

**INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

BEN-HUR RAÍRA MARTINS

ESTUDO DE DOSAGEM DE ARGAMASSA AUTOADENSÁVEL

FLORIANÓPOLIS, NOVEMBRO DE 2020

**INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

BEN-HUR RAÍRA MARTINS

ESTUDO DE DOSAGEM DE ARGAMASSA AUTOADENSÁVEL

Trabalho de conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora:

Profa Dra. Andrea Murillo Betioli

Co-orientador:

Prof. Dr. Alexandre Lima de Oliveira

FLORIANÓPOLIS, NOVEMBRO DE 2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Martins, Ben-Hur Raíra

Estudo de dosagem de argamassa autoadensável / Ben-Hur Raíra Martins ; orientação de Andrea Betioli; coorientação de Alexandre Oliveira. - Florianópolis, SC, 2020.

69 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil.

Inclui Referências.

1. Argamassa. 2. Autoadensável. 3. Dosagem. 4. Método.
I. Betioli, Andrea. II. Oliveira, Alexandre. III.
Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico
de Construção Civil. IV. Título.

ESTUDO DE DOSAGEM DE ARGAMASSA AUTOADENSÁVEL

Ben-Hur Raíra Martins

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 03 de novembro de 2020.

Banca Examinadora:

DocuSigned by:
Andrea Murillo Betioli
26932A45CA364F0...

Andrea Murillo Betioli, Dra.

DocuSigned by:
Alexandre Lima de Oliveira
6E75E7153BE6442...

Alexandre Lima de Oliveira, Dr.

DocuSigned by:
Gustavo Rodolfo Perius
28AED0B2AE5049E...

Gustavo Rodolfo Perius, Msc.

DocuSigned by:
Paulo Ricardo de Matos
C60505B3CE9C4FF...

Paulo Ricardo de Matos, Dr.

DocuSigned by:
Eduardo Nobre Guindani
1D337BE0AE9A4BA...

Eduardo Nobre Guindani, Msc.

Dedico esse Trabalho de Conclusão de Curso à minha vó e madrinha, Modestina Martins, que, do céu, cuida de mim e me guia nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

O percurso até chegar nesse trabalho de conclusão de curso e o desenvolvimento do mesmo só foi possível devido a ajuda de diversas pessoas, dentre as quais agradeço:

A minha família. Meu pai, Sidney José Martins, e minha mãe, Sandra Pereira Alves Martins, que sempre priorizaram meus estudos. Proporcionaram-me todo suporte necessário para realizar o sonho da graduação. Sempre com muito amor e carinho, abraçaram meus sonhos e minhas escolhas. Me fortaleceram a cada obstáculo que surgiu e comemoraram comigo cada conquista. Meus irmãos, Thalles Monã Martins e Aliathan Rudá Martins, me ajudando descontraír e a aliviar minha rotina para que eu pudesse dedicar-me sempre aos estudos quando fosse preciso.

A minha namorada, Isadora Perin Guimarães, que sempre me apoiou. Palavras de incentivo e motivação não faltaram. Responsável pelo exemplo de dedicação e de sempre buscar fazer o melhor. Compreensível com meus momentos de ausência por motivo de trabalhos, projetos e participação em congressos. Sua parceria e compreensão fizeram a diferença nessa reta final.

Aos professores do Instituto Federal de Santa Catarina por todos os ensinamentos e experiências proporcionadas. Em especial aos meus orientadores, Andrea Murillo Betioli e Alexandre Lima de Oliveira, que fizeram parte desse trabalho e foram fundamentais em minha vida acadêmica. A banca avaliadora que aceitou o convite para fazer parte deste trabalho. Sempre com ótimas sugestões e conselhos para a melhoria do mesmo. As empresas Itambé, Cedro Engenharia Comércio e Mineração e MC Bauchemie que forneceram os materiais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas de turma, de laboratório e de curso. Juntos conseguimos superar todas as provas, trabalhos e projetos. Amigos que o Instituto Federal de Santa Catarina me proporcionou e que levarei para sempre comigo.

Aos meus amigos que sempre torceram por mim. Acreditaram no meu potencial e não me abandonaram quando estive ausente por diversos motivos.

Por último, e mais importante, a Deus, sempre presente, que coloca em meu caminho pessoas especiais.

RESUMO

O contrapiso é uma camada de regularização do substrato – geralmente laje de concreto – com o objetivo de proporcionar uma superfície uniforme de apoio, coesa, aderido ou não, e adequada à camada de acabamento. As principais características que essa camada deve apresentar são: espessura adequada, rugosidade superficial, resistência mecânica, baixa porosidade e durabilidade. Os contrapisos podem ser feitos de argamassa convencional (do tipo “seca”) ou argamassa autoadensável. As argamassas autoadensáveis, conhecidas também como autonivelantes ou autoescoantes, são materiais que se adensam por ação da gravidade de forma coesa e homogênea. Esse material é constituído de aglomerante, agregado miúdo, água, aditivos químicos e, eventualmente, adições minerais. A utilização das argamassas autoadensáveis permite redução de mão de obra, maior produtividade, além de redução de patologias. Entretanto, o elevado consumo de cimento nestes materiais, a complexidade das formulações em relação às argamassas convencionais, a ausência de normatização e a inexistência de uma metodologia de dosagem consagrada tornam necessário um estudo de dosagem para a formulação das mesmas. Para tanto, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um estudo de dosagem que possibilite estabelecer uma metodologia que oriente a produção de argamassas autoadensáveis a partir dos materiais disponíveis localmente, considerando as exigências de desempenho no estado fresco e endurecido. Na parte experimental, foi possível aplicar a metodologia proposta, realizando a caracterização dos materiais, a composição do esqueleto granular com menor índice de vazios, permitindo um menor consumo de pasta cimentícia e eliminar a utilização de aditivo modificador de viscosidade. Foram desenvolvidas três argamassas e a partir da caracterização das mesmas desenvolveu-se o diagrama de dosagem e as equações de apoio. Por fim, simulou-se a aplicação das fórmulas desenvolvidas através do método de dosagem proposto.

Palavras-chave: Argamassa Autoadensável. Dosagem. Método.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da quantidade de publicações sobre argamassa autoadensável ao longo dos anos	19
Figura 2 - Bombeamento de contrapiso autoadensável	21
Figura 3 - Ensaio de espalhamento utilizando o mini tronco de cone para argamassa autoadensável	29
Figura 4 - Argamassa com sinais de exsudação e segregação durante o ensaio de espalhamento	30
Figura 5 - Funil V para avaliar o tempo de escoamento de argamassas autoadensáveis	30
Figura 6 - Procedimento de dosagem EFNARC (2005) para concretos autoadensáveis	34
Figura 7 - Fluxograma resumido da metodologia desenvolvida por Petersson et al. (1996) para concretos autoadensáveis	34
Figura 8 - Fluxograma da metodologia adotada por Repette-Melo (2005) para concretos autoadensáveis	35
Figura 9 - Fluxograma da metodologia desenvolvida por Tutikian (2004) para concretos autoadensáveis	36
Figura 10 - Fluxograma da metodologia de dosagem proposta	38
Figura 11 - Cilindro espanhol e dimensões	40
Figura 12 - Argamassadeira utilizada para o desenvolvimento das pastas cimentícia e das argamassas autoadensáveis	41
Figura 13 - Procedimento de mistura das argamassas autoadensáveis	44
Figura 14 - Ensaio de resistência à tração na flexão	45
Figura 15 - Ensaio de resistência à compressão	45
Figura 16 - Granulometria a laser do cimento CP-II-F-32 e do fíler calcário	48
Figura 17 - Micrografia do fíler calcário	49
Figura 18 - Composição granulométrica dos agregados miúdos	49
Figura 19 - Imagem dos grãos de areia de rio (a) e areia de britagem (b) retidas na peneira #2,4 mm	50
Figura 20 - Avaliação do tempo de escoamento no cilindro espanhol	51
Figura 21 - Tempo de escoamento das pastas logo após o preparo da mistura	51
Figura 22 - Influência do teor de aditivo na pasta cimentícia com o tempo	52

Figura 23 - Índice de vazios da composição entre areia de rio e areia de britagem..	53
Figura 24 - Índice de vazios da composição de areia de britagem, areia de rio e fíler calcário.....	54
Figura 25 - Composição final do esqueleto granular (em massa)	54
Figura 26 – Espalhamento da argamassa autoadensável com $a/c = 0,60$	57
Figura 27 - Espalhamento da argamassa autoadensável com $a/c = 0,73$	57
Figura 28 - Espalhamento da argamassa autoadensável com $a/c = 0,85$	58
Figura 29 - Relação resistência à compressão x relação água/cimento	59
Figura 30 - Relação agregado/cimento x água/cimento	60
Figura 31 - Relação consumo de cimento x relação agregado/cimento.....	60
Figura 32 - Diagrama de dosagem.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Formas de aplicação da argamassa autoadensável	21
Tabela 2 - Classificação das adições	25
Tabela 3 - Classes de resistências segundo a UNE-EN 13813 (AENOR, 2014)	32
Tabela 4 - Situações de utilização de argamassa autoadensável e resistência à compressão mínima a ser adotada	32
Tabela 5 - Resultados das argamassas em estudos anteriores.....	40
Tabela 6 - Traço das pastas cimentícia ensaiadas, kg/kg em relação a massa de cimento.....	41
Tabela 7 - Propriedades físicas do CP-II-F-32	47
Tabela 8 - Propriedades químicas do CP-II-F-32	47
Tabela 9 - Diâmetros referentes a 10%, 50% e 90% do material passante	48
Tabela 10 - Caracterização dos agregados miúdos	49
Tabela 11 - Características do aditivo superplastificante	50
Tabela 12 – Composição (em massa) de areia de britagem e areia de rio	52
Tabela 13 - Valores de massas específicas, massas unitárias e índice de vazios....	53
Tabela 14 - Composição resumida (kg/kg) em relação à massa de cimento Portland	55
Tabela 15 - Composição detalhada (kg/kg) em relação à massa de cimento Portland	55
Tabela 16 - Consumo de materiais, em kg/m ³	55
Tabela 17 - Volume de finos das argamassas desenvolvidas.....	56
Tabela 18 - volume de pasta cimentícia das argamassas.....	56
Tabela 19 - Resultados dos ensaios no estado fresco das argamassas autoadensáveis formuladas.....	56
Tabela 20 - Propriedades no estado endurecido das argamassas autoadensáveis formuladas.....	59
Tabela 21 - Equações para metodologia de dosagem	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	14
1.1.1	Justificativa tecnológica	15
1.1.2	Justificativa econômica	15
1.1.3	Justificativa ambiental	16
1.2	Objetivo	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	Argamassa autoadensável	18
2.2	Materiais constituintes	22
2.2.1	Cimento Portland	23
2.2.2	Agregado miúdo.....	23
2.2.3	Adição mineral	24
2.2.4	Aditivos	26
2.3	Propriedades da argamassa autoadensável	28
2.3.1	Estado fresco	28
2.3.2	Estado endurecido	30
2.4	Métodos de dosagem	32
2.4.1	Método de dosagem da EFNARC para concretos autoadensáveis.....	33
2.4.2	Método de dosagem Petersson <i>et al.</i> (1996) para concretos autoadensáveis.....	34
2.4.3	Método de dosagem Repette-Melo (2005) para concretos autoadensáveis.....	35
2.4.4	Método de dosagem de Tutikian (2004) para concretos autoadensáveis.....	36
3	METODOLOGIA.....	37
3.1	Escolha e caracterização dos materiais	38
3.2	Determinação do teor de aditivo e quantidade de água	39
3.3	Composição do esqueleto granular	42
3.4	Desenvolvimento das argamassas autoadensáveis.....	43
3.5	Propriedades mecânicas das argamassas autoadensáveis.....	44
3.6	Determinação do diagrama de dosagem e desempenho	45

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1	Caracterização dos materiais	47
4.1.1	Cimento.....	47
4.1.2	Fíler calcário.....	48
4.1.3	Agregado Miúdo.....	49
4.1.4	Aditivo superplastificante	50
4.1.5	Água de amassamento	50
4.2	Teor de aditivo e quantidade de água	51
4.3	Composição do esqueleto granular	52
4.4	Desenvolvimento das argamassas autoadensáveis.....	55
4.5	Ensaio das propriedades mecânicas	58
4.6	Diagrama de dosagem	59
5	Considerações finais	62
6	Sugestões para futuros trabalhos.....	63
	REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

A construção civil atravessa um período de transição em que os profissionais e empresas da área almejam técnicas e processos mais eficazes e eficientes, visando redução de custos e melhor qualidade no produto final. Soluções técnicas construtivas que otimizam o processo, reduzindo tempo e mão de obra são desejáveis e necessárias. Muitos materiais de construção civil estão em constante processo de inovação e aprimoramento devido a sua importância estrutural para a edificação. Entretanto, há materiais de construção que não recebem a mesma importância e tem seus processos de inovação mais morosos mesmo com seu aprimoramento sendo importante para uma melhor qualidade e menor custo do produto final.

A argamassa para contrapiso é um destes materiais que sofre com um processo evolutivo tecnológico mais lento. O contrapiso, segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013) é uma camada com função de regularização do substrato (normalmente laje de concreto), proporcionando uma superfície uniforme de apoio, coesa, aderido ou não e adequada à camada de acabamento, podendo, também, servir como camada de embutimento, caimento ou declividade. De acordo com Godoy e Barros (2000 *apud* BORGES, 2015), o contrapiso de argamassa deve apresentar características como espessura, rugosidade superficial, resistência mecânica, porosidade e durabilidade. A sua aplicação, encarada como uma atividade secundária – não é contemplada com um projeto específico – é deixada ao domínio do operário que, geralmente, não considera as variáveis que influenciam no processo de produção (BARROS; SABBATINI, 1991).

As argamassas para contrapiso são produzidas com cimento e areia em proporções tais que garantam um bom acabamento superficial de baixa porosidade (RECENA, 2015). Atualmente, são utilizados dois tipos de argamassas para contrapiso: (1) argamassa convencional (do tipo “farofa”), mais usual, e (2) argamassa autoadensável.

O método convencional é feito, geralmente, com uma argamassa seca (tipo “farofa”), energeticamente apiloada contra a base e tem espessura variável (SOUZA, 2013). O contrapiso autoadensável é executado a partir de uma argamassa com elevada fluidez que tem capacidade de auto adensamento através de ação da

gravidade. Esse material também é conhecido como autonivelante ou autoescoante (BRANCO; BRITO, 2014). Katsiadramis *et al.* (2010) definem essa argamassa como material homogêneo com propriedade de fluir e se espalhar sem ou com mínimo esforço mecânico. São constituídas de aglomerantes, agregados, adições minerais e aditivos químicos. A elevada fluidez e coesão necessárias para que a argamassa autoadensável cumpra sua função por completo são alcançadas por uma dosagem otimizada (CARVALHO, 2015).

As argamassas autoadensáveis se adensam de forma coesa e homogênea, permitindo, assim, a minimização de problemas com execução, como segregação dos agregados (CARVALHO, 2015). Esse modelo de aplicação permite um controle tecnológico mais eficiente, menor quantidade de mão de obra na etapa de execução e maior produtividade. Tais fatores contribuem para o crescente uso deste material nas obras.

Apesar do estudo de Nakakura e Bucher (1997) sobre pisos autonivelantes, pesquisadores e empresas brasileiras, segundo Martins (2009), começaram a estudar este material somente no início do ano de 2008 e suas primeiras formulações utilizadas no Brasil são provenientes da Europa.

Como ainda não há uma normatização nacional para este material, alguns trabalhos foram desenvolvidos partindo-se, por exemplo, da dosagem da pasta para ajuste dos teores dos aditivos, de traços de pesquisas internacionais ou de traços fornecidos por fabricantes.

Seguindo uma ordem cronológica, Martins (2009) propôs um procedimento para dosagem de pastas para argamassas autonivelantes; com base nessa metodologia e partindo das formulações com desempenho adequado, Pinto (2011) testou aditivos de outro fabricante e Souza, Ferreira e Azevedo (2012) avaliaram diferentes formulações de argamassas autoadensáveis nos estados fresco e endurecido, além de simularem uma aplicação prática do contrapiso em obra.

