da britagem de rochas sendo depositados na natureza na produção de concreto, para que se possa diminuir o uso da areia natural e reduzir os impactos causados ao meio ambiente.

Logo, avalia-se no estado fresco, analisando os ensaios técnicos para determinar os percentuais de cada material visando sua análise econômica, conforme o objetivo central deste estudo seguindo o método de REPETTE-MELO.

O método REPETTE-MELO, segundo Melo (2005), define as proporções do CAA, tomando-se como ponto de partida dada resistência à compressão. De acordo com Repette (2007), o método se distingue da maioria dos métodos correntes por não exigir em nenhuma de suas etapas o julgamento subjetivo da qualidade da mistura, todos os componentes do concreto são ajustados com base em ensaios rápidos e de custo acessível.

De acordo com Tutikian (2008), tal método baseia-se na racionalização da dosagem do CAA a partir do estabelecimento da proporção água/aglomerante segundo exigências de resistência à compressão ou durabilidade.

2.1 Cimento Portland

Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino. A mistura obtida, após secar, tornava-se tão dura quanto às pedras empregadas nas construções, não se dissolvia em água, patenteada com o nome de cimento Portland, por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland (SNIC, 2006).

No Brasil, os componentes de concreto e argamassa são produzidos quase que exclusivamente com cimento Portland. No mercado da construção civil existem muitos tipos de cimento, cada um com suas vantagens e desvantagens, devendo ser escolhido o mais adequado conforme as características a serem alcançadas. (SNIC, 2006)

O cimento Portland é classificado como ligante hidráulico, ou seja, o produto final é estável em meio aquoso. As reações de hidratação incluem o endurecimento do cimento devido a reações químicas quando o material entra em contato com a água (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

O módulo de finura do cimento e de outros finos é uma característica importante para a produção de CAA. Quanto maior a área específica do cimento, maior o número de partículas e a interação entre elas, resultando em maior viscosidade (BUTTLER, 2003).

Segundo Costa (2005), a fabricação do CAA requer altos níveis de finos para obter a viscosidade adequada. O cimento é o material que fornece a maioria dos finos necessários, mas altas taxas de consumo de cimento podem afetar negativamente o concreto tanto no estado fresco quanto endurecido, como maior liberação de calor da hidratação e retração plástica.

2.2. Agregados

Os agregados são um componente importante do concreto vibratório convencional (CCV) e do CAA. Em concretos isentos de aditivos com fck igual a 15MPa, o agregado representa aproximadamente 80% da massa e 20% do custo (MALHOTRA e MEHTA, 1996).

Os agregados podem ser divididos em agregados miúdos e agregados graúdos, sendo que ambos devem ser inertes, recomendando-se que tenham o menor diâmetro máximo característico e uma curva granulométrica contínua. Para atingir o nível de adensamento necessário para a CAA, o agregado deve ser tratado adequadamente, pois os finos precisam ser aumentados, reduzindo assim a quantidade de agregado graúdo (TUTIKIAN, 2008).

O consumo de cimento por metro cúbico é determinado conforme a resistência necessária e o consumo de água. Dessa forma, é necessário o uso de agregados para aumentar o volume (TUTIKIAN, 2008). Ainda Tutikian diz que as proporções de agregados graúdos e miúdos e o volume total dos dois são um dos principais fatores que afetam a reologia do concreto.

2.3. Aditivos

Atualmente, é comum a utilização de diferentes aditivos para diferentes finalidades no concreto. Entre os CAAs, dois são os mais utilizados: aditivos redutores de água e modificadores de viscosidade.

O aditivo superplastificante é essencial na produção de CAA, pois é responsável por uma das principais qualidades no estado fresco, a fluidez, compensando a mistura com abundância de finos. Existem diversas opções desses aditivos no mercado nacional da construção civil, algumas delas específicas para a fabricação de CAA.

De acordo com Drago et al. (2009), os aditivos superplastificantes podem reduzir a água de mistura do concreto e manter ou aumentar a fluidez sem aumentar a quantidade de água na composição, sendo que a água de amassar necessária pode ser reduzida em até 40% mantendo a consistência.

A NBR 11768 (1992) define aditivos como produtos que, adicionados em pequena quantidade aos concretos de cimento Portland, modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições.

No que tange o entendimento dos aditivos superplastificantes, são feitos à base de polímeros sintetizados com as mesmas características dos aditivos plastificantes, porém conseguem reduzir o teor de água de três a quatro vezes dependendo do traço de concreto, quando comparados aos plastificantes (MALHOTRA e MEHTA, 1996).

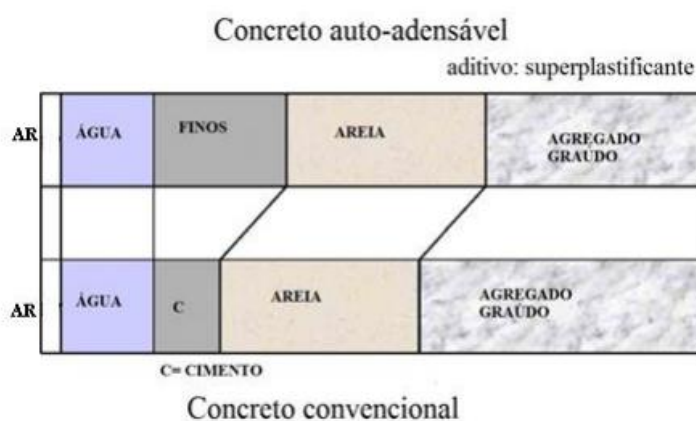
No que se referem ao CAA, os aditivos representam materiais de extrema relevância, com destaque aos superplastificantes, indispensáveis para garantir as principais características no estado fresco, pois melhoraram o desempenho do concreto, dado a redução da quantidade de água com a elevação da fluidez (TUTIKIAN, 2008).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo experimental que define os parâmetros dos estados endurecido e fresco do concreto, utilizou-se o método de dosagem REPETTE-MELO (MELO, 2005) com uma relação a/c igual a 0,51, visando obter um concreto com resistência mecânica na faixa de 40 MPa e todos os parâmetros de auto adensável em seu estado fresco.

Os materiais constituintes do CAA são os mesmos do concreto convencional, a principal diferença entre os dois concretos é a proporção de materiais utilizados, na quantidade e, em alguns casos, os aditivos utilizados. A Figura 1 mostra uma comparação entre os materiais constituintes do concreto convencional (CCV) e do concreto autoa densável (CAA).

Figura 1 - Materiais constituintes do CAA e CCV.



*Finos: Cimento e adições minerais.

Fonte: (Okamura e Ouchi, 2003).

3.1 Materiais Empregados e Sua Caracterização

As principais características e propriedades dos materiais constituintes do CAA serão descritas a seguir.