Souza (2013) fez uma análise do desempenho do contrapiso sistema tradicional (“farofa”) em relação ao autonivelante, cujos traços foram baseados em um traço padrão recomendado pelo fabricante.

Melo (2015) elaborou os traços das argamassas também a partir do estudo em pastas. Carvalho (2015) analisou a retração por secagem em argamassas autoadensáveis dosadas com base em pesquisas internacionais. Silva (2016) avaliou

a influência do uso de fibras e adição mineral em substituição ao cimento na retração por secagem em argamassas autoadensáveis com base no estudo de Souza, Ferreira e Azevedo (2012). Inéia (2017) estudou a substituição de areia natural por areia de britagem em argamassas autoadensáveis com traços baseados no estudo de Martins (2009).

Como pode se observar, não há um método de dosagem consagrado para a argamassa autoadensável e pôde-se constatar que muitas dessas pesquisas utilizaram traços ricos em consumo de cimento. Souza, Ferreira e Azevedo (2012) formularam argamassas autoadensáveis nas proporções de 1:1,25 (cimento:areia, em massa); Carvalho (2015) utilizou um traço de 1:2 (cimento:areia, em massa); Silva (2016) utilizou uma formulação, adaptada de Souza, Ferreira e Azevedo (2012), com a proporção 1:2,5 (cimento:areia, em massa).

Esses elevados consumos de cimento necessitam ser revistos uma vez que, segundo Bauer e Sousa (2005 *apud* SILVA, 2016), argamassas com alto consumo apresentam um maior risco de fissuração. Além disso, há uma preocupação com o impacto ambiental, uma vez que a indústria do cimento é responsável por aproximadamente 5% de toda emissão de CO₂ (WBCSD/CSI, 2016).

Mesmo com a intensificação dos estudos na área acadêmica e da difusão da aplicação das argamassas autoadensáveis, a ausência de normatização e métodos de dosagem são problemas que necessitam ser solucionados. Um método de dosagem para argamassas pode otimizar o desempenho em relação ao consumo de cimento, proporcionando os requisitos necessários para fluidez e coesão, no estado fresco, e para resistência, no estado endurecido.

1.1 Justificativa

A argamassa autoadensável pode ser interpretada como um avanço na execução de contrapisos de regularização. Entretanto, a ausência de uma metodologia de dosagem para esses compósitos cimentícios é um entrave. O desenvolvimento de um método que proporcione uma argamassa autoadensável com os desempenhos físicos e mecânicos adequados, além do melhor custo possível de acordo com os materiais disponíveis se sustenta nos quesitos tecnológicos, econômicos e ambientais.

1.1.1 Justificativa tecnológica

As argamassas autoadensáveis são produtos definidos como revestimento contínuo, podendo ser aplicados diretamente sobre o substrato, aderido ou não, ou sobre uma capa intermediária isolante, com o objetivo de alcançar um determinado nível, receber o revestimento final ou servir como revestimento final (AFAM, 2005). Essas argamassas apresentam diversas vantagens como homogeneidade, facilidade e rapidez na aplicação. Entretanto, a garantia dessas vantagens ocorre apenas com uma dosagem adequada dos materiais constituintes.

A composição da argamassa está condicionada aos requisitos de desempenho físicos e mecânicos estabelecidos, além da durabilidade. Lara *et al.* (1995 *apud* SANTOS, 2014) afirmam que o adequado desempenho da argamassa depende fundamentalmente da correta escolha dos materiais e de sua proporção, resultado de uma metodologia de dosagem. Além disso, Nenevê (2017) destaca que uma boa capacidade de fluxo, por sua propriedade de autonivelamento, além de forma homogênea e coesa é obtida por meio de uma otimização da dosagem.

Enquanto concretos autoadensáveis possuem diversos métodos de dosagem difundidos como o método estabelecido pela EFNARC (2005), de Tutikian (2004), entre outros, citados por Gomes e Barros (2009), as argamassas autoadensáveis não possuem métodos de dosagem conhecidos. Com isso, torna-se importante um estudo que proponha um método de dosagem para argamassas autoadensáveis.

1.1.2 Justificativa econômica

A produtividade da argamassa autoadensável para contrapiso, em relação a argamassa “farofa” para contrapiso, é destacada por Nakakura e Bucher (1997): enquanto o contrapiso convencional tem uma produtividade de 5 a 10 m².h por homem, o autoadensável tem uma produtividade de 50 a 100 m².h por homem. Entretanto Ortega (2003 *apud* MARTINS, 2009) apresenta o custo da argamassa autoadensável sendo aproximadamente três vezes maior do que a argamassa convencional.

Um método de dosagem visa obter o traço mais econômico possível dentro das limitações impostas como materiais disponíveis, por exemplo. Helene e Terzian (1992) ressaltam que um estudo de dosagem para uma construtora conseguiu obter uma redução de 40 kg de cimento por metro cúbico. A proposição de um método de dosagem para argamassa autoadensável pode auxiliar na redução no consumo do cimento, obtendo composições mais econômicas. Além disso, é possível, com uma melhor composição, reduzir as possibilidades de fissuração, aumentando a durabilidade do contrapiso.

1.1.3 Justificativa ambiental

Um método de dosagem deve estar pautado, também, na sustentabilidade. Além de atingir os requisitos de desempenhos almejados, o traço deve ser econômico e racionalizar materiais, se possível, utilizando materiais alternativos.

A racionalização dos materiais é um fator importante na construção civil. Segundo Beltrame (2013 *apud* OLIVEIRA, 2015), a construção civil gera de 35% a 40% de todo resíduo produzido na atividade humana; 34% do consumo mundial de água; além de, no Brasil, a construção civil consumir 50% da energia elétrica e 20% do total de energia produzida no Brasil.

Através do estudo de uma metodologia de dosagem, é possível avaliar a utilização de resíduos e/ou adições minerais que irão auxiliar na redução do consumo de cimento e, assim, também, reaproveitar resíduos gerados pela indústria da construção civil; como exemplo a utilização de areias naturais provenientes da britagem de rochas na composição dos agregados, uma vez que o processo de extração de areia natural, devido ao Código Florestal Brasileiro de 1965 – lei 4.771/65 –, foi dificultado. Em resumo, um método de dosagem é fundamental para proporcionar racionalmente os materiais constituintes, além de viabilizar a utilização de materiais alternativos através de ensaios de caracterização.

1.2 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo propor uma metodologia de dosagem que permita produzir argamassas autoadensáveis a partir de materiais disponíveis, considerando as exigências de desempenho no estado fresco e estado endurecido.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção abordará uma revisão bibliográfica sobre argamassa autoadensável, ressaltando itens como: materiais constituintes, caracterização no estado fresco, normatizações existentes e métodos de dosagens para argamassa convencional e concreto autoadensável (uma vez que não se encontra métodos de dosagem para argamassa autoadensável). Esses itens irão auxiliar na formulação de uma metodologia que possibilite esta pesquisa chegar ao seu objetivo final.

2.1 Argamassa autoadensável

Segundo Anderberg (2007 *apud* RUBIN, 2015), o primeiro composto autonivelante para pisos, conhecido como “*self-leveling flooring compound*”, foi desenvolvido por Nils Johansson, na Finlândia, e lançado no mercado da construção civil em 1977. Nils Johansson tinha por objetivo inicial criar uma maneira fácil de nivelar pisos de concreto, antes de aplicar o revestimento final, evitando a necessidade de um tratamento na superfície.

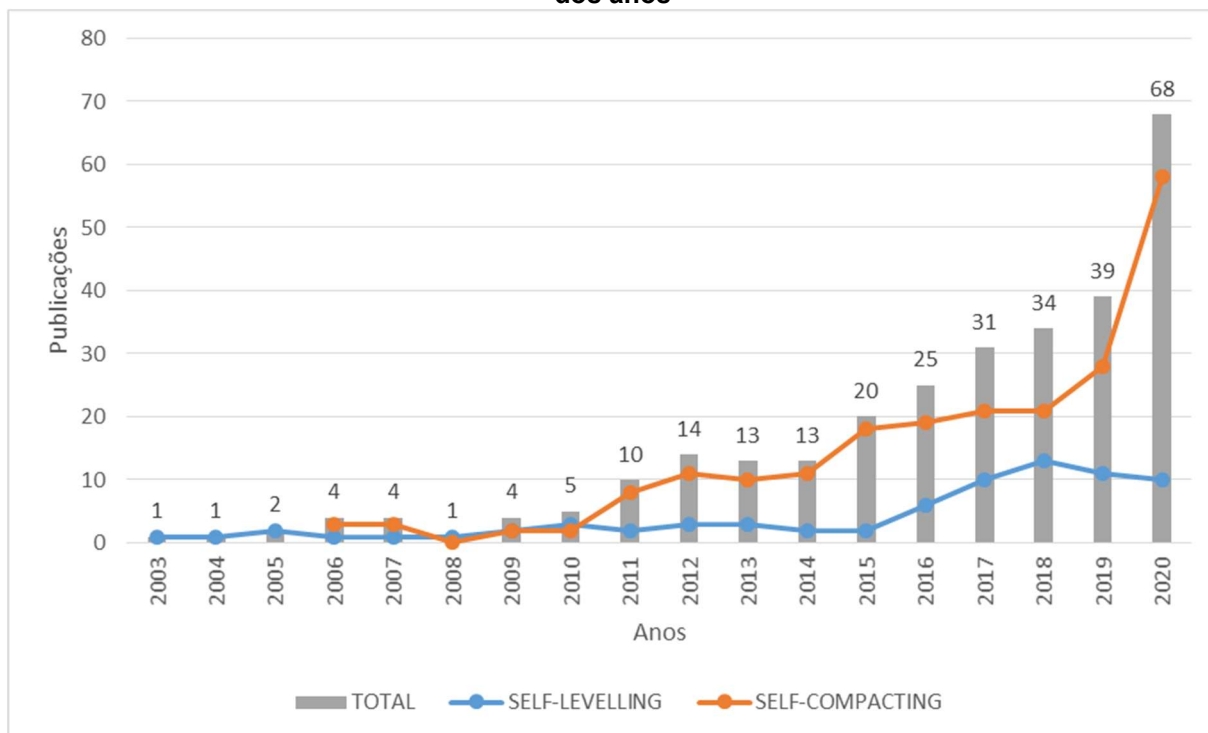
De acordo com Martins (2009), os primeiros estudos sobre argamassa autoadensável propriamente dito, datam da década de 1980, na Europa. Já no Brasil, há registros de estudos sobre materiais autonivelantes a partir década de 1990. Nakakura e Bucher (1997) desenvolveram um estudo sobre as propriedades e execução de pisos autonivelantes.

Apenas durante os anos 2000 os pesquisadores e empresas aprofundaram o conhecimento a respeito destes materiais. O Reino Unido, de acordo com Rubin (2015), publicou as primeiras normas de desempenho para os produtos de revestimento de pisos, incluindo argamassa autoadensável. Alguns anos depois, surgiu a UNE EN 13.318 (2014), documento normativo da Associação Espanhola de Normatização e Certificação (AENOR), que define e estabelece parâmetros para as argamassas autoadensáveis. Já as normas Norte Americanas, apenas a partir de 2011, determinaram especificações e testes de padronização para as argamassas autoadensáveis.

A Figura 1 apresenta um levantamento do crescimento das publicações – através de uma busca no portal *ScienceDirect* pelas palavras-chave “*self levelling*

mortar” e *self compacting mortar*” – durante os últimos anos. Esse levantamento é do início de 2003 até outubro de 2020. Optou-se por essas palavras-chave uma vez que são consideradas sinônimos, em inglês, para argamassa autoadensável.

Figura 1 - Evolução da quantidade de publicações sobre argamassa autoadensável ao longo dos anos



Fonte: Autor

Georgin *et al.* (2008 *apud* SCHAEFER, 2013) define argamassa autoadensável como um produto de elevada fluidez constituído por aglomerante, areia, água e aditivos, preparado industrialmente em central, transportado por caminhão betoneira e lançado por bombeamento. Martins (2009) define argamassa autoadensável, do ponto de vista reológico, como uma suspensão de partículas, ou seja, mistura tipo sólido/líquido na qual as partículas se distribuem de forma relativa e uniforme através do meio líquido. Já Chaves (2019) denomina argamassa autoadensável como um produto de elevada fluidez, capaz de se auto adensar, sem segregar, mantendo-se coesa e homogênea.

Essa argamassa, assim como o concreto autoadensável, tem a capacidade de preencher todo canto de uma forma simplesmente por meio do seu peso próprio e sem a necessidade de equipamento de vibração (OKAMURA, 1997 *apud* GOMES; BARROS, 2009). A ausência da vibração e da compactação no processo construtivos

resulta em um alívio nos impactos estruturais quando se utiliza argamassa ou concreto autoadensável (NGUYEN, 2019).

A capacidade de se autoadensar é obtida da mesma forma para concretos e argamassas autoadensáveis. Rubin (2015) afirma que o adensamento e compactação são realizados pela ação da gravidade, com seu peso próprio. Segundo Gomes e Barros (2009) a autoadensabilidade é obtida com o equilíbrio entre alta fluidez e moderada viscosidade. A alta fluidez provém da utilização de aditivos superplastificantes e a moderada viscosidade e coesão são consequências do incremento de um percentual adequado de adição mineral com granulometria fina e/ou aditivos modificadores de viscosidade.

De acordo com Seifert et. al. (2011 *apud* SOUZA; FERREIRA; AZEVEDO, 2012), as propriedades que compostos autoadensáveis precisam apresentar, em ordem de importância, são:

- a) autonivelamento;
- b) baixa viscosidade;
- c) rápida fixação;
- d) rápido endurecimento;
- e) rápido ganho de resistência;
- f) estabilidade dimensional;
- g) durabilidade;
- h) resistência de superfície;
- i) forte adesão ao substrato.

Essas propriedades devem ser mensuradas – qualitativa e quantitativamente – em ensaios que representem seu comportamento na aplicação.

A argamassa autoadensável destaca-se, em relação à argamassa convencional (tipo “farofa”), nas etapas de fornecimento e aplicação. No Brasil existem 2 tipos: a ensacada, necessitando apenas misturá-la com água antes de sua aplicação; e a dosada e produzida em central, sendo transportada até a obra por caminhão betoneira. As duas podem ser transportadas através de um sistema bombeável, todavia, a ensacada necessita de argamassadeira acoplada à bomba e de maior mão de obra do que a dosada em central (SOUZA, 2013).

A aplicação das argamassas autoadensáveis, devido a sua fluidez, proporciona maior produtividade (SCHAEFER, 2013). Branco e Brito (2014)

apresentam resultados afirmando que reduziram aproximadamente 50% do tempo na atividade de contrapiso de um pavimento de 164,66 m² quando utilizaram argamassa autoadensável no lugar da argamassa convencional.

A aplicação do contrapiso autoadensável, dosado em central, é feita através de uma mangueira acoplada a uma bomba que ajuda a espalhar essa argamassa em moldes, formas ou lonas plásticas (GAMA, 2017). A AFAM (2005) classifica as argamassas quanto à espessura de aplicação, sendo classificadas como argamassas autoadensáveis de camada fina – espessura que varia de 2 a 30 mm – e argamassas autoadensáveis de camada grossa – espessura mínima de 35 mm. A Tabela 1 apresenta as principais formas de aplicação das argamassas autoadensáveis segundo Schaefer (2013).

Figura 2 - Bombeamento de contrapiso autoadensável



Fonte: GAMA (2017)

Tabela 1 - Formas de aplicação da argamassa autoadensável

Aplicação:	Descrição:
Aderente	Argamassa autoadensável é disposta em uma base cimentícia
Dessolidarizada	Assentada sobre filme plástico que atua como camada de deslizamento
Flutuante	Executada sobre uma camada isolante térmica e/ou acústica
Aquecimento	Lançada sobre tubulação para aquecimento de piso

Fonte: Schaefer (2013)

A execução não padronizada por norma proporciona que cada fabricante tenha pequenas divergências quanto ao processo de execução, mas, de forma resumida, segundo Rubin (2015), as etapas de execução são:

- a) preparo da laje – eliminação de sujeiras, resíduos, partículas soltas ou material aderido que impeça uma correta aderência do produto ao substrato;
- b) colocação de juntas e barreiras de contenção – atenção as juntas estruturais e colocação das juntas de espuma em todo o perímetro do ambiente, entre o futuro contrapiso e a alvenaria;
- c) lançamento e aplicação;
- d) nivelamento – verificação do nível para controle da espessura;
- e) acabamento – acabamento superficial e eliminação de possíveis bolhas de ar;
- f) cura – não há padronização ou normatização brasileira, com isso, alguns fabricantes recomendam cura com o umedecimento superficial e cobrimento do piso, outros, que se dê ao ambiente (BARROS, 2013 *apud* RUBIN, 2015).

2.2 Materiais constituintes

“Em qualquer método de dosagem, um dos primeiros passos é a seleção dos componentes da mistura”. (GOMES; BARROS, 2009). O parâmetro adotado para seleção dos materiais será o mesmo utilizado para concreto autoadensável. O concreto autoadensável possui os mesmos componentes utilizados nos concretos convencionais, acrescentando, aditivos e adições.

Nas argamassas autoadensáveis, encontram-se todos esses materiais, com exceção do agregado graúdo. Nakakura e Bucher (1997) caracterizam a composição da argamassa autoadensável com os seguintes materiais: cimento Portland (25 a 45% da massa total); areia fina quartzosa (de 40 a 60%); aditivos químicos e adições minerais (10 a 15%); e água de amassamento (20 a 30%).

2.2.1 Cimento Portland

Todos os tipos de cimento Portland podem ser utilizados na produção de argamassa autoadensável. “Todos os tipos de cimento produzidos no Brasil têm características que os qualificam para uso geral, no entanto, alguns tipos são mais adequados a algumas aplicações” (BATTAGIN; BATTAGIN, 2017). A escolha correta, segundo Gomes e Barros (2009), depende das exigências específicas de cada aplicação. Nakakura e Bucher (1997) recomendam cimento Portland de alta resistência inicial uma vez que cimentos mais finos ajudam na coesão das argamassas e reagem mais rápido, proporcionando ganhos de velocidade de execução.

De acordo com Chaves (2016), o cimento deve apresentar características que vão influenciar nas propriedades mecânicas e reológicas almejadas para as argamassas autoadensáveis, como elevada resistência à compressão, alta fluidez e aumento da reatividade física e velocidade das reações químicas durante a pega e o endurecimento da argamassa.

A finura e a capacidade de adsorver o aditivo superplastificante, de acordo com Martins (2009), são as principais características que o cimento deve apresentar para a produção de argamassa autoadensável. Felekoglu *et al* (2006) afirma que o aumento do teor de finos em cimento provoca a modificação das propriedades reológicas das pastas cimentícias e, conseqüentemente, influencia a trabalhabilidade das argamassas. Entretanto, cimentos mais finos implicam em reações de hidratação mais rápidas, tornando o material mais susceptível ao processo de retração e fissuração (SILVA, 2016).

2.2.2 Agregado miúdo

A escolha do agregado miúdo é determinada tanto pelo seu efeito na demanda de água como pelo empacotamento físico (MENDES, 2002 *apud* SOUZA; FERREIRA; AZEVEDO, 2012). Para Martins (2009) e Souza (2013), o agregado miúdo para argamassa autoadensável deve ser escolhido em função de sua composição granulométrica. EFNARC (2002) recomenda que o volume de areia nas argamassas autoadensáveis esteja entre 40 e 50%, dependendo das propriedades da

pasta. O agregado miúdo, presente nas composições de argamassa autoadensável, pode ser natural de rio ou de britagem.

As areias naturais de rio são mais recomendadas por possuírem uma forma mais arredondada e textura mais lisa enquanto as areias de britagem, além de apresentarem essa desvantagem na forma, apresentam, ainda, uma composição granulométrica com descontinuidades (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2017). Entretanto, essas descontinuidades podem ser corrigidas com composição de areia de britagem com areia natural. Chaves (2016) recomenda a utilização de areias naturais com granulometria mais fina.

As areias com grãos mais arredondados e lisos, para uma mesma quantidade de água, aumentam a fluidez da argamassa, por isso são preferíveis. Segundo Okamura e Ouchi (2003 *apud* TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2017) quanto mais angulosas forem as partículas da areia, maior será a resistência ao cisalhamento, dificultando a deformabilidade no estado fresco.

As descontinuidades presentes na composição granulométrica aumentam o volume de vazios a ser preenchido pela pasta aglomerante (CARASEK, 2017). Assim, quanto maior for o volume de vazios, maior será a necessidade de pasta aglomerante, aumentando, assim, o potencial de retração e o custo do material.

2.2.3 Adição mineral

A ASTM C 125 define aditivo/adição como qualquer material – que não seja água, agregados, cimentos hidráulicos ou fibras – usado como ingrediente do concreto ou argamassa e adicionado à massa imediatamente antes ou durante a mistura (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Gomes e Barros (2009) definem adições minerais como materiais finamente moídos que são incorporados ao concreto com finalidade de obter características específicas, como melhorar a trabalhabilidade. As adições, segundo a EFNARC (2005), são comumente utilizadas para melhorar a coesão e a resistência à segregação.

Rizwan e Bier (2011) ressaltam que engenheiros e cientistas tentam utilizar adições minerais para otimizar propriedades como demanda de água, quantidade de

cimento, fissuração e empacotamento das partículas para obter maior resistência mecânica e durabilidade.

Segundo Cavalcanti (2006 *apud* GOMES; BARROS, 2009), as adições podem ser classificadas como predominantemente inertes (API) ou predominantemente reativas (APR). Já a EFNARC (2005) classifica as adições de acordo com sua capacidade de reação com a água, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação das adições

Tipo I	Inerte ou semi-inerte	Fino mineral (fíler calcário, dolomítico, etc)
Tipo II	Pozolânicas	Cinza volante, conforme EN 450 Sílica ativa, conforme EN 13263
	Hidráulicas	Escória de alto forno

Fonte: EFNARC (2005)

Os finos minerais, adições do Tipo I, são definidos como “material proveniente do britamento de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 0,075mm”. Essas adições do Tipo I podem auxiliar na durabilidade do concreto ou argamassa através do efeito físico. O efeito físico pode ser desdobrado em três ações: o efeito fíler; o refinamento da estrutura de poroso e dos produtos de hidratação do cimento; e a alteração da microestrutura da zona de transição (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015).

As adições do Tipo II podem melhorar significativamente a durabilidade (GOMES; BARROS, 2009). O efeito químico das adições do Tipo II ocorre a partir da capacidade de reação com o hidróxido de cálcio – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – o qual ocupa os vazios de maiores dimensões existentes na pasta de cimento ou na zona de transição, aumentando o desempenho mecânico e a durabilidade (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015). Esses materiais pozolânicos, segundo Mehta e Monteiro (2008), podem ser classificados como materiais pozolânicos naturais – derivadas de rochas e minerais vulcânicos – ou materiais de subprodutos como, por exemplo, a cinza volante, sílica ativa e cinza de casca de arroz.

Em argamassas autoadensáveis, as características no estado fresco, resistência mecânica e durabilidade podem ser aprimoradas através da utilização de adições minerais inertes ou pozolânicas (FELEKOGU *et al.*, 2006). Segundo Felekoglu *et al.* (2006), essas alterações são devido às propriedades físico-químicas dessas adições como formato da partícula, textura superficial, porosidade superficial

e taxa de adsorção de superplastificante, energia de superfície, teor de fração mais fina, finura e distribuição granulométrica da partícula.

2.2.4 Aditivos

A argamassa autoadensável, assim como o concreto autoadensável, tem como um dos diferenciais dos materiais convencionais, a presença de aditivos em sua composição. Os principais aditivos utilizados são: aditivo superplastificante e aditivo modificador de viscosidade. Os aditivos superplastificantes permitem alcançar a fluidez necessária para a mistura, enquanto o aditivo modificador de viscosidade proporciona um aumento da coesão.

2.2.4.1 Aditivo superplastificante

Também conhecido como aditivo redutor de água de alta eficiência, os superplastificantes consistem de surfactantes aniônicos de cadeia longa, de alta massa molecular (20.000 a 30.000) com um grande número de grupos polares na cadeia de hidrocarbonetos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Os aditivos superplastificantes à base de policarboxilatos apresentam-se como mais adequados para compósitos autoadensáveis devido a sua maior eficiência (KRAUS, 2006). Esses aditivos dispersam e desfloculam as partículas de cimento, permitindo a redução da água das misturas em até 40%, mantendo a mesma trabalhabilidade (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), os aditivos superplastificantes quando adsorvido nas partículas de cimento, o surfactante confere forte carga negativa, que ajuda a diminuir consideravelmente a tensão superficial da água circundante e eleva acentuadamente a fluidez do sistema. De acordo com Kraus (2006), os superplastificantes à base de policarboxilatos criam uma capa de adsorção de grande volume ao redor das partículas de cimento devido às suas largas cadeias laterais que impedem a floculação e facilitam a alta fluidez da pasta de cimento.

É necessário atentar-se à taxa relativamente alta de perda de consistência com o tempo. A consistência obtida pelos superplastificantes, dependendo das condições, se mantém, de acordo com Tutikian e Dal Molin (2015) apenas por um

período de 30 a 60 minutos. Mailvaganan (1979 *apud* TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015) afirma que a máxima trabalhabilidade alcançada normalmente permanece por 10 a 15 minutos, sendo seguida por uma perda relativamente rápida do espalhamento.

A perda de consistência com o tempo também pode estar relacionada com a incompatibilidade cimento-aditivo superplastificante. Esse problema de compatibilidade pode resultar também em falta de fluidez no estado fresco, problemas de bombeamento, adensamento e acabamento (FRACALOSSI, 2011). A incompatibilidade também pode interferir no tempo de pega e na resistência à compressão inicial (FRACALOSSI, 2011).

2.2.4.2 Aditivo modificador de viscosidade

Os aditivos modificadores de viscosidade (VMA) são produtos à base de polissacarídeos com cadeias poliméricas de alto peso molecular ou de base inorgânica (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015), com atuação semelhante à adição mineral. No estado fresco do concreto ou argamassa, segundo Tutikian e Dal Molin (2015), melhoram a coesão da massa, impedindo a segregação e limitando a perda de água por exsudação. De acordo com Melo (2005 *apud* MARTINS, 2009), o aditivo modificador de viscosidade pode ser empregado quando o teor de finos for limitado, ajudando na promoção adequada de viscosidade e garantindo, assim, a resistência à segregação, homogeneidade da mistura e redução da exsudação.

Os modificadores de viscosidade atuam de duas formas distintas: sobre as partículas de finos, aumentando a viscosidade e reduzindo a fluidez da pasta, ou sobre a água livre na mistura, não reduzindo a capacidade de adsorção do superplastificante (FIORENTIN, 2011). Os aditivos promotores de viscosidade possuem cadeias poliméricas que na mistura incorporam água, adsorvem-na, incham entrelaçando-se, formando uma rede que retém a água e assim suspende os grãos (KRAUS, 2006).

Apesar de proporcionarem melhor coesão, sem alterar significativamente a fluidez da argamassa ou do concreto autoadensável, segundo a EFNARC (2005), o VMA não deve ser utilizado como forma de evitar a necessidade de uma boa seleção e composição de materiais constituintes.

2.3 Propriedades da argamassa autoadensável

As argamassas autoadensáveis possuem diversas propriedades que variam em função das solicitações requeridas para cada uso determinado (AFAM, 2005). Essas propriedades dividem-se em propriedades no estado fresco e estado endurecido.

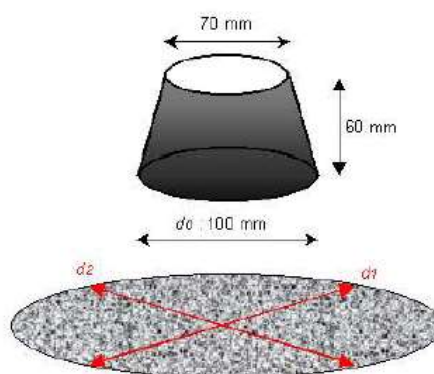
2.3.1 Estado fresco

As principais propriedades que se destacam no estado fresco para argamassa autoadensável são: consistência e resistência à segregação (MARTINS, 2009). Carvalho (2015) ressalta trabalhabilidade, resistência à segregação e exsudação. Já Silva (2016), destaca como características convencionais a alta fluidez e estabilidade, resistindo à segregação e exsudação. Chaves (2019), assim como Martins (2009) destaca as características de consistência e resistência à segregação.

Carasek (2017) define a propriedade de consistência de uma argamassa como sendo a maior ou menor facilidade de a argamassa deformar-se sob ação de cargas, sendo que a medida de consistência gera informação sob a fluidez da argamassa – quanto menos consistente, mais fluida. As argamassas autoadensáveis, devem ter a capacidade de se deformar sob ação da gravidade e de seu peso próprio e, assim, espalhando-se (CHAVES, 2019).

A avaliação da consistência das argamassas autoadensáveis é avaliada através do ensaio de mini cone (RIZWAN E BIER, 2012; KATSIADRAMIS *et al.* 2010; GEORGIN *et al.* 2008 *apud* CARVALHO 2015). Esse ensaio consiste em preencher um mini tronco de cone (Figura 3), após preenchimento, o mesmo é levantado para que argamassa possa espalhar-se livremente sob seu peso próprio.

Figura 3 - Ensaio de espalhamento utilizando o mini tronco de cone para argamassa autoadensável



Fonte: NUNES (2001 *apud* CARVALHO, 2015)

Katsiadramis *et al.* (2010) e EFNARC (2002) estabelecem, para esse ensaio, um diâmetro de espalhamento entre 240 e 260 mm. Domone e Jin (1999 *apud* GOMES; BARROS, 2009) obtiveram valores de diâmetros de espalhamento superiores a 300 mm para caracterização de argamassas autoadensáveis. E a EFNARC (2001), baseado na EN 13.454-2, recomenda um diâmetro de espalhamento superior a 220 mm.

O ensaio de espalhamento permite, também, a avaliação da argamassa quanto à resistência à segregação e à exsudação através de avaliação visual. O fenômeno de exsudação, segundo Carasek (2017), é a tendência de separação da água (pasta) da argamassa, de modo que a água sobe e os agregados descem pelo efeito da gravidade. Já a segregação, assim como a exsudação, está relacionada à argamassa com elevada fluidez e é o fenômeno na qual a mistura apresenta-se heterogênea (MARTINS 2009). A Figura 4 apresenta uma argamassa instável, durante o ensaio de espalhamento, com sinais de exsudação e segregação.

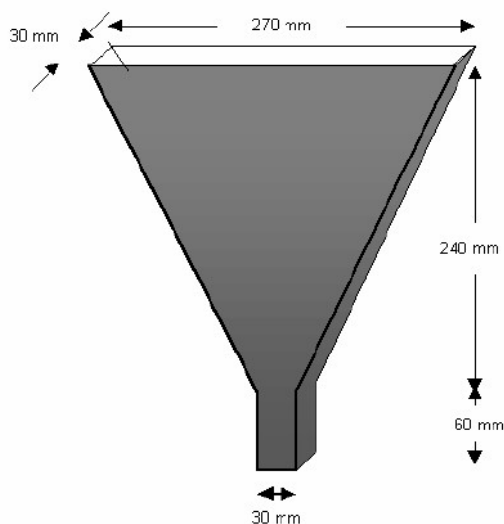
Figura 4 - Argamassa com sinais de exsudação e segregação durante o ensaio de espalhamento



Fonte: Autor

A fluidez das argamassas autoadensáveis, relacionada com a viscosidade da argamassa, além de ser avaliada pelo ensaio do espalhamento, também pode ser avaliada pelo ensaio do Funil V. Esse ensaio consiste na medição do tempo de escoamento da argamassa que preencheu completamente o funil com as dimensões e formatos presentes na Figura 5. EFNARC (2002) estabelece um tempo de escoamento para a argamassa no Funil V entre 7 e 11 segundos.