Devido o concreto ser constituído por materiais diferentes, o volume ocupado por cada material também se difere, a Tabela 1 a seguir apresenta a massa específica de cada material constituinte do CAA que foram utilizados para esta pesquisa.

Tabela 1 - Massa específica dos materiais utilizados

Materiais	G/CM³
Cimento CP V ARI	3,01
Areia natural media	2,537
Areia artificial redonda	2,94
Água	1
Aditivo	1,17

Fonte: Autoria própria (2022).

3.1.1. Cimento Portland CP V-ARI

O uso do CP V-ARI expandiu-se nos últimos anos devido a sua grande aplicabilidade na indústria de pré-fabricados de concreto ocasionada, principalmente, pela sua capacidade de alto ganho de resistência em curtos intervalos de tempo (WOLENSKI et al. 2010).

Segundo Souza et al. (2018), este ganho de resistência inicial elevado se deve ao fato de que o CP-V-ARI é o cimento comercial que possui a maior quantidade de clínquer, devido ao baixo teor de adições permitidas (até 10% de material carbonático). Além disso, o clínquer passa por um processo de moagem mais longo que os cimentos convencionais, garantindo assim uma maior finura, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências, com maior velocidade (SOUZA; MEDEIROS; HOPPE FILHO, 2018).

O CP-V-ARI deve apresentar resistência à compressão mínima de 34 MPa aos 7 dias NBR 16607 (2018), ganhando resistência ao longo do tempo, e assim atingindo resistências elevadas, aumentando seu rendimento.

Na Tabela 2 são apresentadas as características físicas limites para o cimento Portland CP V ARI determinados pela NBR16607 (2018).

Tabela 2 - Características físicas do Cimento Portland CP V-ARI

Ensaio Físicos	Unidade	Especificação
Resíduo na peneira # 200	%	≤ 6
Tempo de início de pega	horas	≥ 1
Tempo de fim de pega	horas	≤ 10
Resistência à compressão 1 dia	MPa	≥ 14
Resistência à compressão 3 dias	MPa	≥ 24

Resistência à compressão 7 dias	MPa	≥ 34
Resistência à compressão 28 dias	MPa	-
Percentual de material carbonáticos	%	≤ 10

Fonte: Boletim técnico do fabricante (2022).

3.1.2. Aditivo Superplastificante Silicon Premix 40205

O aditivo Silicon Premix 40205 (SP 40205) é um aditivo orgânico à base de policarboxilatos de última geração, proporcionando alto poder de dispersão, alta trabalhabilidade, reduzindo a quantidade de água e elevando a resistência mecânica.

Tal aditivo é incorporado ao concreto através dos efeitos de absorção superficial das partículas de cimento, produzindo concretos de alta resistência com excelente fluidez. Porém, deve-se atentar para o efeito da superdosagem que pode provocar a exsudação do concreto ou perda de resistência do mesmo. A Tabela 3 expõe informações técnicas a respeito do aditivo SP 40205. (SIKA BRASIL, 2014).

Tabela 3 - Propriedades físicas e químicas do aditivo superplastificante SP 40205.

Aspecto físico	Líquido viscoso
Cor	Mel a castanho
Teor de cloretos	< 0,1%
Densidade	1,03 - 1,07 g/cm ³

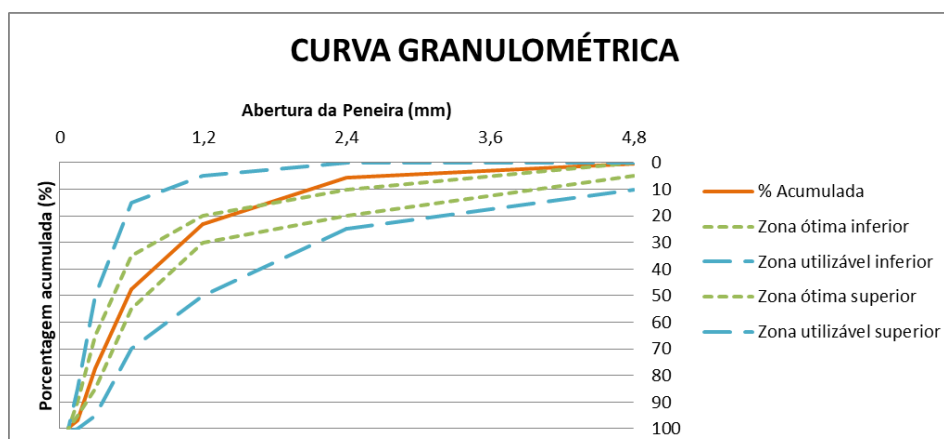
Fonte: Boletim Técnico do Fabricante (2022).

3.1.3. Agregado Miúdo — Areia natural média (ANM)

Para caracterização dos agregados miúdo realizou-se o ensaio de granulometria, conforme a NBR NM 248 (2003). A Figura 2 mostra a faixa granulométrica onde a areia utilizada (areia natural) se encontra em relação aos limites inferiores e superiores da zona utilizável e da zona ótima, conforme a NBR 7211 (2005).

Portanto, as peneiras da série normal devem ser sempre utilizadas nos ensaios, pois os resultados obtidos nessas malhas são utilizados para fins de classificação granulométrica e determinação do módulo de finura, conforme definição a seguir e a NBR 7211 (2005).

Figura 2 – Curva granulométrica da areia natural.



Fonte: Autoria própria (2022).

O agregado miúdo natural apresentou um módulo de finura de 2,51 mm e um diâmetro máximo característico de 4,76 mm. Observa-se que a areia natural utilizada fica na maioria nas zonas ótimas.

3.1.4. Agregado Miúdo — Areia artificial redonda (AAR)

A areia artificial ou areia industrial é um produto derivado da rocha que passa por um processamento de britagem até atingir a granulometria desejada. Após a perfuração da rocha, conforme o plano de fogo, as pedras são transportadas até o conjunto de britagem até que atinjam granulometria menor que 4,8 mm. Na maioria dos processos industriais, este produto é conduzido até os equipamentos de lavagem que retiram do produto final os finos excedentes.

Segundo Tiecher (2003), “a areia artificial é um produto alternativo, que causa menor degradação ao meio ambiente. Se utilizada para levantamento de alvenarias denota maior aderência que a areia natural, pois possui grãos mais angulosos e ásperos”.