Figura 5 - Funil V para avaliar o tempo de escoamento de argamassas autoadensáveis



Fonte: KRAUS (2006)

2.3.2 Estado endurecido

As argamassas autoadensáveis constituem-se como um tipo especial de argamassa, considerada de alto desempenho (MEHDIPOUR *et al.*, 2013 *apud*

CHAVES, 2019). As principais propriedades no estado endurecido, segundo Souza, Ferreira e Azevedo (2012), são: a resistência mecânica, ao impacto e à abrasão e a aderência superficial e profunda.

Chaves (2016) ressalta que essas argamassas devem apresentar uma superfície pouco porosa, principalmente se o material for aplicado para piso acabado. No Brasil, ainda não há uma norma que determine especificações e exigências mínimas para as argamassas autoadensáveis. No entanto, há a UNE-EN 13813 (AENOR, 2014), norma europeia, responsável por prescrever as características e especificações para compósitos autoadensáveis – conforme o material aglomerante das mesmas – classificando e enumerando os ensaios físicos-mecânicos para cada tipo de material (NENEVÊ, 2017).

Segundo a UNE-EN 13813 (AENOR, 2014), as argamassas autoadensáveis possuem propriedades que variam em função das solicitações requeridas para cada uso determinado, resultando em diferentes resistências à compressão, resistências à tração na flexão, resistência à abrasão, tempo de pega, entre outros. A EFNARC (2001) determina os seguintes requisitos de desempenho para que argamassas autoadensáveis atendam todas as situações de uso:

- resistência à compressão: ≥ 20 MPa;
- resistência à tração na flexão: ≥ 5 MPa.

Nakakura e Bucher (1997) sugere os seguintes limites de resistências, aos 28 dias:

- resistência à compressão: 25 a 35 MPa;
- resistência à tração na flexão: 8 a 11 MPa;
- resistência ao arrancamento por tração:
 - pisos residenciais: 1 MPa (cura de 28 dias), 0,5 MPa (cura de 28 dias com 10.000 ciclos de passagem de carga de 25 N);
 - pisos locais públicos e industriais leves: 2 MPa (após 28 dias de cura) e de 1 MPa (28 dias de cura e mais de 10.000 aplicações de carga de 250 N com rodízios);
 - pisos industriais submetidos à ação de rodas maciças de carregadeiras: > 3 MPa (28 dias de cura e mais 10.000 aplicações de 2.000 N).

- resistência à abrasão (método de ensaio de abrasão na máquina de Böhme): 6 cm³/50 cm² ou 1,2 mm de espessura.

A UNE-EN 13813 (AENOR, 2014) determina classes de resistência à compressão e à tração na flexão - Tabela 4 – que varia de acordo com cada aplicação. A Tabela 3 apresenta algumas situações e qual classe mínima de resistência à compressão segundo a UNE-EN 13813 (AENOR, 2014). Para as argamassas autoadensáveis compostas de cimento, a UNE-EN 13813 (AENOR, 2014) estabelece como obrigatório os ensaios de resistência à compressão e resistência à tração na flexão, além de ensaio de resistência à abrasão.

Tabela 3 - Classes de resistências segundo a UNE-EN 13813 (AENOR, 2014)

Classes de resistência à compressão para argamassas autoadensáveis													
Classe:	C5	C7	C12	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C50	C60	C70	C80
N/mm²	5	7	12	16	20	25	30	35	40	50	60	70	80
Classes de resistência à tração na flexão para argamassas autoadensáveis													
Classe:	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F10	F15	F20	F30	F40	F50
N/mm²	1	2	3	4	5	6	7	10	15	20	30	40	50

Fonte: adaptado de AENOR (2014)

Tabela 4 - Situações de utilização de argamassa autoadensável e resistência à compressão mínima a ser adotada

Revestimento flutuante e suporte de polietileno	≥ C20
Revestimento flutuante, suporte de concreto e espessura ≥ 40 mm	≥ C12
Revestimento flutuante, suporte de concreto e espessura de 30 a 40 mm	≥ C20
Revestimento aderido e suporte de polietileno	≥ C20
Revestimento aderente, suporte de concreto e espessura ≥ 40 mm	≥ C12
Revestimento aderente, suporte de concreto e espessura de 5 a 40 mm	≥ C20
Revestimento aquecido (piso radiante)	≥ C20
Revestimento exposto e suporte de polietileno ou concreto	≥ C25

Fonte: adaptado de AENOR (2014)

2.4 Métodos de dosagem

Uma metodologia de dosagem para argamassa autoadensável deve proporcionar uma otimização da formulação que resulte em uma fluidez suficiente para o auto nivelamento e que, concomitantemente, possibilite controlar a segregação, exsudação e retração da mesma (NÊNEVE, 2017).

Tutikian (2004) ressalta a forte tendência de exsudação em materiais autoadensáveis quando não há um estudo prévio do seu proporcionamento. Entretanto, um método de dosagem que possa ser utilizado universalmente com qualquer combinação de aglomerante, agregados, adições minerais e aditivos sempre

será difícil de resolver, uma vez que os critérios de aceitação destes materiais, apesar de serem normalizados, são muito amplos (AÏTCIN, 2000 *apud* KRAUS, 2006).

A dosagem de argamassa autoadensável, assim como de concreto autoadensável, requer atender requisitos simultaneamente no estado fresco e endurecido. Esses requisitos, Segundo Repette (2005), são – no estado fresco – elevada fluidez, capacidade de se mover sob ação de seu próprio corpo e resistência à segregação, além de – no estado endurecido – resistência à compressão satisfatória.

Diferentemente do que ocorre atualmente com o concreto, para o qual existem vários métodos racionais de dosagem, para as argamassas ainda não se dispõe, no contexto nacional, de métodos totalmente difundidos com essa finalidade (CARASEK, 2017). Entretanto, uma metodologia de dosagem para argamassa autoadensável pode se basear nas mesmas premissas utilizadas para uma metodologia voltada para concreto autoadensável, já que os requisitos a serem atendidos são similares.

O emprego de princípios utilizados em algumas metodologias de dosagem de concreto autoadensável como referência podem auxiliar no desenvolvimento de um método de dosagem para argamassa autoadensável.

2.4.1 Método de dosagem da EFNARC para concretos autoadensáveis

A EFNARC (2005) orienta que a fluidez e viscosidade da pasta ajustadas e balanceadas por seleção e proporção cuidadosas de cimento e adições, pela limitação da relação água/cimento e pela adição de superplastificante (GOMES; BARROS, 2009). Além disso, o projeto de dosagem, segundo EFNARC (2005), baseia-se nas aproximações a seguir relacionadas:

- a) avaliar a demanda de água e otimizar a fluidez e estabilidade da pasta;
- b) determinar a proporção de areia e a dosagem de aditivo para obter a robustez exigida;
- c) ensaiar a sensibilidade a pequenas variações nas quantidades;
- d) realizar a mistura no misturador do laboratório e executar os ensaios no estado fresco;
- e) ensaiar as propriedades no estado endurecido.

Figura 6 - Procedimento de dosagem EFNARC (2005) para concretos autoadensáveis

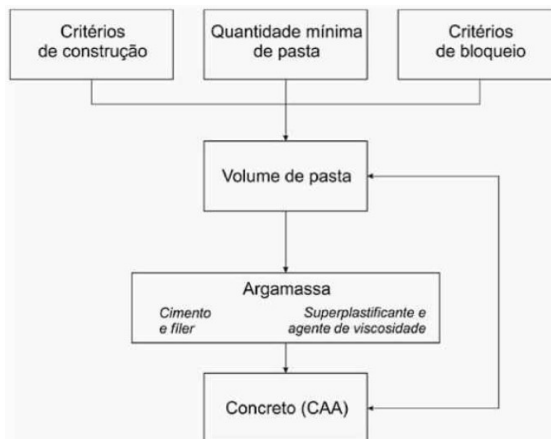


Fonte: GOMES; BARROS (2009)

2.4.2 Método de dosagem Petersson *et al.* (1996) para concretos autoadensáveis

No método de dosagem de Petersson *et al.* (1996) citado por Gomes e Barros (2009) foi observado que, para as argamassas não apresentarem segregação, é necessária uma quantidade de finos situada na faixa entre 500 e 525 kg/m³. Foi observado também que quando somente o cimento foi utilizado, foram encontrados valores elevados para a tensão de cisalhamento e viscosidade plástica, em comparação com os valores obtidos em argamassas em que parte do cimento foi substituída por fíleres (GOMES; BARROS, 2009).

Figura 7 - Fluxograma resumido da metodologia desenvolvida por Petersson *et al.* (1996) para concretos autoadensáveis



Fonte: GOMES; BARROS (2009)

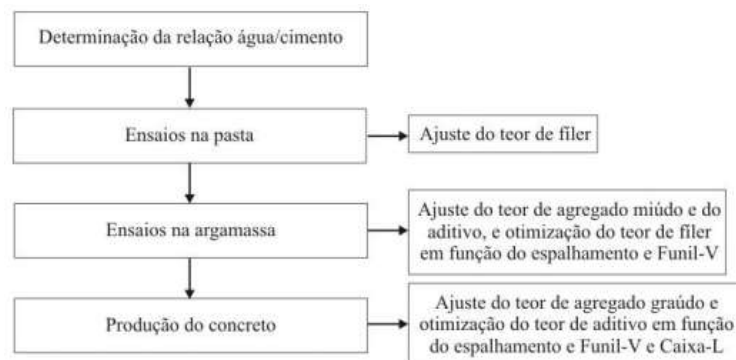
2.4.3 Método de dosagem Repette-Melo (2005) para concretos autoadensáveis

O método de Repette-Melo (2005) para desenvolvimento de concretos autoadensáveis prioriza o ajuste de teor de aditivo superplastificante em todas as etapas – estudo em pasta, argamassa e concreto (GOMES; BARROS, 2009). Na etapa do estudo em pasta, determina-se a quantidade de filer adicionado em substituição ao aglomerante, com uma relação água/cimento já estabelecida, de modo que não haja indícios de segregação e exsudação (PETRY, 2015).

A relação volumétrica de agregado miúdo/argamassa é determinada através de medidas de espalhamento e fluidez nas argamassas, variando o teor de aditivo superplastificante (GOMES; BARROS, 2009). Melo (2005) testou diferentes teores de agregados miúdos nas argamassas – variação do volume de agregado miúdo em relação ao volume total da argamassa – com diferentes teores de aditivo, verificando se as mesmas atendiam aos requisitos de consistência e resistência à segregação no estado fresco – através do ensaio de espalhamento do mini-tronco de cone e Funil V.

Além disso, também se verificou a resistência à compressão aos 7 e 28 dias. A quantidade de finos é aumentada nos ensaios em argamassa e os ajustes quanto à consistência e trabalhabilidade são feitos com o aditivo superplastificante (MELO, 2005).

Figura 8 - Fluxograma da metodologia adotada por Repette-Melo (2005) para concretos autoadensáveis



Fonte: MELO (2005)

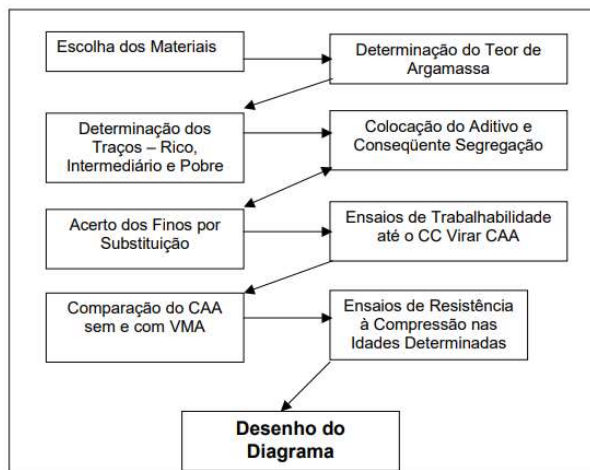
2.4.4 Método de dosagem de Tutikian (2004) para concretos autoadensáveis

Tutikian (2004) desenvolveu um método com o objetivo de desenhar um diagrama de proporcionamento e determinar as equações de comportamento, com lei de Abrams – relação resistência à compressão com relação água/aglomerante –, a lei de Lyse – relação água/aglomerante com a quantidade de agregados “m” para um determinada trabalhabilidade – e a equação que relaciona consumo de aglomerante por metro cúbico com o traço “1:m”, para os materiais selecionados previamente, por questões econômicas ou de disponibilidade de local.

De forma resumida, o método de Tutikian (2004) se baseia no método de dosagem para concretos de cimento Portland do IPT, de Helene e Terzian (1992 *apud* TUTIKIAN, 2004), determinando um teor de argamassa de forma experimental até obter-se o teor que atinja a trabalhabilidade desejada.

Após, desenvolvem-se três traços (pobre, intermediário e rico) que possivelmente abranja a resistência desejada. Ao final dessa etapa, há um concreto convencional. O mesmo começa o processo de se tornar autoadensável com a adição do aditivo superplastificante, em pequenos teores, até que apresente características de autoadensável – observado visualmente devido a elevada fluidez. O controle da segregação é feito através das adições mineiras, proporcionando, também, coesão para o sistema (GOMES; BARROS, 2009). As etapas de adição do superplastificante e adição de fino acontecem simultaneamente e após essa etapa é feito o ensaio de trabalhabilidade.

Figura 9 - Fluxograma da metodologia desenvolvida por Tutikian (2004) para concretos autoadensáveis



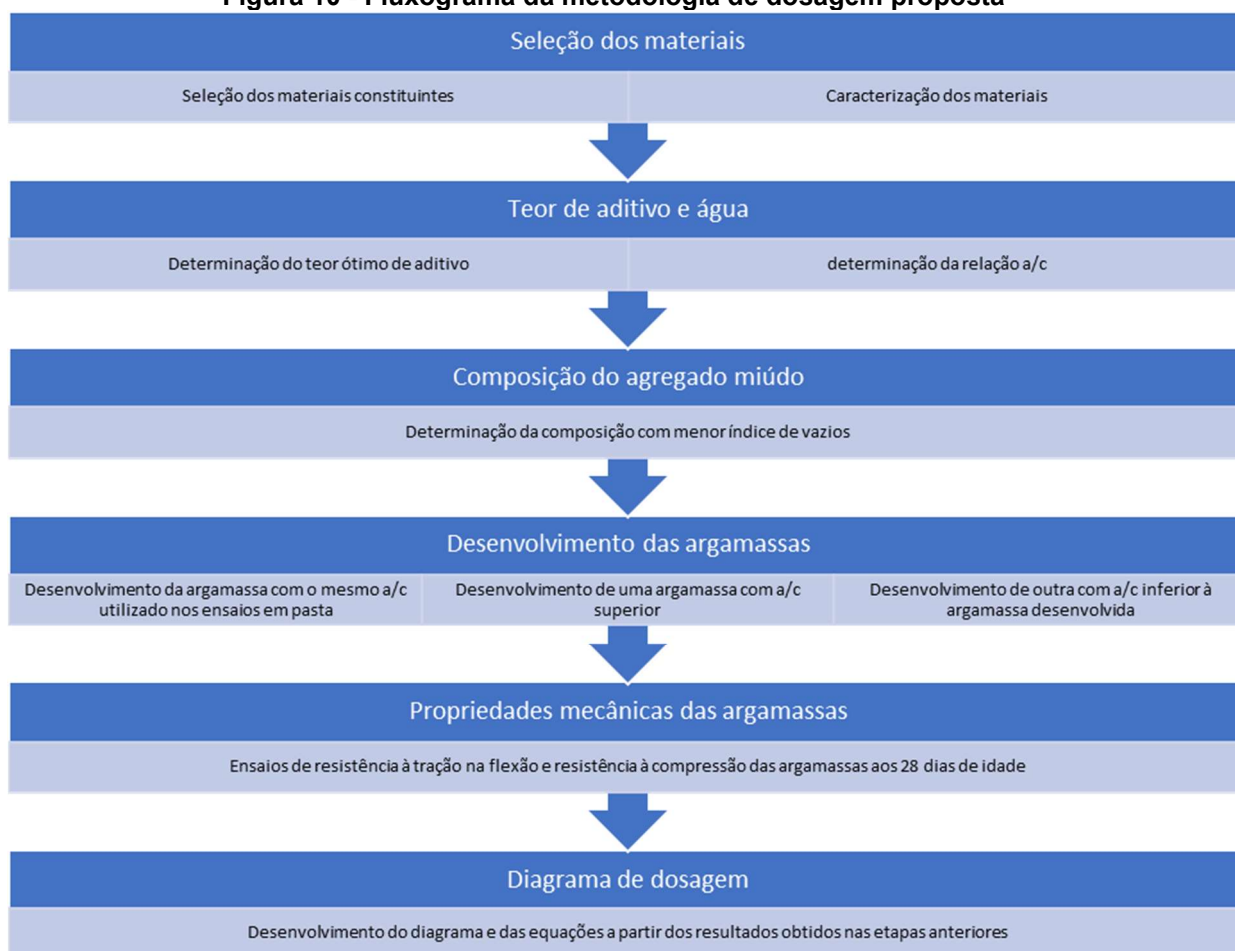
Fonte: TUTIKIAN (2004)

3 METODOLOGIA

Entende-se por estudo de dosagem os procedimentos necessários à obtenção da melhor proporção entre os materiais constituintes (HELENE, 2005). Os itens a seguir são as etapas propostas para o desenvolvimento de um método de dosagem para argamassa autoadensável visando obter uma proporção que respeite os aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

Esta metodologia foi desenvolvida baseada nas metodologias de dosagem para concreto autoadensável já citadas no presente trabalho, além dos estudos de Martins (2009) e Carvalho (2015) referente às pastas cimentícia para argamassas autoadensáveis. As etapas e principais atividades relacionadas no processo são destacadas na Figura 10. Iniciando pela seleção dos materiais; determinação do teor ótimo de aditivo para uma relação água/cimento fixa. Composição do agregado miúdo com intuito de obter o menor índice de vazios e desenvolvimento da argamassa com mesma relação água/cimento utilizada nas pastas. Com base nesta, desenvolver uma argamassa com relação água/cimento maior e outra menor. Através da resistência à compressão, traçar o diagrama de dosagem.

Figura 10 - Fluxograma da metodologia de dosagem proposta



Fonte: Autor

3.1 Escolha e caracterização dos materiais

Para produção das argamassas autoadensáveis foi utilizado um cimento Portland composto com fíler (CP II-F-32), fíler calcário, aditivo superplastificante, agregado miúdo natural de rio e de britagem.

As características físicas e químicas do cimento foram fornecidas pelo fabricante. Além disso, foi determinada sua massa específica de acordo com o ensaio prescrito na ABNT NBR 16.605:2017. A área superficial específica foi determinada por BET em equipamento Belsorp Max, com pré-tratamento das amostras em temperatura de 60°C e pressão de 10^{-2} kPa por 24 horas em um equipamento Belprepcac-II para a retirada da umidade e de outros gases adsorvidos. A distribuição granulométrica foi realizada em um granulômetro a laser Helos (Sympatec) com faixa de detecção de 0,1 μm a 350 μm .

Os agregados miúdos foram caracterizados quanto à composição granulométrica, dimensão máxima característica e módulo de finura conforme a NBR 7211:2009; material pulverulento conforme a NBR NM 46:2001; massa específica conforme a NBR NM 52:2009; e a massa unitária conforme a NBR NM 45:2006. As imagens foram obtidas através da lupa estereoscópica ZEISS, modelo Stemi 2000-C com captação direta de imagem mediante uma câmera AxioCam Erc-5s.

Devido à necessidade de incorporação de finos na argamassa autoadensável, e também visando a redução do consumo de cimento, foi utilizado o fíler calcário como adição mineral inerte.

O fíler calcário foi caracterizado com relação à massa específica conforme a NBR NM 52:2009, área superficial específica e distribuição granulométrica, pelos métodos citados anteriormente. A avaliação da superfície e formato do grão deu-se através de imagens em microscópio eletrônico de varredura convencional com filamento de tungstênio, JEOL JSM-6390LV, no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). As amostras secas foram fixadas com fita-carbono na base do suporte do equipamento, recobertas com ouro pulverizado e mantidas em dessecador a vácuo até a data da análise.

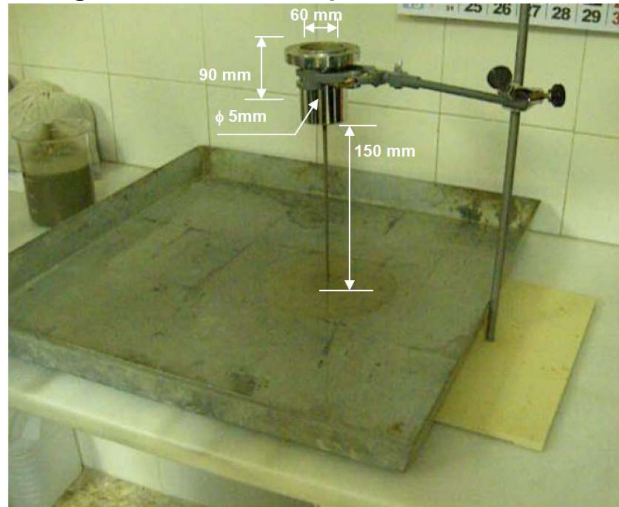
Toda a caracterização dos materiais ocorreu em uma sala climatizada, com a temperatura de 23 ± 2 °C.

O aditivo superplastificante (SP) é utilizado no presente estudo com o intuito de promover maior fluidez e reduzir o consumo de água. As características físicas e químicas do aditivo superplastificante foram fornecidas pelo fabricante.

3.2 Determinação do teor de aditivo e quantidade de água

Esta etapa baseou-se nos trabalhos de Martins (2009) e Carvalho (2015) que utilizaram o cilindro espanhol (Figura 11) – equipamento ainda não normatizado, desenvolvido para ensaios de pastas cimentícia para argamassa autoadensável que possibilita avaliar o tempo de escoamento. A avaliação do tempo de escoamento auxilia a encontrar o teor ótimo de aditivo a ser utilizado. Acredita-se que, a partir de um determinado teor de aditivo, o sistema torna-se instável e o aditivo atinge seu ponto de saturação, podendo resultar em efeitos indesejados como segregação entre partículas (MONTE, 2003 *apud* MARTINS, 2009).

Figura 11 - Cilindro espanhol e dimensões



Fonte: HOBIMIX (2008 *apud* MARTINS, 2009)

A relação água/cimento inicial adotada para os ensaios no cilindro espanhol baseou-se em estudo em argamassas autoadensáveis realizados anteriormente pelo autor com os mesmos materiais (Tabela 5) e que atingiram resistências à compressão de aproximadamente 20 MPa. A decisão de adotar tal relação água/cimento para o ensaio em pastas baseado na resistência à compressão partiu de Melo (2005) que utiliza, em seus ensaios em pasta, uma relação a/c de 0,82 para uma determinada resistência.

Tabela 5 - Resultados das argamassas em estudos anteriores

a/c	0,85	0,73	0,66
m	3,13	3,18	3,18
Teor de ar incorporado	6,76%	6,15%	5,78%
Resistência à compressão (MPa)	19,11 ± 0,89	25,62 ± 0,77	28,42 ± 1,22

Fonte: Autor

Para encontrar o teor ótimo do aditivo superplastificante, determinou-se uma pasta referência sem aditivo superplastificante e com uma relação água/cimento de 0,73. Esta relação foi determinada baseado em resultados de resistência à compressão obtida em ensaios preliminares pelo autor (Tabela 5) e que atingiu resistência à compressão de aproximadamente 20 MPa – valor mínimo estabelecido pela AENOR (2014). Optou-se por não utilizar a relação a/c de 0,85 porque, nos ensaios anteriores, essa relação atingiu valores muito próximos de 20 MPa e o aditivo

utilizado neste trabalho não controla a incorporação de ar, podendo reduzir a resistência da argamassa. Juntamente com a pasta cimentícia referência, foram ensaiadas outras pastas com diferentes teores de aditivo, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Traço das pastas cimentícia ensaiadas, kg/kg em relação a massa de cimento

Cimento (kg/kg, em relação a massa do cimento)	Água (kg/kg, em relação a massa do cimento)	Superplastificante (%, em relação a massa do cimento)
1	0,73	0,0 %
		0,1 %
		0,2 %
		0,3 %
		0,4 %
		0,5 %
		0,6 %

Fonte: Autor

O processo de mistura ocorreu em uma argamassadeira planetária (Figura 12), conforme utilizado por Melo (2005) e Martins (2009). Todo o processo de mistura foi executado na velocidade I. O cimento e a água foram misturados durante 30 segundos, para garantir a homogeneidade da pasta. Após homogeneização, foi acrescentado o teor de aditivo determinado e misturado por mais 30 segundos.

Figura 12 - Argamassadeira utilizada para o desenvolvimento das pastas cimentícia e das argamassas autoadensáveis



Fonte: Autor

O ensaio de escoamento no cilindro espanhol foi realizado logo após o preparo da mistura e em alguns intervalos já pré-definidos – uma adaptação do que foi feito por Carvalho (2015) – para avaliar o teor de saturação e a influência do aditivo com o tempo na pasta cimentícia. Os tempos de medição, em segundos, foram: 0 (logo após o preparo da mistura); 300 s; 900 s; 1200 s; 1800 s; 4500 s; 5400 s; 7200 s; 9000 s. Antes de cada nova medida, a pasta era misturada novamente por 30 segundos na argamassadeira planetária, na velocidade II.

3.3 Composição do esqueleto granular

A determinação da composição do agregado miúdo baseou-se no procedimento de determinação do esqueleto granular, encontrada na metodologia de dosagem proposta por Tutikian e Dal Molin (2015). Tal processo tem como objetivo determinar a mistura de materiais secos que possuam a menor quantidade de vazios. Desta forma, deve-se misturar todos os componentes, dois a dois, em ordem decrescente de diâmetro das partículas até chegar ao cimento (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015). Entretanto, na presente metodologia, foi realizado o empacotamento dos agregados miúdos e da adição mineral.

Para a determinação do índice de vazios, as seguintes informações são necessárias (considerando dois materiais hipotéticos A e B):

- Massa específica A;
- Massa específica B;
- Massa unitária compactada AB;
- Massa específica AB.

Assim, chega-se ao índice de vazios através das Equações 1- 3:

$$\text{Massa unitária compactada AB} = \frac{\text{Massa da mistura (g)}}{\text{Volume do recipiente (cm}^3\text{)}} \quad (1)$$

$$\text{Massa específica AB} = \frac{(\text{Massa específica A} \cdot \%A) + (\text{Massa específica B} \cdot \%B)}{100} \quad (2)$$

$$\text{Índice de vazios} = \frac{\text{Massa específica AB} - \text{Massa unitária AB}}{\text{Massa específica AB}} * 100 \quad (3)$$

Como o filler calcário é um material inerte, optou-se por considerá-lo na composição do agregado miúdo. Assim, o esqueleto granular da presente pesquisa foi formado por agregado miúdo proveniente do processo de britagem, agregado miúdo proveniente dos leitos de rios e filler calcário.

3.4 Desenvolvimento das argamassas autoadensáveis

Após o estabelecimento de uma relação água/cimento, determinação do teor ótimo de aditivo superplastificante e composição do agregado miúdo, iniciou-se o desenvolvimento das argamassas autoadensáveis.

A primeira argamassa foi desenvolvida a partir da relação água/cimento utilizada nos ensaios em pasta e o teor ótimo de aditivo. O teor de aditivo superplastificante permaneceu inalterado durante a produção de todas as argamassas. As variáveis para produção das outras argamassas foram a relação água/cimento e a proporção agregado miúdo/cimento.

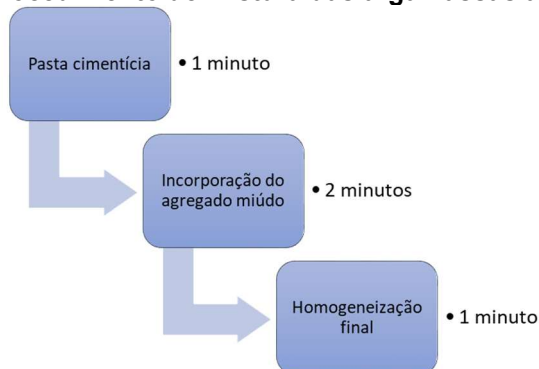
O desenvolvimento da argamassa autoadensável deu-se pela incorporação da composição do esqueleto granular à pasta cimentícia até que se atingisse os requisitos de fluidez e espalhamento desejáveis para argamassa autoadensável, sem sinais de instabilidade como exsudação e segregação. Caso houvesse sinais de instabilidade, utilizar-se-ia aditivo modificador de viscosidade – comum na composição das argamassas autoadensáveis.

A referência para avaliação da trabalhabilidade foi o diâmetro de abertura de 280mm \pm 20 mm para o ensaio de espalhamento pelo método do mini tronco de cone conforme preconiza a NBR 13.276:2016 – mas sem a aplicação de quedas. Foram realizados também o ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado – segundo ANBT NBR 13.278:2005 – e ensaio do Funil V (EFNARC, 2002), no qual o tempo de escoamento deve estar entre 7 e 11 segundos, conforme prescrito pela EFNARC (2002).

Após o desenvolvimento da primeira argamassa, determinou-se uma relação água/cimento superior e uma inferior para o desenvolvimento de novas argamassas, mantendo-se o mesmo teor de aditivo superplastificante. Assim, incorporou-se a composição de agregado miúdo até que se apresentasse espalhamento de 280 mm \pm 20 mm e a ausência de segregação e exsudação. O

procedimento de mistura adotado encontra-se na Figura 13 e foi realizado da seguinte forma: misturou-se a pasta cimentícia por 1 minuto; incorporou-se a composição do esqueleto granular e misturou-se por 2 minutos; e, por fim, mais um minuto de mistura para homogeneização final. Todo o processo ocorreu na velocidade II da argamassadeira planetária.

Figura 13 - Procedimento de mistura das argamassas autoadensáveis



Fonte: Autor

Caso as argamassas não atendam às exigências de tempo de escoamento no ensaio do Funil V, recomenda-se que se reproduzam novas argamassas com um teor menor de aditivo e uma maior relação a/c.

3.5 Propriedades mecânicas das argamassas autoadensáveis

No estado endurecido, as argamassas foram avaliadas aos 28 dias de idade. O processo de cura respeitou as recomendações da UNE-EN 13892-1:2002 na qual os corpos de prova permaneceram por 2 dias no molde e, em seguida, foram armazenados em locais com temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e uma umidade relativa de $(95 \pm 5) \%$ e $(65 \pm 5) \%$, por 5 dias e 21 dias, respectivamente.

A caracterização das argamassas no estado endurecido ocorreu através dos ensaios de densidade aparente, conforme a NBR 13.280:2005; resistência à tração na flexão (Figura 14) e resistência à compressão (Figura 15), de acordo com a NBR 13.279:2005.

Figura 14 - Ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Autor

Figura 15 - Ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autor

3.6 Determinação do diagrama de dosagem e desempenho

O diagrama de dosagem é conhecido, já que usualmente é utilizado nos métodos de dosagem de Helene e Terzian (1992) para concreto convencional e de Tutikian (2004) para concreto autoadensável (TUTIKIAN, 2007).

Com os valores de resistência à compressão (MPa), relação água/cimento, o traço 'm', espalhamento da argamassa no ensaio de espalhamento e o consumo de cimento por metro cúbico (kg/m^3), pode-se determinar o diagrama de dosagem e as equações de comportamento. Para isso, foi necessário, na pesquisa em questão, desenvolver diferentes formulações de argamassas autoadensáveis, variando o

consumo de materiais, resultando em alterações nas suas propriedades no estado fresco e endurecido.

Esta pesquisa se baseou no método de Tutikian (2004) para o desenvolvimento do diagrama de dosagem. Foram desenvolvidas três argamassas autoadensáveis com diferentes 'm' – consumo de agregado – e, assim, foram realizados todos os ensaios de caracterização para desenvolvimento do diagrama e equações de comportamento. Então, as equações possuindo um bom grau de correlação, uma argamassa autoadensável poderá ser dosada com os materiais inicialmente escolhidos na obtenção da dosagem (GOMES; BARROS, 2009).