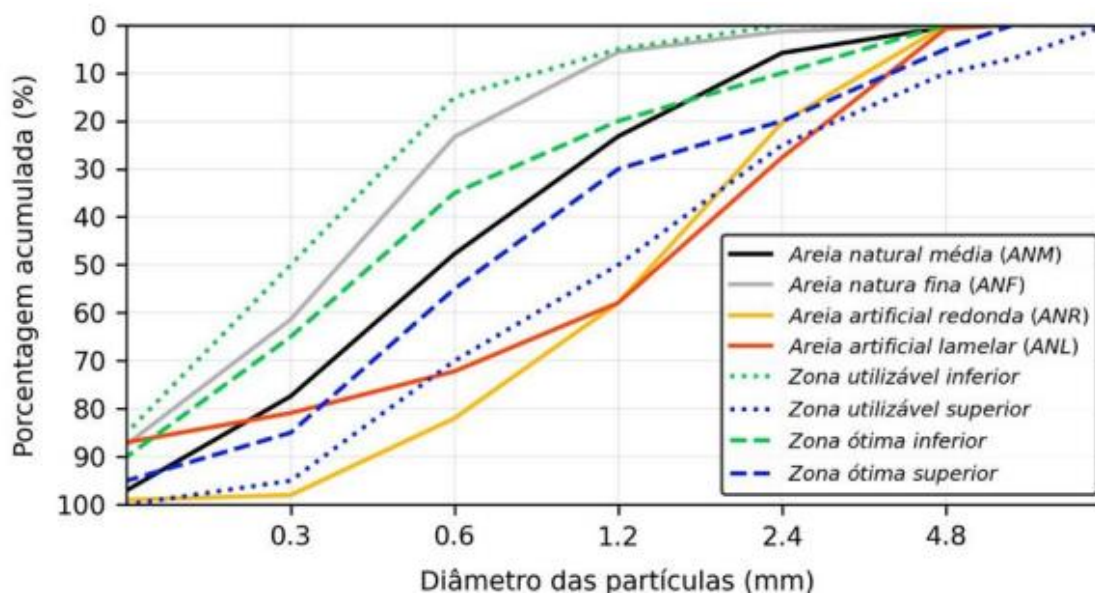
A areia artificial utilizada foi adquirida em uma indústria de britagem da cidade de Palmitos, na região oeste de Santa Catarina. O mesmo passou pelo ensaio de granulometria seguindo a NBR 7211 (2005).

Tabela 4 - Módulo de finura e dimensão máxima da areia artificial redonda.

Tipo do material	Módulo de finura	Diâmetro máximo (mm)
Areia artificial Redonda	3,66	4,8

Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 3 – Curva granulométrica da areia artificial redonda.



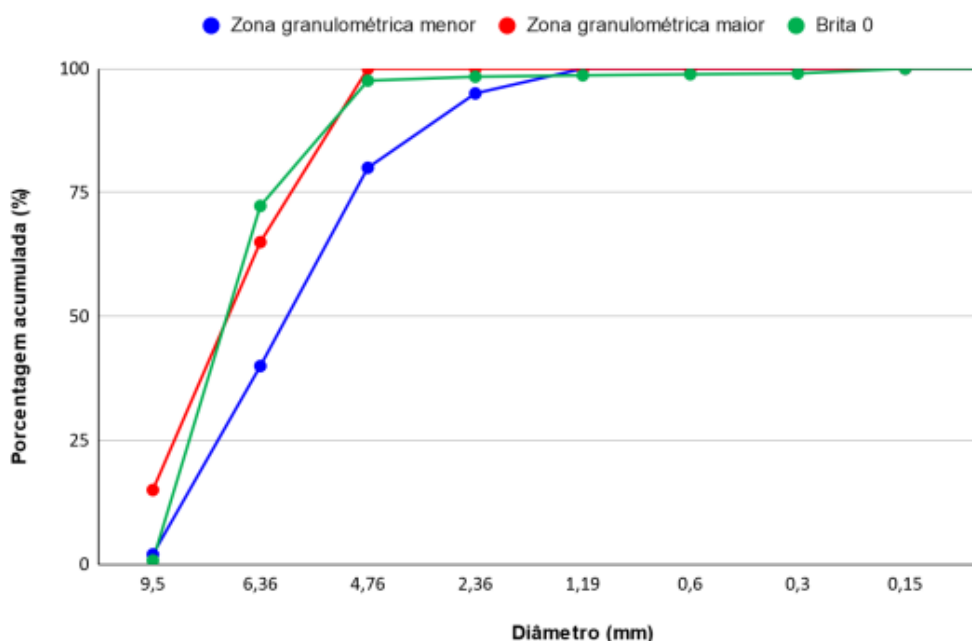
Fonte: Autoria própria (2022).

O agregado miúdo artificial utilizado foi a areia artificial redonda (ANR) do gráfico anterior, a qual apresentou um módulo de finura de 3,66 mm e um diâmetro máximo característico de 4,8 mm. Observa-se que a areia também fica nas zonas ótimas.

3.1.5. Agregado Graúdo

Utilizou-se como agregado graúdo a brita n.º 0, material disponível e de grande abundância na região deste estudo, justificando seu emprego e caracterização para obtenção de concretos fluidos. A Figura 4 mostra a faixa granulométrica onde a brita encontra-se em relação à zona granulométrica menor e a zona granulométrica maior, conforme a NBR 7211 (2005).

Figura 4 – Curva granulométrica do agregado graúdo.



Fonte: Autoria própria (2022).

O agregado graúdo apresentou um módulo de finura de 5,93 mm e um diâmetro máximo característico de 9,5 mm.

3.2 Metodologia

Os experimentos estudaram os parâmetros do CAA para o estado fresco e endurecido capazes de produzir concretos com custo competitivo em relação ao CAA de referência. Adotou-se o método de dosagem proposto pelo método REPETTE-MELO, (MELO, 2005) para a/c 0,51 com 100% de areia natural como referência (AN100) de modo a comparar com 50% de areia artificial substituindo a natural AA50, de modo a obter CAAs com fcm de aproximadamente 40 MPa aos 28 dias utilizando o traço especificado na Tabela a baixo em quilogramas por metro cubico.

Tabela 5 - Traços dos concretos pesquisados.

Traço	Cimento (kg)	Areia natural (kg)	Areia artificial (kg)	Brita 0 (kg)	Água (kg)	Aditivo SP40205 (kg)	Aditivo (%)
AN100	457,12	799,155	-	885,00	241,56	1,83	0,40
AA50	457,12	399,57	463,05	885,00	241,56	2,51	0,55