O resultado final do trabalho experimental da presente pesquisa foi o desenvolvimento do diagrama de dosagem acompanhado das equações da Lei de Abrams, Lyse e Molinari sendo representadas, respectivamente, pelas equações 4, 5 e 6 (HELENE, 2005).

$$F_{cj} = \frac{k_1}{k_2^{a/c}} (4)$$

$$m = k_3 + k_4 * \frac{a}{c} (5)$$

$$C = \frac{1000}{k_5 + k_6 * m} (6)$$

em que:

F_{cj} = resistência à compressão do concreto para idade de j dias, em MPa;

m = relação em massa seca de agregados/cimento, em kg/kg;

a/c = relação em massa de água/cimento, em kg/kg;

C = consumo de cimento por m³ de argamassa autoadensável em kg/m³;

K₁, K₂, K₃, K₄, K₅, K₆ são constantes particulares de cada conjunto de mesmos materiais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos materiais

4.1.1 Cimento

A Tabela 7 e a Tabela 8 apresentam as características físicas e químicas, respectivamente, do cimento CP-II-F-32.

Tabela 7 - Propriedades físicas do CP-II-F-32

	Exp. Quente	Tempo de pega		Cons. Normal	Blaine	#200	#325	Resistência à compressão			
		Início	Fim					1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
	mm	h:min	h:min	%	cm ² /g	%	%	MPa	MPa	MPa	MPa
Média	0,35	03:56	04:42	27,2	3.294	3,75	13,9	14,2	28,0	34,3	42,8
Sd	0,47	00:15	00:20	0,3	47,19	0,80	1,35	1,1	1,7	2,1	1,1
Min.	0,00	03:40	04:30	26,5	3.220	2,90	12,2	12,8	25,1	31,7	41,2
Max.	1,00	04:20	05:15	27,5	3.360	5,10	16,5	15,8	30,6	36,7	43,5

Fonte: Fabricante (2017)

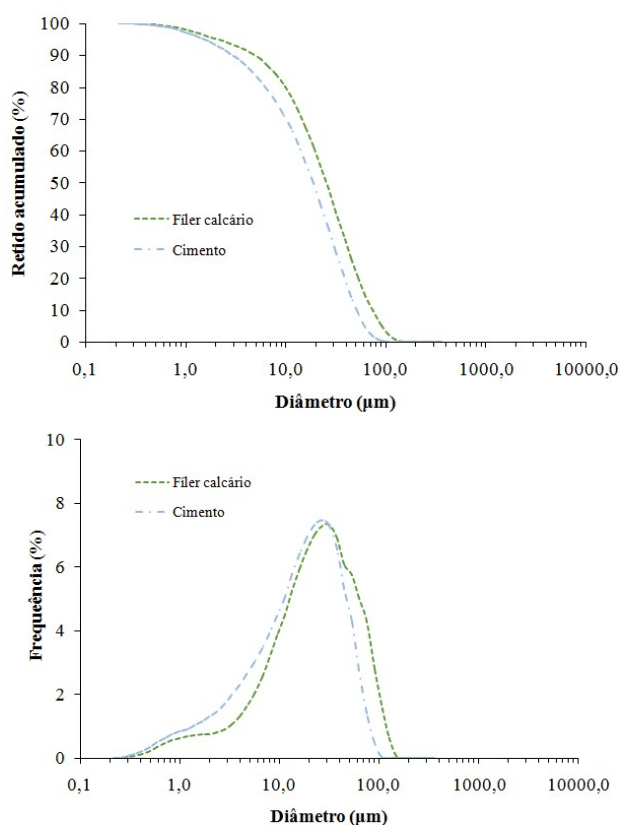
Tabela 8 - Propriedades químicas do CP-II-F-32

	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Perda Fogo	CaO Livre	Resid. Insol.	Equiv. Alcal.
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Média	4,21	18,80	3,00	59,98	3,87	2,80	5,30	0,70	1,55	0,71
Sd	0,06	0,26	0,11	0,30	0,20	0,08	0,33	0,11	0,22	0,02
Min.	4,11	18,32	2,72	59,71	3,64	2,67	4,61	0,56	1,21	0,67
Max.	4,27	19,20	3,11	60,76	4,19	2,92	5,86	0,84	1,90	0,73

Fonte: Fabricante (2017)

A massa específica do cimento é de 3,07 g/cm³ e a área superficial específica BET de 0,98 m²/g. A curva granulométrica encontra-se na Figura 16. O diâmetro referente a 10%, 50% e 90% do material passante encontra-se na Tabela 8.

Figura 16 - Granulometria a laser do cimento CP-II-F-32 e do fíler calcário



Fonte: Autor

Tabela 9 - Diâmetros referentes a 10%, 50% e 90% do material passante

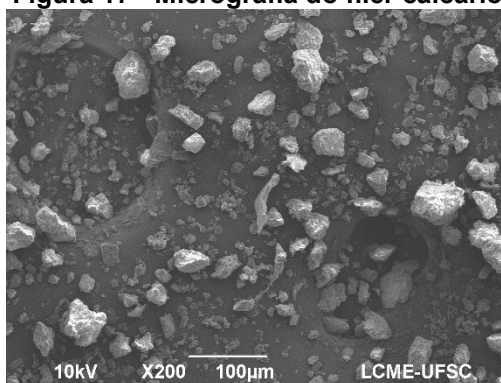
Análise granulométrica	Cimento	Fíler calcário
Diâmetro de 10% (µm)	2,54	4,20
Diâmetro de 50% (µm)	15,86	21,47
Diâmetro de 90% (µm)	43,60	62,15

Fonte: Autor

4.1.2 Fíler calcário

A massa específica do fíler calcário é de 2,60 g/cm³ e a área superficial específica BET de 0,53 m²/g do fíler calcário. A curva granulométrica encontra-se na Figura 16 e pode-se notar que apresenta partículas mais grossas que o cimento. A Figura 17 mostra uma micrografia.

Figura 17 - Micrografia do filer calcário



Fonte: Autor

4.1.3 Agregado Miúdo

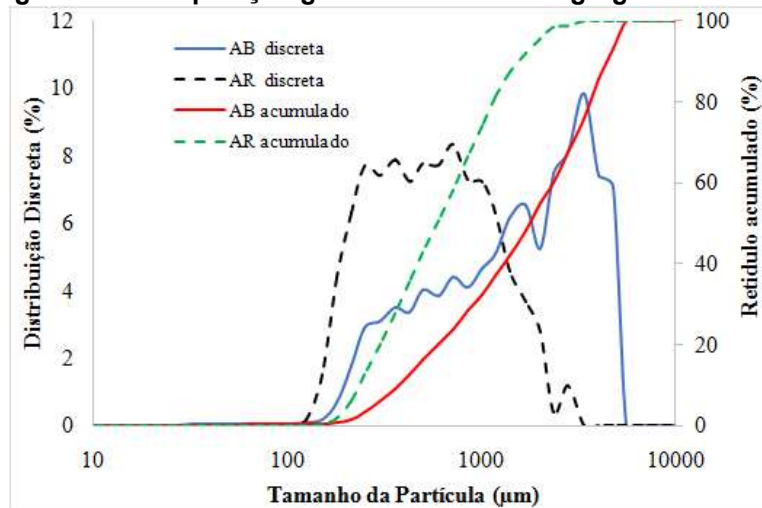
No presente estudo foram utilizados agregados miúdos provenientes de do leito de rios e do processo de britagem de rocha granítica, ambas comercializadas na região da Grande Florianópolis. As características físicas dos agregados estão apresentadas na Tabela 10 e a curva granulométrica na Figura 18.

Tabela 10 - Caracterização dos agregados miúdos

Propriedades	Areia de rio	Areia de britagem
Massa específica	2,60 g/cm ³	2,66 g/cm ³
Massa unitária	1,32g/cm ³	1,83g/cm ³
Material pulverulento	6,86%	8,21%
Diâmetro máximo	2,4 mm	4,8 mm
Módulo de finura	1,58	2,73

Fonte: Autor

Figura 18 - Composição granulométrica dos agregados miúdos



*AB areia de britagem e AR areia de rio

Fonte: Autor

A areia de rio apresentou-se mais fina do que a areia de britagem e com menos material pulverulento. A Figura 19 mostra as imagens dos agregados.

Figura 19 - Imagem dos grãos de areia de rio (a) e areia de britagem (b) retidas na peneira #2,4 mm



Fonte: Autor

4.1.4 Aditivo superplastificante

O superplastificante utilizado foi o Powermix 381, da MC Bauchemie, e suas características foram fornecidas pelo fabricante e encontram-se na Tabela 11. Esse aditivo é indicado principalmente para argamassas fluidas.

Tabela 11 - Características do aditivo superplastificante

Característica	Valor	Informações
Densidade	1,10 kg/L	
Dosagem recomendada	0,2% ≤ Teor recomendado ≤ 5,0%	Sobre o peso do cimento
Teor de sólidos	31%	

Fonte: Autor

4.1.5 Água de amassamento

Utilizou-se, para o desenvolvimento das pastas cimentícia e argamassas, água potável proveniente da rede de abastecimento da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento.

4.2 Teor de aditivo e quantidade de água

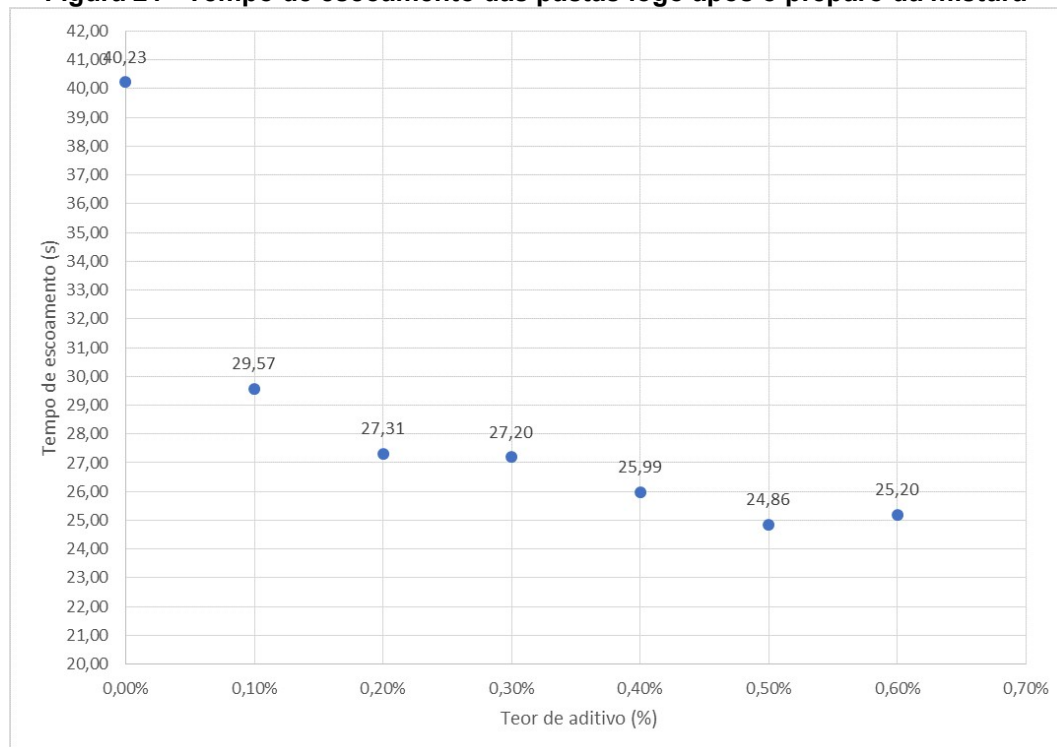
O ensaio de escoamento no cilindro espanhol (Figura 20) foi realizado logo após o preparo da mistura. A Figura 21 apresenta o tempo de escoamento para cada teor de aditivo e a Figura 22 relata a influência do tempo em cada teor de aditivo.

Figura 20 - Avaliação do tempo de escoamento no cilindro espanhol



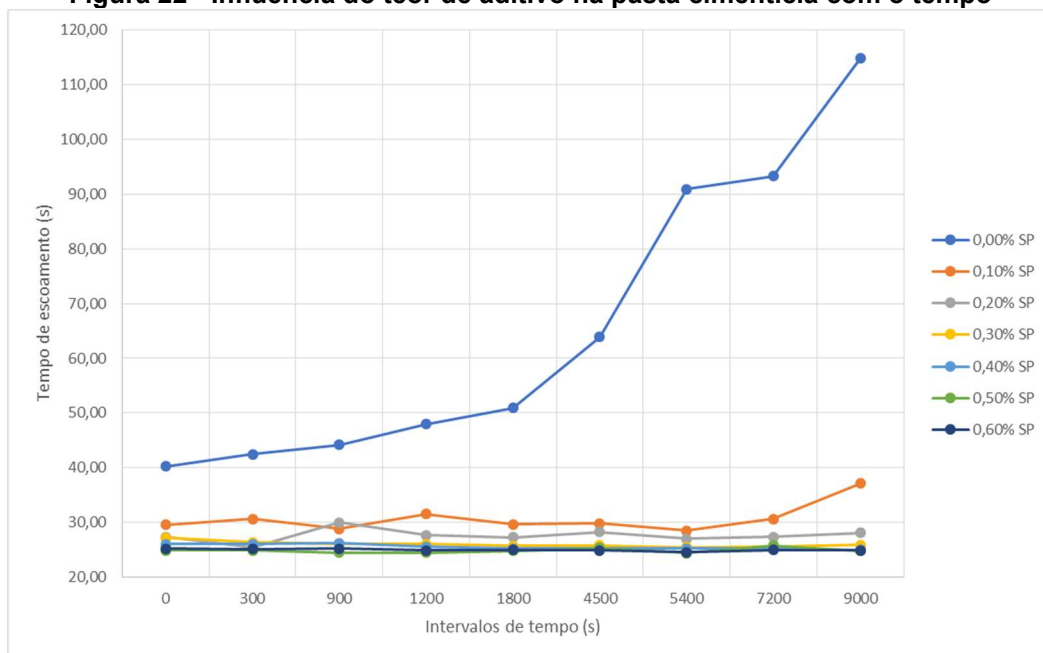
Fonte: Autor

Figura 21 - Tempo de escoamento das pastas logo após o preparo da mistura



Fonte: Autor

Figura 22 - Influência do teor de aditivo na pasta cimentícia com o tempo



Fonte: Autor

A partir dos resultados, estabeleceu-se que o teor aditivo superplastificante a ser utilizado para o desenvolvimento das argamassas foi de 0,5% em relação à massa de cimento, pois foi o teor que obteve o menor tempo de escoamento.

4.3 Composição do esqueleto granular

A composição inicial deu-se entre o agregado miúdo de britagem e do agregado miúdo de rio. Realizou-se a mistura destes materiais em diferentes proporções, e com as equações (1), (2) e (3) apresentadas anteriormente, calculou-se o índice de vazios (Tabela 12). A Figura 23 apresenta o resultado dos índices de vazios de cada composição desenvolvida.

Tabela 12 – Composição (em massa) de areia de britagem e areia de rio

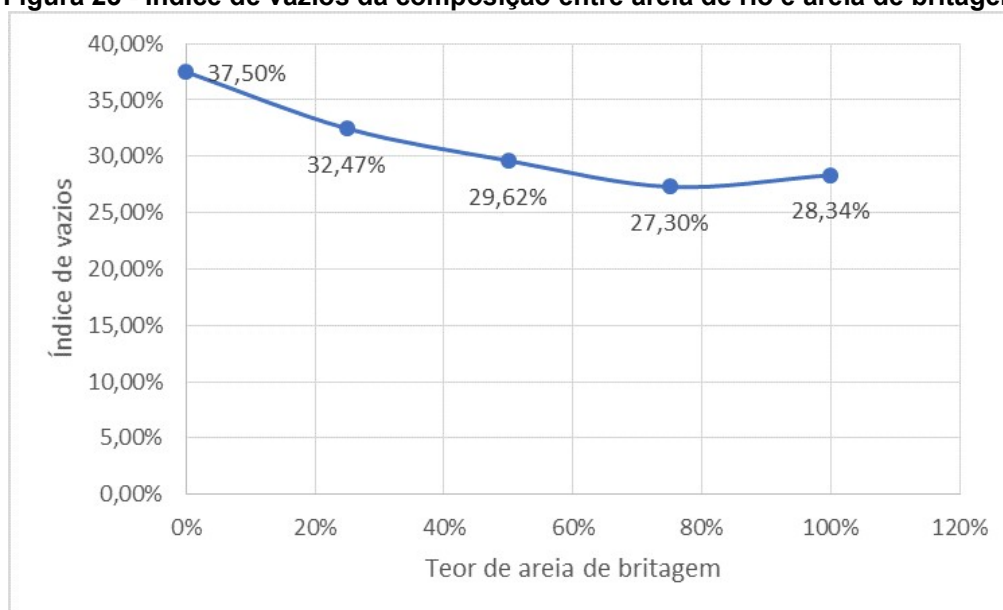
Areia de rio (%)	Areia de britagem (%)	Massa específica ¹ (g/cm ³)	Massa específica ² (g/cm ³)	Massa específica da mistura (g/cm ³)	Massa unitária da mistura (g/cm ³)	Índice de vazios (%)
100	0	2,60	2,66	2,60	1,625	37,50
75	25			2,615	1,766	32,47
50	50			2,63	1,851	29,62
25	75			2,645	1,923	27,30
0	100			2,66	1,906	28,34

¹ Massa específica da areia de rio

² Massa específica da areia de britagem

Fonte: Autor

Figura 23 - Índice de vazios da composição entre areia de rio e areia de britagem



Fonte: Autor

A composição, em massa, de 75% de areia de britagem e 25% areia de rio apresentou o menor índice de vazios, por isso, tal mistura foi selecionada para a nova composição, agora com diferentes teores de fíler calcário. A Tabela 13 e a Figura 24 mostram o efeito do fíler calcário no índice de vazios.

Tabela 13 - Valores de massas específicas, massas unitárias e índice de vazios

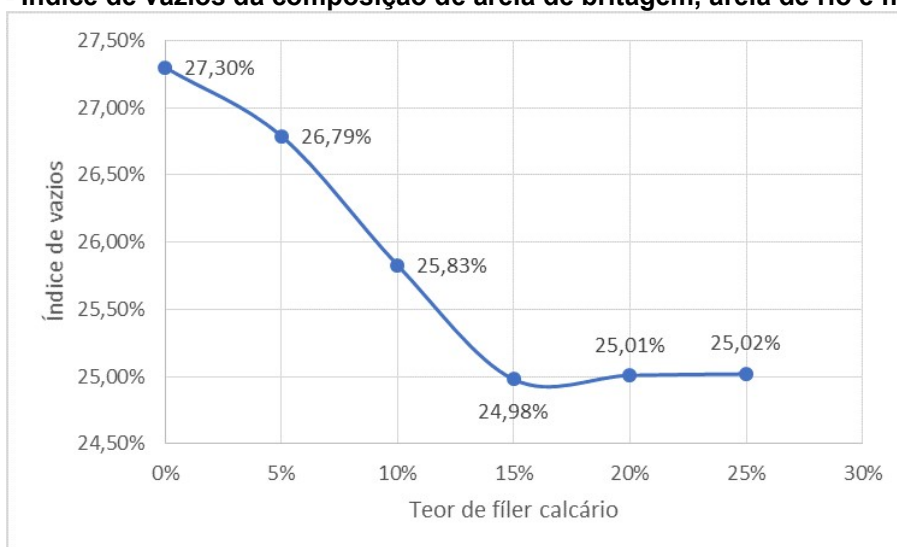
25% areia de rio e 75% areia de britagem (%)	Fíler calcário (%)	Massa específica ¹ (g/cm ³)	Massa específica ² (g/cm ³)	Massa específica da mistura (g/cm ³)	Massa unitária da mistura (g/cm ³)	Índice de vazios (%)
100	0	2,645	2,60	2,645	1,923	27,30
95	5			2,643	1,935	26,79
90	10			2,640	1,958	25,83
85	15			2,638	1,979	24,98
80	20			2,636	1,977	25,01
75	25			2,634	1,975	25,02

¹Massa específica da composição de 25% areia de rio e 75% areia de britagem

²Massa específica do fíler calcário

Fonte: Autor

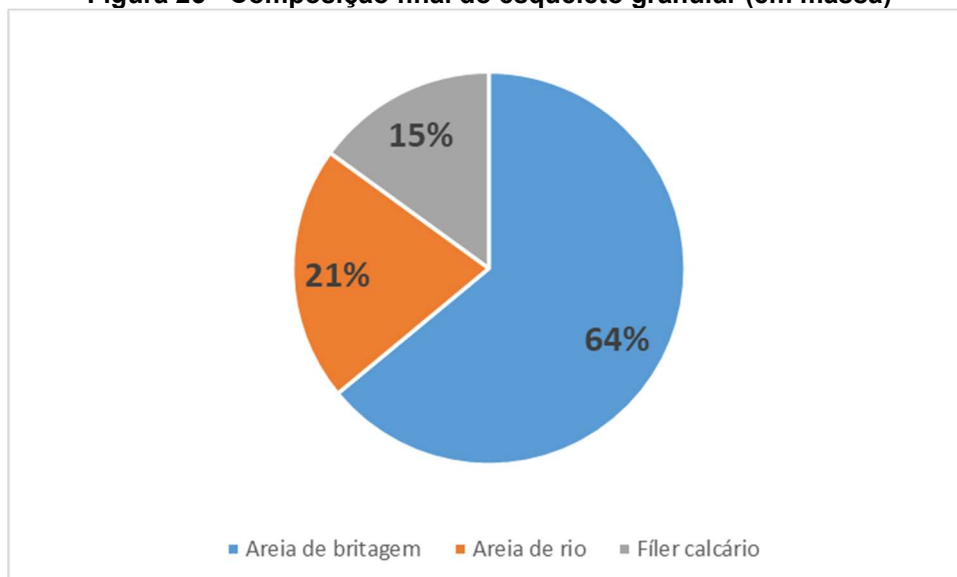
Figura 24 - Índice de vazios da composição de areia de britagem, areia de rio e filer calcário



Fonte: Autor

Avaliando a Figura 24, é possível verificar que a alteração no índice de vazios foi pequena. Entretanto, decidiu-se por utilizar 15% de filer calcário, uma vez que o mesmo auxilia no controle de exsudação. Teores acima de 15% mantiveram praticamente inalterados os índices de vazios. Assim, a composição final do esqueleto granular utilizado encontra-se na Figura 25.

Figura 25 - Composição final do esqueleto granular (em massa)



Fonte: Autor

4.4 Desenvolvimento das argamassas autoadensáveis

As três argamassas autoadensáveis foram produzidas seguindo a metodologia de dosagem proposta. Partindo da pasta com relação a/c de 0,73, a composição do esqueleto granular foi adicionada até atingir a fluidez especificada e repetiu-se para mais duas relações a/c, uma acima e uma abaixo.

As composições das argamassas desenvolvidas – traço (kg/kg), resumida e detalhada – e consumo (kg/m³) encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 14, 15 e 16. A Tabela 16, quando apresenta os resultados de consumo de materiais por m³, leva em consideração o teor de ar incorporado.

Tabela 14 - Composição resumida (kg/kg) em relação à massa de cimento Portland

Cimento Portland		1,00	
Agregado miúdo	3,00	3,68	4,34
Água	0,60	0,73	0,85
Superplastificante		0,5%	

Fonte: Autor

Tabela 15 - Composição detalhada (kg/kg) em relação à massa de cimento Portland

Cimento Portland	1,00	1,00	1,00
Areia de rio	0,65	0,80	0,94
Areia de britagem	1,96	2,40	2,83
Filer calcário	0,39	0,48	0,57
Água	0,60	0,73	0,85
Superplastificante	0,005	0,005	0,005

Fonte: Autor

Tabela 16 - Consumo de materiais, em kg/m³

Cimento Portland	397,40	340,12	311,55
Areia de rio	258,31	272,09	292,85
Areia de britagem	778,91	816,28	881,68
Filer calcário	154,99	163,26	177,58
Água	238,44	246,58	264,81
Superplastificante	1,95	1,67	1,53

Fonte: Autor

Utilizando os resultados de massa específica, material pulverulento das areias e o volume de material por m³ foi possível verificar a quantidade de finos nas argamassas desenvolvidas. Nessa observação, constatou-se que todas as argamassas desenvolvidas apresentaram um volume de finos semelhantes (Tabela 17). Nota-se que todas as argamassas apresentaram, em sua composição, aproximadamente, 200 litros de material fino.

Tabela 17 - Volume de finos das argamassas desenvolvidas

	Argamassa com a/c = 0,60		Argamassa com a/c = 0,73		Argamassa com a/c = 0,85	
	Quantidade (kg)	Quantidade (L)	Quantidade (kg)	Quantidade (L)	Quantidade (kg)	Quantidade (L)
CP II F	397,40	129,45	340,12	110,79	311,55	101,48
Areia de rio	258,31	6,82	272,09	7,18	292,85	7,72
Areia de britagem	778,91	24,04	816,28	25,19	881,68	27,21
Fíler calcário	154,99	59,61	163,26	62,79	177,58	68,3
Volume de finos		219,92		205,92		204,71

Fonte: Autor

A composição do esqueleto granular mostrou-se importante na redução do consumo de pasta cimentícia. Quando verificado o volume de pasta (cimento + água) nas argamassas e comparado com a argamassa produzida por Martins *et al.* (2019), onde não se realizou a composição do esqueleto granular, percebe-se uma redução considerável do consumo de pasta cimentícia (Tabela 18).

Tabela 18 - volume de pasta cimentícia das argamassas

Argamassas autoadensáveis	Volume de pasta (L)
Argamassa com a/c = 0,60	367,89
Argamassa com a/c = 0,73	357,36
Argamassa com a/c = 0,85	366,29
Argamassa com fíler calcário de Martins <i>et al.</i> (2019)	438,38

Fonte: Autor

Os resultados do ensaio de espalhamento pelo método do mini tronco de cone e do ensaio com o Funil-V são apresentados na Tabela 19, assim como a densidade de massa e o teor de ar incorporado.

Tabela 19 - Resultados dos ensaios no estado fresco das argamassas autoadensáveis formuladas

Cimento Portland	1,00		
Agregado miúdo	3,00	3,68	4,34
a/c	0,60	0,73	0,85
Espalhamento (mm)	285	290	291
Funil-V (s)	10	7	7
Densidade de massa (g/cm³)	1,83	1,84	1,93
Densidade de massa teórica (g/cm³)	2,23	2,21	2,19
Ar incorporado (%)	17,0	16,6	12,0

Fonte: Autor

As argamassas desenvolvidas apresentaram um alto teor de incorporado. Tal situação justifica-se, pois, o aditivo superplastificante utilizado auxilia na incorporação de ar, deixando as mesmas mais leves e reduzindo as chances de fissuração.

As Figuras 26, 27 e 28 são referentes ao espalhamento de cada argamassa produzida. Nota-se que não há presença de exsudação nem segregação.

Figura 26 – Espalhamento da argamassa autoadensável com $a/c = 0,60$



Fonte: Autor

Figura 27 - Espalhamento da argamassa autoadensável com $a/c = 0,73$



Fonte: Autor

Figura 28 - Espalhamento da argamassa autoadensável com a/c = 0,85



Fonte: Autor

Vale ressaltar que a utilização do aditivo fixo pode resultar em argamassas muito viscosas. Caso isso aconteça e essa viscosidade cause uma desconformidade no ensaio do Funil V, deve-se reduzir o consumo de aditivo e aumentar o consumo de água para reduzir a viscosidade sem atrapalhar a fluidez.

4.5 Ensaio das propriedades mecânicas

Após respeitar o processo de cura, as argamassas, foram caracterizadas no estado endurecido. Tal caracterização tem como objetivo a obtenção de dados para o desenvolvimento do diagrama de dosagem. Assim, os resultados de resistência à tração na flexão, resistência à compressão e densidade de massa aparente encontram-se na Tabela 20. Conforme esperado, à medida que se aumenta a relação água/cimento reduz a resistência mecânica. Devido ao aditivo SP, as argamassas apresentaram um alto teor de ar incorporado, não atingindo a resistência de 20 MPa – resistência à compressão mínima para pisos com espessura entre 30 e 40 mm segundo a AENOR (2014). Como ponto positivo, tem-se que o aumento do ar incorporado pode reduzir problemas como fissuração, no estado endurecido, além de auxiliar na coesão no estado fresco. Entretanto, caso fosse necessário argamassas com resistências superiores, seria necessário reduzir a relação a/c.

Tabela 20 - Propriedades no estado endurecido das argamassas autoadensáveis formuladas

	a/c = 0,60	a/c = 0,73	a/c = 0,85
Resistência à tração (MPa)	5,90	5,55	5,39
Desvio padrão	0,32	0,23	0,17
Resistência à compressão (MPa)	21,24	18,80	16,76
Desvio padrão	0,76	1,39	0,46
Densidade de massa aparente (g/cm³)	1,88	1,92	1,92

Fonte: Autor

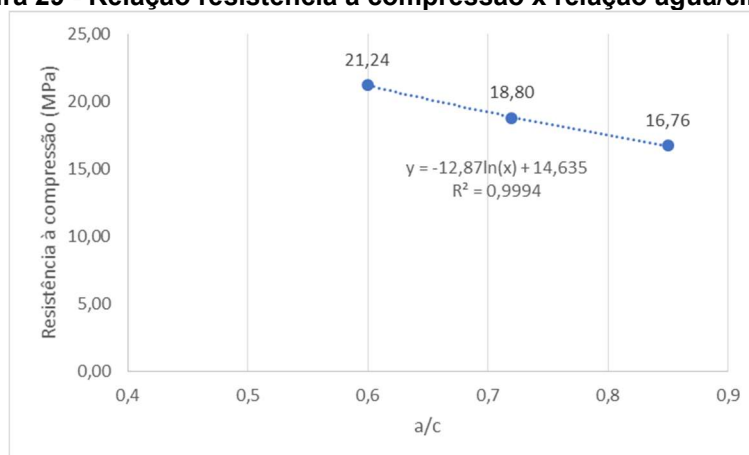
4.6 Diagrama de dosagem

O resultado final da metodologia de dosagem proposta no presente estudo foi o desenvolvimento de um diagrama de dosagem. O diagrama de dosagem, introduzido inicialmente por Prizskulnik e Kirilos, em 1974, para concretos, facilita o entendimento do comportamento de uma família de concreto de mesmo abatimento, mas de propriedades diferentes depois de endurecidos (HELENE, 2005).

Analogamente, o diagrama de dosagem para argamassas autoadensáveis funcionará com o mesmo objetivo: facilitar o entendimento de uma família de argamassas em estudo – as quais possuem características similares no estado fresco, porém características distintas no estado endurecido.

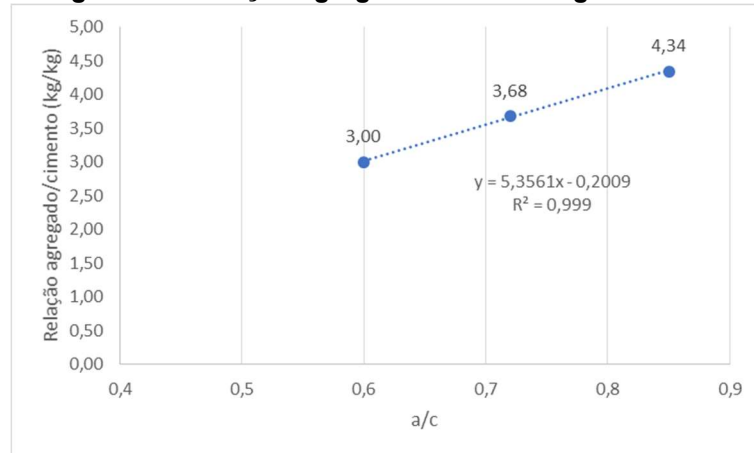
As relações realizadas foram: resistência à compressão x relação água/cimento; relação água/cimento x teor de agregado; e teor de agregado x consumo de cimento. Nas Figuras 29, 30 e 31 observa-se que houve uma boa correlação para todos os casos.