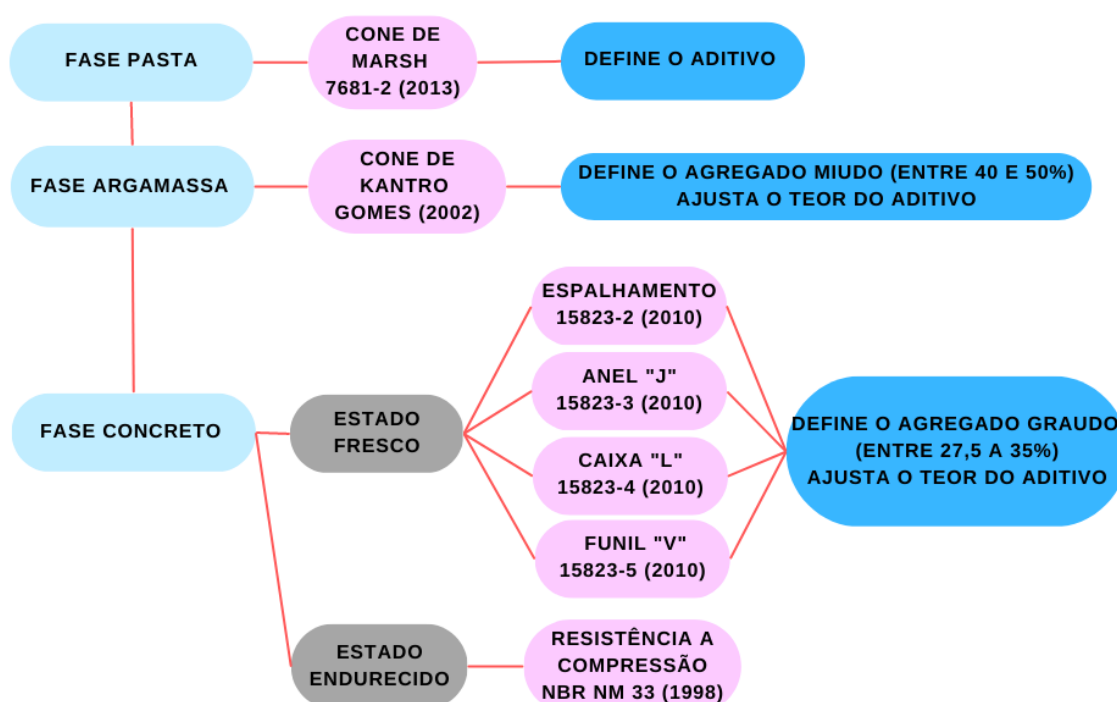
Fonte: Autoria própria (2022).

O método REPETTE-MELO define as proporções de CAA utilizando a resistência à compressão como ponto de partida, evitando a necessidade de

juízo subjetivo da qualidade da mistura ao longo do processo. Os componentes específicos são ajustados com base em experimentos rápidos e fáceis, a fim de eliminar decisões que dependem do conhecimento experimental do usuário (MELO, 2005).

O método é dividido em três fases, (fase pasta, fase argamassa e fase concreto), onde se baseia na racionalização da dose de CAA com base no estabelecimento da relação água/cimento (a/c) conforme os requisitos de resistência à compressão, como os encontrados em concretos convencionais. O método prevê o ajuste do teor de superplastificante em todas as fases de dosagem, pois o aditivo tem relação direta com o custo final do produto, além de evitar problemas como segregação ou exsudação caso seja usado inadequadamente durante a dosagem de CAA.

Figura 5 – Diagrama adaptado do método de REPETTE-MELO e metodologia.



Fonte: Autoria própria (2022).

Destaca-se que os experimentos na fase pasta, o ensaio Cone de Marsh, conforme propõe a NBR 7681–2 (2013). Para a fase argamassa, as análises seguem o ensaio de abatimento de Kantro, proposto em Gomes (2002). Tais fases são escopos de trabalhos precursoros a presente pesquisa, portanto, são aqui apenas sintetizadas. Para a fase concreto realizou-se o ensaio de espalhamento, anel “J”, funil “V” e caixa “L” seguindo a NBR 15823 (2010).

3.2.1. Ensaios de Controle no estado fresco

Para avaliar tais requisitos, portanto, os ensaios de controle no estado fresco são imprescindíveis para obtenção dos CAAs aqui pesquisados. Nesta pesquisa realizaram-se ensaios de espalhamento, seguindo a NBR 15823-2 (2017), e o ensaio de anel “J”, conforme NBR 15823-3, (2017). Sequencialmente, serão executados os ensaios do funil “V” NBR 15823-5 (2017) e caixa “L” NBR 15823-4 (2017).

Os ensaios de concreto foram feitos para a relação a/c 0,51 dosando assim o percentual ótimo de agregado graúdo, foram confeccionados concretos com o traço AN100 referência e 27,5, 30 e 32,5% de agregado graúdo dosando assim o percentual ótimo desse agregado.

Tais ensaios avaliam o CAA quanto à trabalhabilidade e fluidez, além de avaliar sua habilidade passante e a ocorrência de segregação e exsudação. Para todos os concretos, adotaram-se uma betoneira basculante com capacidade de 120 litros, cujo processo de mistura seguiu a proposição dada em Wolenski (2010).

3.2.1. Fase pasta

3.2.1.1 Cone de Marsh

Para a determinação do teor ótimo de saturação dos aditivos, empregou-se a metodologia prescrita pela NBR 7681-2 (2013). Tal metodologia consiste em preencher o Cone de Marsh com (1800 ml +/-50 ml) e medir o tempo de escoamento de 1000 ml da pasta ensaiada. Para a medição deste volume, adotou-se uma proveta de 1000 ml, sendo o tempo determinado por um cronômetro digital.

Seguindo também a metodologia proposta por Roncero (2000), a determinação do percentual ótimo de superplastificante ocorre com incrementos de aditivo em 0,1% (percentagem em relação à massa de cimento), até o instante da observação de exsudação da pasta ou ocorrência da variação no tempo de escoamento em intervalos consecutivos, menores que 1,0 segundo, para os tempos de escoamentos variando entre 5, 15 e 30 minutos, a partir do instante de incorporação do aditivo superplastificante. Tal metodologia foi aplicada aos ensaios de compatibilidade com o

cimento CP V-ARI, uma relação $a/c=0,51$ e o aditivo superplastificante SP 40205, NBR 11768 (1992).

3.2.2 Fase Argamassa

3.2.2.1 Mini abatimento de cone de Kantro

A partir do método de dosagem proposto, foi realizado o ensaio de Kantro, responsável por determinar o abatimento de pequenas quantidades de argamassa, com parâmetros de espalhamento.

O ensaio consiste no preenchimento, com argamassa, de um mini cone apoiado sobre uma base metálica sem inclinação. As respostas do ensaio são obtidas por meio da medição do diâmetro ortogonal do espalhamento da argamassa, um minuto após a retirada do mini cone.

Utilizou-se o Ensaio de Kantro para determinar o percentual ótimo de agregado miúdo frente ao teor ótimo de aditivo, buscando fluidez e trabalhabilidade adequadas.

As pesquisas na fase argamassa tiveram como ponto de partida os resultados obtidos na fase pasta, que possibilitaram a sequência na determinação do percentual ótimo de agregado miúdo para obtenção de uma argamassa nos parâmetros de deformabilidade, fluidez, estabilidade e resistência à compressão.

O ensaio no mini-abatimento de Kantro segue parâmetros para fluidez da argamassa definidos por Gomes (2002), que recomenda um espalhamento da mistura sob a mesa de consistência com variações entre 200 mm e 280 mm.