Figura 29 - Relação resistência à compressão x relação água/cimento



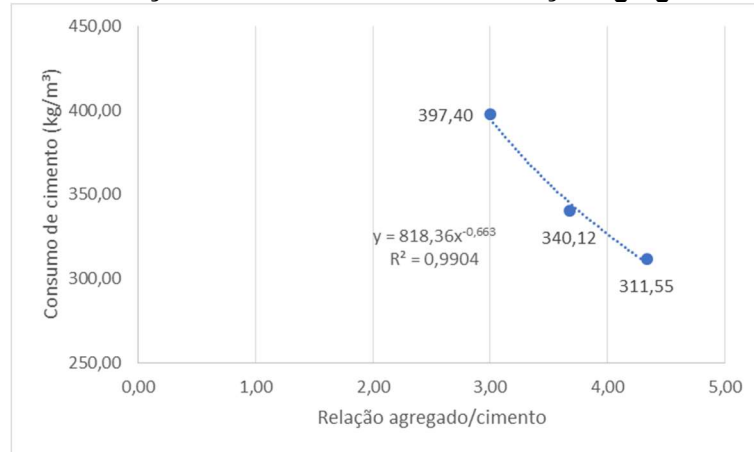
Fonte: Autor

Figura 30 - Relação agregado/cimento x água/cimento



Fonte: Autor

Figura 31 - Relação consumo de cimento x relação agregado/cimento



Fonte: Autor

A partir dos dados obtidos calculou-se as equações da Lei de Abrams, Lyse e Molinari (Tabela 21) – pelo processo dos mínimos quadrados – para o estudo de dosagem desenvolvido.

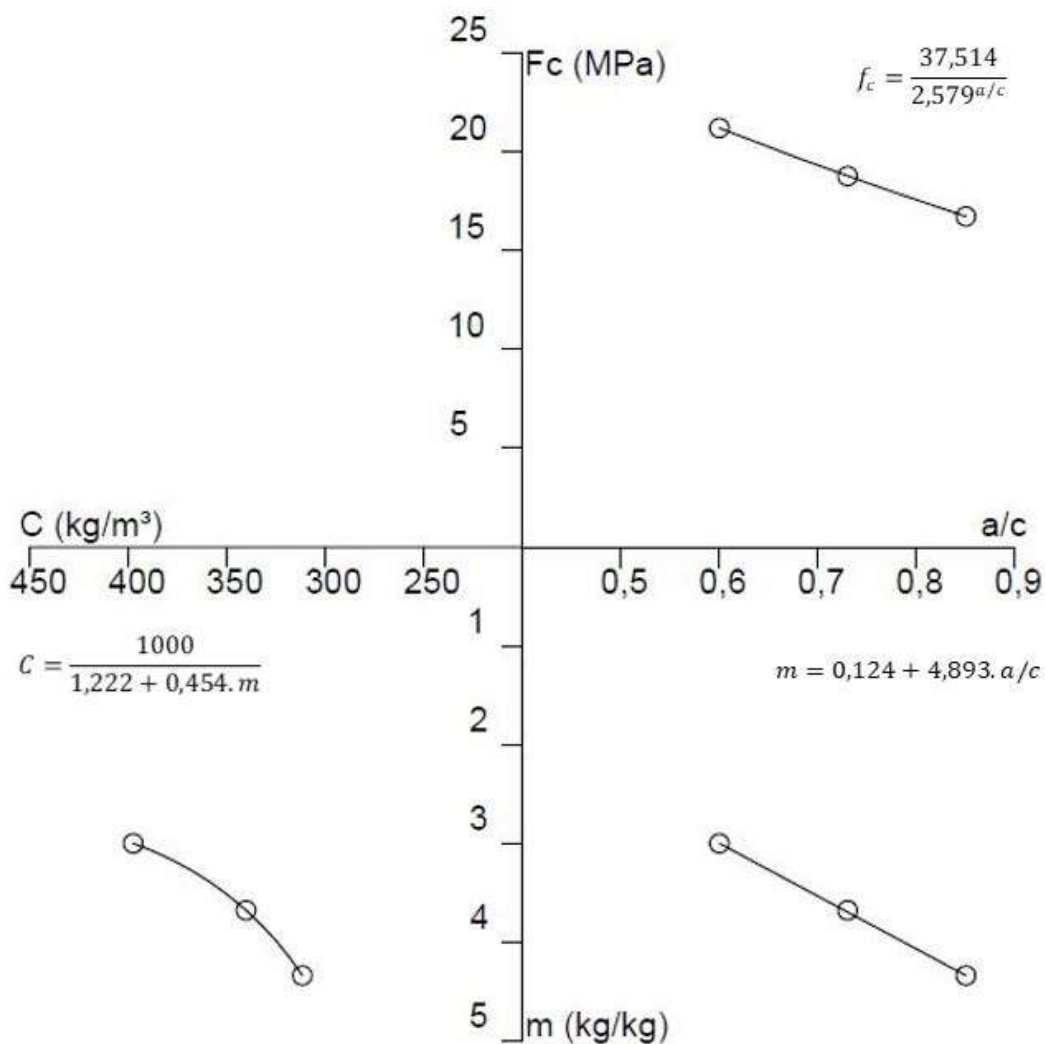
Tabela 21 - Equações para metodologia de dosagem

Lei de Abrams	Lei de Lyse	Lei de Molinari
$f_c = \frac{37,514}{2,579a/c}$	$m = 0,124 + 4,893 \cdot a/c$	$C = \frac{1000}{1,222 + 0,454 \cdot m}$

Fonte: Autor

A figura 32 apresenta o Diagrama de dosagem para argamassa autoadensável que pode ser utilizado para auxiliar na determinação das informações necessárias para a produção das argamassas.

Figura 32 - Diagrama de dosagem



Fonte: Autor

Devido à pandemia de Covid-19, não foi possível validar o método de dosagem. Um exemplo da aplicação seria: se desejar uma argamassa autoadensável de 20 MPa, entra no diagrama e encontra-se a Relação $a/c = 0,65$. Aplicando-se as Equações encontram-se o teor de agregado e quantidade de cimento.

$$m = 0,124 + 4,893 \cdot 0,65 = 3,31$$

$$C = \frac{1000}{1,222 + 0,454 \cdot 3,31} = 367,01 \text{ kg/m}^3$$

Para produção desta argamassa será consumido 367 kg de cimento por m^3 , a relação cimento:esqueleto granular será de 1:3,31 e a relação a/c de 0,65.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de materiais industrializados, com maior controle tecnológico e maior produtividade conquista mais espaço no cenário da construção civil ao passo que se intensifica a competitividade entre as organizações. A argamassa autoadensável surge com o intuito de otimizar e promover mais qualidade a um processo que, atualmente, é muito artesanal e de baixa produtividade. Entretanto, por se um material pouco utilizado na construção civil, em especial no cenário nacional, a falta normalização, a falta de métodos de dosagem e a falta de conhecimento técnico dos profissionais da área sobre esse material limita a disseminação do mesmo.

O método de dosagem proposta permitiu o desenvolvimento de argamassas autoadensáveis de forma padronizada, proporcionando composições com poucas variáveis, facilitando assim as comparações e avaliações entre as mesmas. A composição do esqueleto granular mostrou-se importante na redução do consumo de pasta cimentícia. No entanto, o método não pode ser validado devido ao impedimento do uso do laboratório causado pelo Covid-19.

A ausência de métodos de dosagem para argamassa autoadensável impossibilita uma avaliação comparativa deste método. Por isso, torna-se importante o desenvolvimento de diferentes métodos ou o aprimoramento do mesmo.

6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Essa pesquisa foi o início de um estudo de metodologia de dosagem. Impossível tomar o mesmo como um método pronto e imutável. Entretanto, possibilitou verificar que é possível aprimorar os estudos de dosagem sobre argamassa autoadensável. Algumas sugestões para futuros estudos e complementos a essa pesquisa são:

- Validar o método proposto;
- Validar o método proposto a partir do desenvolvimento de outras curvas com diferentes composições de materiais;
- Avaliar o custo das argamassas desenvolvidas utilizando o método proposto;
- Estudo de diferentes composições de agregados (diferentes tipos de areias e finos se compondo em diferentes teores) e avaliar sua influência na argamassa;
- Estudar o teor ótimo em pastas cimentícia com diferentes aditivos superplastificante e, em seguida, desenvolver argamassas com teores estudados.

REFERÊNCIAS

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR).
UNE-EN 13813. **Pastas autonivelantes y pastas autonivelantes para suelos.
Características y especificaciones.** 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575: Edificações
habitacionais - Desempenho.** Rio de Janeiro, 2013

_____. **NBR 7225: Materiais de pedra e agregados naturais.** Rio de Janeiro,
2017.

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro,
2011.

_____. **NBR 13.280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes
e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado
endurecido.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15.630: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes
e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da
propagação de onda ultra-sônica.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 16.605: Cimento Portland e outros materiais em pó –
Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e 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, 2001.

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

_____. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição
granulométrica.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES DE MORTERO (AFAM). **Guia morteros especiales**. 1. ed. Madrid, 2005.

BARROS, Mercia Maria Semensato Bottura de; SABBATINI, Fernando Henrique. **Tecnologia de Produção de Contrapisos Habitacionais e Comerciais**. São Paulo: EPUSP, 1991. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00044.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2019.

BATTAGIN, A; BATTAGIN, I. Cimento Portland. In: ISAIA, G. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: IBRACON, 2017.

BORGES, Joice Giuliani Krás. **Análise das propriedades acústicas de contrapisos produzidos com materiais reciclados**. 2015. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo, 2015.

BRANCO, A. C., BRITO, M. Contrapiso Autonivelante. **2ª caderno de casos de inovadora construção civil**. 2014. Disponível em: < https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/2_Caderno_de_Casos_de_Inovacao_na_Construcao_Civil_2014.pdf>

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: IBRACON, 2017.

CHAVES, Patrícia da Silva. **Argamassa autonivelante com adição mineral (fíler) de resíduo de beneficiamento de mármore e granito**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

CARVALHO, Henrique Duarte Sales. **Análise de Retração por Secagem em Argamassas Autonivelantes Utilizando Adições Mineraias Como Substitutos Parciais do Cimento Portland**. 2015. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

EFNARC. **Specification for Synthetic Resin and Polymer-modified Cementitious Floorings as wearing surfaces for industrial and commercial use**. United Kingdom, 2001.

EFNARC. **Specification and Guidelines for self-compacting concrete**. United Kingdom, 2002.

EFNARC. **The European guidelines for self-compacting concrete: specification, production and use.** United Kingdom, 2005.

FRACALOSSO, Romulo Augusto Rigon. **Aditivos à base de policarboxilatos: influência nos tempos de pega e na manutenção do abatimento em pastas de cimento Portland.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

FIORENTIN, Thais Regina. **Influência do aditivo modificador de viscosidade e do fíler calcário no comportamento de pastas e argamassas de concreto auto-adensável.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Pato Branco, 2011.

GAMA, Hellen Magalhães Alves. **Desenvolvimento de contrapiso autonivelante com adição de metacaulim, aditivo polifuncional e aditivo modificador de viscosidade.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe, Aracaju, 2017.

GOMES, Paulo César Correia; BARROS, Alexandre Rodrigues de. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável.** São Paulo: Pini, 2009.

HELENE, Paulo. Dosagem dos concretos de cimento Portland. **In: Concreto: ensino, pesquisa e realizações.** Ed: G.C. ISAIA. São Paulo, volume 1, capítulo 15, p.439-471, 2005.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle de concreto.** 1. ed. São Paulo: Pini, 1992.

INÉIA, Adriano. **Viabilização da substituição da areia natural pelo pó de pedra basáltica na argamassa autonivelante.** 2017. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, UNIVATES, Lajeado, 2017.

ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia.** 1. Ed. São Paulo: Ibracon, 2011.

ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia dos materiais: Conceituação, ciência dos materiais, rochas e solos, aglomerantes minerais.** 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2017.

KATSIADRAMIS N. I. *et al.* **Experimental and comparative study on the characteristics of self-levelling mortar for optimisation with marble as aggregate.** British Hellenic College, Athens, Greece, 2010.

KRAUS, Zaira Fabrício. **Investigação de misturas de argamassas para dosagem do concreto auto-adensável contendo ora filer calcário, ora aditivo promotor de viscosidade em substituição ao filer.** 2006. 154 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MARTINS, Eliziane Jubanski. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa auto-nivelante.** 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MARTINS, Ben-Hur Raíra *et al.* Influência da adição de diferentes finos em argamassa autoadensável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 61., 2019, Fortaleza. **Anais do 61º Congresso Brasileiro de Concreto.** Fortaleza: Ibracon, 2019. p. 1-13.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais.** 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

MELO, Karoline Alves de. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de filer calcário.** 2005. 183 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MELO, Luan Luiz Félix de. **Dosagem de argamassa autonivelante para contrapiso.** 2015. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

NAKAKURA, Elza Hissae; BUCHER, Hans Roman Edmundo. **Pisos autonivelantes: propriedades e instalação.** II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Salvador, 1997.

NENEVÊ, Bruno Leandro. **Desenvolvimento de formulações de argamassas autonivelantes para contrapiso e proposição de requisitos de desempenho.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, 2017.

NGUYEN, Hoang-anh. **Enhancement of engineering properties of slag-cement based self-compacting mortar with dolomite powder.** Journal of Building Engineering, v. 24, jun. 2019.

OLIVEIRA, Talita Yasmin Mesquita de. **Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações.** 2015. 114 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

PETRY, Filipe. **Análise e otimização do método de dosagem Repette-Melo para concreto autoadensável através do modelo de empacotamento compressível de partículas (MEC).** 2015. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

PINTO, M. C. C. **Procedimento de dosagem de pasta cimentícia para argamassa autonivelante,** Iniciação Científica (UFPR) / 2010-2011.

RECENA, Fernando Antônio Piazza. **Conhecendo Argamassa.** 2. ed. Porto Alegre: ediPUCRS, 2015.

REPETTE, L. W. **Concretos de última geração: presente e futuro.** In: CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005, V. 2, cap. 49, p. 1509-1550.

RIZWAN, Syed Ali; BIER, Thomas A. **Blends of limestone powder and fly-ash enhance the response of self-compacting mortars.** Construction And Building Materials. p. 398-403. ago. 2011.

RUBIN, Ariane Prevedello. **Argamassas autonivelantes industrializadas para contrapiso: análise do desempenho físico-mecânico frente às argamassas dosadas em obra.** 2015. 207 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SANTOS, White José dos. **Desenvolvimento de metodologia de dosagem de argamassas de revestimento e assentamento.** 2014. 179 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

SCHAEFER, Cecília Ogliari. **Valorização da fonte alternativa de sulfato de cálcio para a produção de argamassas autonivelantes.** 2013. 387 f. Tese (Doutorado) –

Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SILVA, Sarah Honorato Lopes da. **Desenvolvimento de formulações de argamassas autonivelantes para pisos e avaliação da retração por secagem.** 2016. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Relatório Anual.** Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2013.pdf>. Acesso em: 01 out. 2020.

SOUZA, Natália Cerqueira de. **Análise de desempenho do contrapiso autonivelante em relação ao sistema tradicional.** 2013. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

SOUZA, Aline Suzane de; FERREIRA, Aline Zuchi; AZEVEDO, Bruna Louise de Oliveira. **Estudo para desenvolvimento de argamassa autonivelante para contrapiso.** 2012. 105 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis.** 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos auto-adensáveis.** 2007. 163 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; DAL MOLIN, Denise Carpenadal. **Concreto Autoadensável.** 2. ed. São Paulo: Pini, 2015.

CSI (2016): WBCSD, World Business Council for Sustainable Development, **Cement Industry Energy and CO2 Performance Getting the Numbers Right (GNR). 2016**