No total foram confeccionadas misturas com três percentuais de agregado miúdo, sendo 40, 45 e 50% em relação ao volume total de argamassa, de modo a verificar a quantidade ideal de agregado miúdo que resultasse em composições com fluidez e deformabilidade adequadas.

O Ensaio de Kantro permitiu ainda, por meio dos espalhamentos obtidos das argamassas, adequar os percentuais de aditivo superplastificante, anteriormente definidos nos ensaios na fase pasta, de modo a adequar aos níveis de deformabilidade requeridas para argamassas fluidas.

3.2.3. Fase concreto:

Segundo Wolenski, (2010), uma dosagem adequada de adição mineral pode conferir uma melhoria na coesão das partículas e, em consequência, contribuir diretamente na prevenção de fenômenos patológicos, como a exsudação e a segregação do CAA.

Os ensaios foram executados sequencialmente dentro de 15 minutos, para cada ensaio o concreto volta para a betoneira sendo homogeneizado novamente, foram necessários 25 Litros de concreto para realizar todos os ensaios. Todos esses ensaios são escopos de trabalhos precursores a esse, realizados pelos autores e serão aqui apenas sintetizados.

3.2.3.1 Espalhamento:

Para tanto, foram inicialmente realizados os ensaios de espalhamento, seguindo o que preconiza a NBR 15823-2 (2010), para este ensaio é utilizado o Cone de Abrams e uma base metálica plana, onde o cone é preenchido com o CAA e quando retirado o concreto escoar livremente sobre a base, obtendo assim dois diâmetros perpendiculares de espalhamento, idealizado em 600 a 700 mm.

3.2.3.2 Anel “J”:

O ensaio anel J (NBR 15823-3, 2010) é realizado na sequência, um dos ensaios menos exigentes, porém de extrema importância para observar a habilidade passante, o ensaio consiste em um equipamento de acrílico com 30 cm de diâmetro e 16 barras de aço de 12,5 mm de diâmetros espaçadas uniformemente, com esse ensaio é possível avaliar a existência do CAA a segregação face ao bloqueio durante o transpasse da armadura.

3.2.3.3 Caixa “L”:

Para o ensaio caixa “L” NBR 15823-4 (2010), uma caixa em formato de “L” é preenchida na parte horizontal, o escoamento ocorre após a abertura de uma comporta, que o CAA deverá passar por 3 barras de aço 10 mm. Os parâmetros exigidos para tal ensaio são mensurados através da diferença de altura H_1 e H_2 do

concreto na parte vertical após seu término de escoamento, essa diferença deve estar entre 80 e 100 mm.

3.2.3.4 Funil “V”:

Por fim o ensaio Funil “V” é executado conforme a NBR 15823-5 (2017), este ensaio é preenchido um compartimento em formado de “V” até a borda e aberta uma comporta na parte inferior, o tempo de escoamento desses 10 Litros de concreto é mensurado com um cronômetro digital e deve estar compreendido em um intervalo de 4 a 12 segundos para uma boa fluidez do concreto.

3.2.3.5 Ensaio de controle no Estado Endurecido

As instruções para a coleta e a preparação dos corpos de prova dos CAAs pesquisados seguiram o que recomenda a NBR NM 33 (1998). Confeccionaram-se corpos de prova (cp’s) cilíndricos de 10 × 20 cm, sendo três para cada uma das idades de 3, 7, 14, 21 e 28 dias, a fim de obter a resistência mecânica à compressão. Os cp’s foram armazenados em tanque para cura submersa até a data de rompimento, realizada em prensa servo controlada com capacidade máxima de 1.000 kN (Intermeter iN Unique 2223©).

4. RESULTADOS

4.1 Fase pasta

A Tabela 6 apresenta os resultados dos ensaios com diferentes porcentagens de aditivo e os percentuais ótimos de saturação do aditivo SP 40205, para a relação a/c 0,51.

Tabela 6 - Resultado dos Ensaio de Cone de Marsh para a/c=0,51

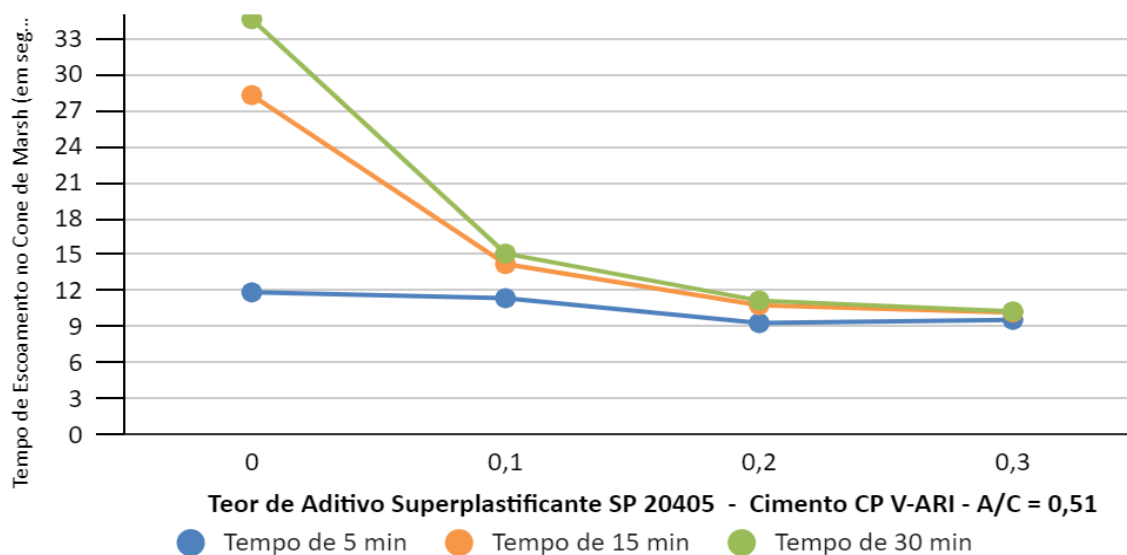
Cimento CP V-ARI - SP 40205		TEMPO DE ESCOAMENTO (segundos)		
Identificação	% de aditivo	5 minutos	15 minutos	30 minutos
1° Ensaio	0	11,86	28,28	34,60
2° Ensaio	0,1	11,37	14,21	15,09
3° Ensaio	0,2	9,30	10,79	11,18

4º Ensaio	0,3	9,57	10,19	10,28
------------------	------------	-------------	--------------	--------------

Fonte: Autoria própria (2022).

Para a relação a/c 0,51 o percentual ótimo definido foi de 0,3% em relação à massa de cimento, conforme Tabela 6.

Figura 6 - Resultado dos Ensaios de Cone de Marsh para a/c=0,51.



Fonte: Autoria própria (2022).

Na Figura 6 acima é possível observar a variação do tempo de escoamento em relação à quantidade de aditivo adicionada nos intervalos de tempo definidos.

Neste sentido, a ocorrência de exsudação, seguida de segregação da pasta, foi observada para as três relações a/c, principalmente para os tempos de 30 minutos.

Neste sentido, verificou-se o atendimento aos parâmetros de trabalhabilidade pela metodologia de dosagem proposta nesta pesquisa, para as três relações água/cimento, uma vez que forneceram bons resultados de compatibilidade cimento/aditivo, além de proporcionar misturas altamente fluidas e com coesão entre as partículas observadas para os percentuais ótimos alcançados.

4.2 Fase argamassa

As pesquisas na fase argamassa tiveram como ponto de partida os resultados obtidos na fase pasta, que possibilitaram a sequência na determinação do percentual ótimo de agregado miúdo para obtenção de uma argamassa nos parâmetros de deformabilidade, fluidez e estabilidade.

O Ensaio de Kantro permitiu ainda, por meio dos espalhamentos obtidos das argamassas, adequar os percentuais de aditivo superplastificante, anteriormente definidos nos ensaios na fase pasta, de modo a adequar aos níveis de deformabilidade requeridas para argamassas fluidas.

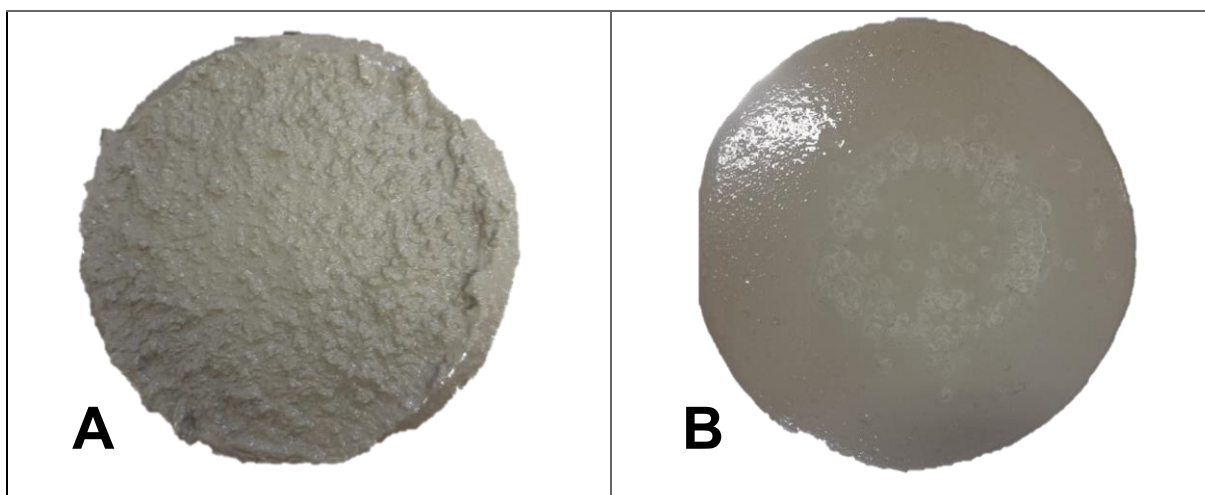
Tabela 7 - Resultado dos Ensaios de Cone de Marsh para $a/c=0,51$

TRAÇO	40%	45%	50%
AN100	245,84	208,30	191,01
AA50	299,75	222,22	132,68

Fonte: Autoria própria (2022).

Na Figura 7 abaixo observa-se uma sequência do ensaio de Kantro realizados com 45 e 50% de agregado miúdo e com diferentes espalhamentos. Na imagem A) com 50% de agregado miúdo a argamassa não atingiu o diâmetro de espalhamento esperado, caracterizando excesso de agregado miúdo, já na imagem B) tem-se uma argamassa ideal, com o espalhamento dentro do esperado e sem segregação, definindo assim o percentual ótimo de agregado miúdo em 45%.

Figura 7 — Ensaio de Kantro A) argamassa com 50% de agregado miúdo B) argamassa com 45% de agregado miúdo.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.3. Fase concreto

Os resultados estão divididos em ensaios obtidos no estado fresco do concreto e os resultados encontrados para o estado endurecido.

Na Tabela 8, foram agrupados todos os parâmetros encontrados nos ensaios para o CAA no estado fresco, para a/c 0,51 cimento CP-V-ARI e aditivo superplastificante SP-40205.

Tabela 8 - Síntese dos parâmetros do CAA para o estado fresco.

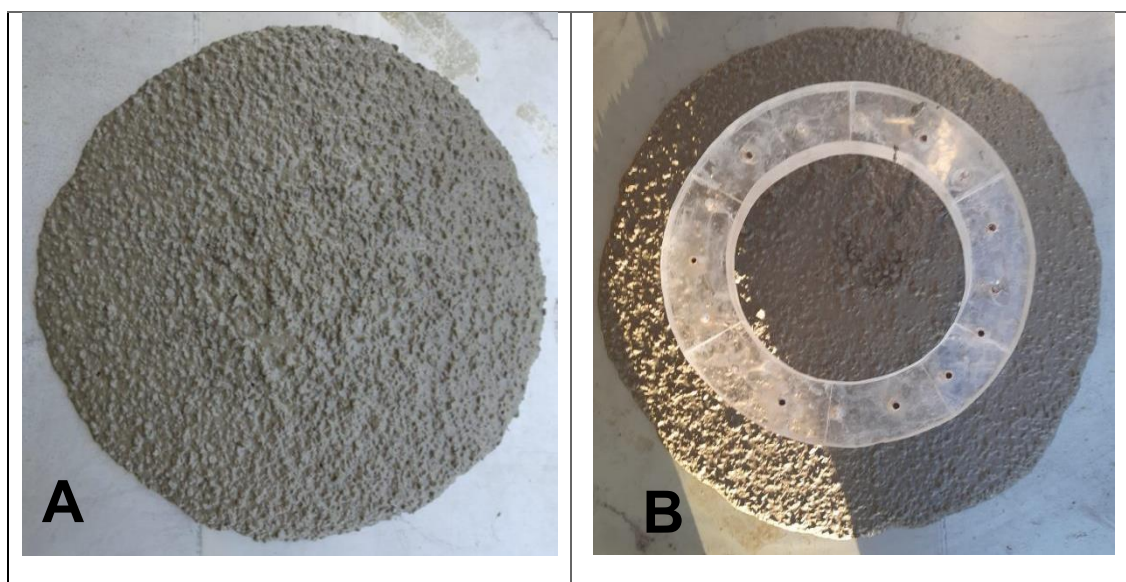
ENSAIO	ESPALHAMENTO	FUNIL-V	ANEL-J	CAIXA-L
Substituição (%)	Espalhamento (centímetros)	Espalhamento (minutos)	Espalhamento (centímetros)	Relação H ₁ e H ₂
AN100	65,25	3' 56"	59,25	0,86
AA50	69,25	4' 46"	65,25	0,95

Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados acima são utilizados para a classificação da fluidez, escoamento e habilidade passante do CAA que compõem requisitos de aceitação do concreto Auto Adensável no estado fresco.

Nas figuras 8 e 9 é possível observar o CAA com todos os parâmetros ideais, dentro do esperado, sem ocorrência de segregação, nem exsudação, boa habilidade passante, boa deformabilidade e trabalhabilidade, classificando assim como um concreto auto adensável.

Figura 8 - Ensaios na fase concreto em estado fresco. A) Espalhamento; B) Anel "J"; C) Caixa "L"; D) Funil "V".



Fonte: Autoria própria (2022).

Na Figura 8 o ensaio de espalhamento e anel "J" com os parâmetros ideais de mistura, caracterizando uma boa dosagem e deformações adequadas para o CAA.

Figura 9 - Ensaio na fase concreto: C) Caixa L; D) Funil V; E) Resistência a compressão.

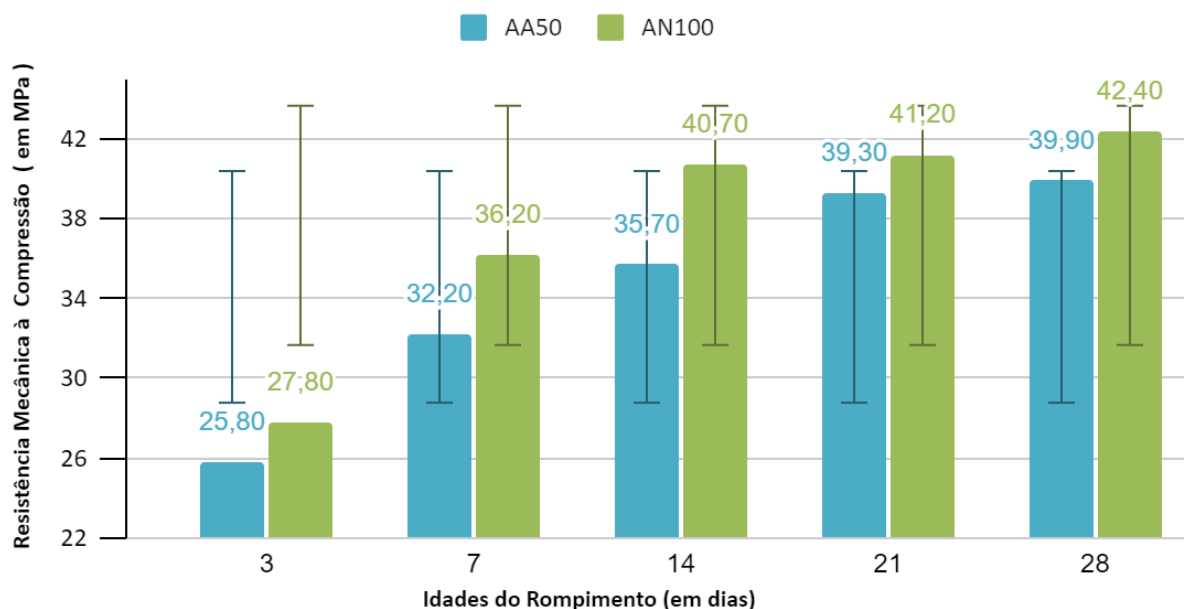


Fonte: Autoria própria (2022).

Na Figura 9 mostram-se os ensaios de caixa “L” e funil “V” sendo executados e os quais tiveram bons resultados.

Na Figura 10, estão agrupados os resultados da resistência à compressão média (fcm) para o CAA no estado endurecido para todas as idades de rompimento.

Figura 10 - Resultado dos ensaios de resistência à compressão no estado endurecido.



Fonte: Autoria própria (2022).

Conforme o gráfico de resistências acima há uma grande diferença de resistência entre o AA50 e AN100, ambos alcançaram a resistência mínima de 40 Mpa aos 28 dias, sendo que o AN100 já alcançou 40 Mpa logo aos 14 dias.

Como é possível observar na Figura 10, o traço AN100 obteve 5,9% a mais de resistência mecânica a compressão aos 28 dias que o traço AA50.

4.4 Estimativas de custos

Baseado no levantamento de custo realizado em três lojas de materiais de construção do município de São Carlos-SC, a Tabela 9 apresenta o custo do material constituinte do concreto por m³.

Tabela 9 - Custo dos materiais utilizados por metro cubico.

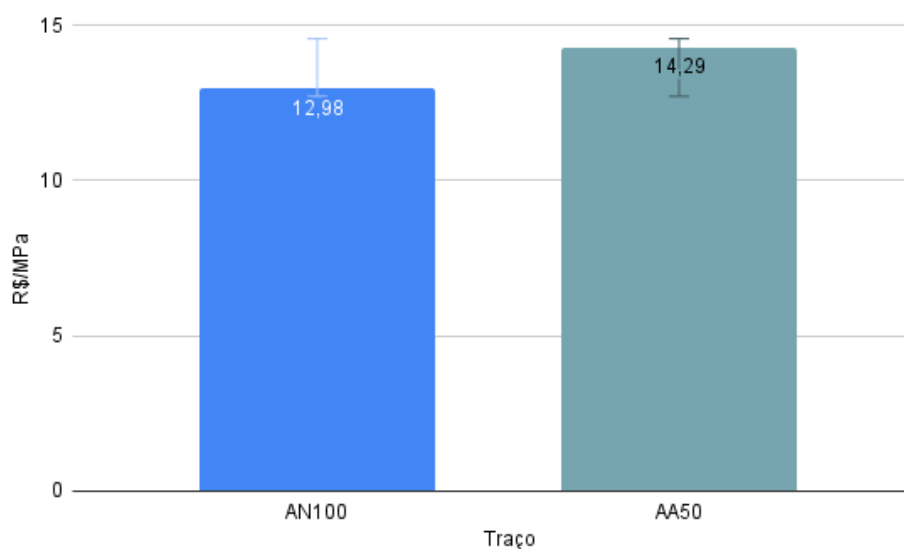
MATERIAL	Custo por m ³
Cimento CP V ARI	1250,00
Brita 0	50,00
Areia natural	118,50
Areia artificial	52,00
Aditivo SP40205 (1%)	30,40

Fonte: Autoria própria (2022).

Com os dados da Tabela 9 em kg dos dois traços confeccionados é possível comparar o custo estimado de cada concreto.

Atendendo aos custos relativamente elevados associados aos investimentos, estando a maioria do valor associada a infraestruturas e superestruturas de concreto armado, é importante a utilização de tecnologia que consiga reduzir custos sem perda de propriedade. Abaixo está representada a relação entre custo/ MPa, dos traços de concreto estudados:

Figura 11 - Relação custo/ MPa.



Fonte: Autoria própria (2022).

Mediante essa representação nota-se que há uma diferença significativa no custo final dos concretos estudados. Analisando essa relação de custo/m³ / Resistência, temos que o traço AN100 apresenta um custo benefício 10,09% melhor em comparação aos AA50.

Na Tabela 10 estão expostos o custo de cada material para os dois traços comparados, sendo visto que o concreto com substituição de 50% necessitou de maior quantidade de aditivo superplastificante para alcançar os parâmetros de fluidez do CAA, portanto teve um custo de 570,30 reais, enquanto o traço sem substituição 550,40 reais.

Tabela 10 - Custo por material para confecção de um metro cúbico de concreto auto adensável.

MATERIAIS	AN100	AA50
Cimento	356,6	356,6
Água	4,8	4,8
Areia natural	63,9	32,0
Areia artificial	0,0	18,5
Brita	35,4	35,4
Aditivo SP 40205	89,7	123,0
TOTAL=	550,4	570,3

Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados exibidos na Tabela 10 acima, mostram que o traço AA50 é 3,61% mais caro que AN100. Isso se deve em razão do módulo de finura da areia industrial por conter maior quantidade de finos necessita maior quantidade de aditivo, o qual o custo é elevado, logo, o custo final do concreto não é atraente.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos ao longo deste trabalho pode-se concluir que:

- A trabalhabilidade do CAA é influenciada pelo módulo de finura do agregado miúdo, onde o agregado com menor módulo de finura necessita de maior quantidade de aditivo para alcançar os mesmos parâmetros de fluidez.
- A resistência mecânica a compressão teve uma diferença significativa aos 28 dias entre os CAAs estudados, levando a conclusão que do ponto de vista mecânico a substituição não é viável.

- Com a análise de viabilidade econômica, o CAA com traço AN100 foi 3,61% mais barato que o AA50, devido ao menor percentual de aditivo superplastificante utilizado no traço AN100, portanto se torna economicamente inviável.
- Do ponto de vista técnico e econômico a substituição de areia natural pela artificial não trouxe bons resultados, porém, pensando na facilidade de transporte, utilizando materiais próximos da região e a grande produção de areia artificial na região, ao contrário da areia natural, a substituição da mesma pode ser feita em concreto auto adensável, conseguindo alcançar todos os parâmetros necessários, porém deve-se aprofundar os estudos para melhor análise.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregado para concreto: especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7681-2**: Calda de Cimento para Injeção Parte 2: Determinação do Índice de Fluidez e da Vida Útil - Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15823-2**: Concreto auto adensável. Parte 2 – Determinação do Espalhamento e do Tempo de Escoamento – Método do Cone de Abrams. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15823-3**: Concreto autoadensável. Parte 3 – Determinação da Habilidade Passante – Método do Anel J. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15823-4**: Concreto autoadensável. Parte 4 – Determinação da Habilidade Passante – Método da Caixa L. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15823-5**: Concreto autoadensável. Parte 5 – Determinação da Viscosidade – Método do Funil V. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 16607**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ALMEIDA, S. L. M.; SILVA, V. S. Areia artificial: uma alternativa econômica e ambiental para o mercado nacional de agregados. In: II SUFFIB – Seminário: O Uso da Fração Fina da Britagem, 2005, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: 2005.

BUTTNER, Alexandre Marques. Concreto com agregado graúdos reciclados de concreto – Influência da Idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

DE SOUZA, Diego Jesus; MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias; HOPE FILHO, Juarez. Avaliação do cimento Portland RS frente ao ataque por sulfato de sódio e magnésio: uma análise física e comparativa em argamassas. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 11, p. 1053-1075, 2018.

DRAGO, Cristina; VERNEY, José Carlos Krause de; PEREIRA, Fernanda Macedo.

Efeito da utilização de areia de britagem em concretos de cimento Portland. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 62, p. 399-408, 2009.

GOMES, P. C. C. Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete. Tese de Doutorado. Barcelona, 139 p., 2002.

MEHTA, P. K. & MALHOTRA, V. M. Pozzolanic and Cementitious Materials – Advances in concrete technology. Amsterdam, 1996.

MEHTA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2ª ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MELO, K.A. Consideração à Dosagem de Concreto Auto-Adensável com Adição de Fíler Calcário. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 180 p., Florianópolis, Santa Catarina, 2005

OKAMURA, Hajime; OUCHI, Masahiro. Concreto autoadensável. **Jornal de tecnologia avançada de concreto**, v. 1, n. 1, pág. 5-15, 2003.

PINTO, Tarcísio de Paula et al. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. **São Paulo**, v. 189, 1999.

REPETTE, W.L. Self-compacting concrete – a labor cost evaluation when used to replace traditional concrete in building construction. In: 5th International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Ghent, Bélgica, 2007.

RONCERO, J. Effect of superplasticizers on the behavior of concrete in the fresh and hardened states: implications for high performance concretes. Tese (Doutorado) - Universidade Politécnica de Barcelona. Barcelona, Espanha, 2000.

SILVA, Ana Gabriela Faria da. Mineração de dados textuais para a classificação da atividade econômica principal de empresas: uma proposta de aplicação em pesquisas econômicas. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2022.

SILVA, D.S.A. Influência da Forma do agregado graúdo nas propriedades mecânicas do concreto. 2018. Dissertação (Engenharia Civil), Universidade Federal de Goiás (UFG). Goiânia, 2018.

SILVA, G. B.; SOUZA, F. R.; GOMES, ACF. Caracterização tecnológica de resíduo de britagem e sua avaliação como areia artificial. Belo Horizonte- Minas Gerais, 2019.

SILVA, S. H. L. Desenvolvimento de formulação de argamassas autonivelantes para pisos e avaliação da retração por secagem. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil. Universidade Federal do Paraná (UFPR). 117 p., Curitiba, Paraná, 2016.

SIKA BRASIL. Ficha do produto. Aditivo plastificante com alto poder de redução de água para concreto convencional e bombeado. SikaPlast® 745. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/SikaPlast_745.pdf>. Acessado em 27 de dezembro de 2022.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. SNIC 50 Anos. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: www.snic.org.br. Acesso em: 21 de ago. 2022.

TIECHER, Francieli. Comparação de Concreto Dosado com Areia Natural e Artificial. IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto - 45º Congresso Brasileiro do Concreto. Vitória – Espírito Santo: IBRACON, 2003.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; DAL MOLIN, Denise Carpena. Concreto auto adensável. São Paulo: PINI, 2008.

WOLENSKI, A. R. V. Estudos Teórico e Experimental do Concreto Auto adensável frente ao emprego do Cimento CP IV e da Adição Mineral de Metacaulim. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Sinop, 2010.