

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

HELLEN MAGALHÃES ALVES GAMA

**DESENVOLVIMENTO DE CONTRAPISO AUTONIVELANTE COM ADIÇÃO DE
METACALIM, ADITIVO POLIFUNCIONAL E ADITIVO MODIFICADOR DE
VISCOSIDADE**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2017

HELLEN MAGALHÃES ALVES GAMA

**DESENVOLVIMENTO DE CONTRAPISO AUTONIVELANTE COM ADIÇÃO DE
METACALUM, ADITIVO POLIFUNCIONAL E ADITIVO MODIFICADOR DE
VISCOSIDADE**

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel, da
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do
Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientadora: Prof(a). Dra. Carla Cristina
Nascimento Santos Pereira

ARACAJU

2017

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS ARACAJU
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia Nº 057

DESENVOLVIMENTO DE CONTRAPISO AUTONIVELANTE COM ADIÇÃO DE METACALIM, ADITIVO POLIFUNCIONAL E ADITIVO MODIFICADOR DE VISCOSIDADE

HELLEN MAGALHÃES ALVES GAMA

Esta monografia foi apresentada às 09 horas e 30 minutos do dia 20 de junho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores e pela engenheira abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). MSc. Andréa Santana Teixeira Lins
(IFS – Campus Aracaju)

Eng(a). Hannah Uruga Oliveira
(IFS – Campus Aracaju)

Prof(a). Dra. Carla Cristina Nascimento Santos Pereira
(IFS – Campus Aracaju)
Orientadora

Prof. MSc. Rodolfo Santos da Conceição
(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador do Curso de Engenharia Civil

Dedico este trabalho a todos que encontrei no meu caminho, pois não houve ninguém que, de algum modo, não fosse determinante ou que não me fizesse refletir por onde eu deveria seguir para alcançar o futuro que depende apenas de mim.

AGRADECIMENTOS

A Deus, sou grata pela vida. Agradeço por estar sempre comigo me protegendo e me direcionando pelos caminhos que devo seguir.

A minha orientadora, Carla Cristina que abdicou de tantas coisas para que esse trabalho pudesse ser realizado.

A minha mãe, Maria, por estar sempre disposta a fazer qualquer coisa que eu peça e ao meu pai, Pedro, por tudo aquilo que ele deixou de ter para poder me dar.

Aos meus irmãos, Pablo, Marcel e Fernanda, por serem exemplos de pessoas a seguir, por suportarem meus estresses, pelos vários conselhos e pelas palavras de força.

A meu amor, Valdson, por nunca estar cansado e estar sempre disposto a me ajudar, mas principalmente por me permitir estar ao seu lado. Tenho muita sorte de ter encontrado você!

As minhas sobrinhas, Julia e Luísa, que apesar de tão pequenas me proporcionam momentos de alegria em que o mundo pode estar um caos, mas através delas eu só enxergo o amor.

Aos meus companheiros de laboratório, Juan, Rammom e Sara pelos finais de semana e noites que passamos juntos no laboratório. Unidos venceremos!

Enfim, agradeço a todos que compreenderam a minha ausência e se fizeram presentes.

“Não é sobre chegar no topo do mundo e saber que venceu. É sobre escalar e sentir que o caminho te fortaleceu.” Ana Vilela.

RESUMO

GAMA, HELLEN MAGALHÃES ALVES. **Desenvolvimento de contrapiso autonivelante com adição de metacaulim, aditivo polifuncional e aditivo modificador de viscosidade.** 86 páginas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

Durante a construção da sociedade, o homem sempre procurou meios de criar novas ferramentas e substâncias que melhorassem a relação entre o trabalho e o conhecimento, elevando assim a produtividade e a qualidade em detrimento a um sistema primitivo de construção. Por conseguinte, a área da engenharia civil é um canteiro para a aplicação dessas experiências tendo como exemplo o desenvolvimento de contrapiso e argamassas que vão desde o tradicional ao autonivelante. O contrapiso autonivelante é um elemento do subsistema piso, composto por apenas uma camada o qual é lançado sobre uma laje estrutural adequadamente preparada que tem como principal função nivelar as superfícies, já a característica principal da argamassa autonivelante é sua fluidez elevada, quando comparada com as argamassas tradicionais, decorrente do contato reduzido entre as partículas maiores causado pelo grande afastamento delas. Através do uso de um teor de finos elevado, esse comportamento torna-se possível. No Brasil, a argamassa autonivelante para contrapiso é um material relativamente novo, e somente em 2008, pesquisadores e empresas da construção civil se interessaram em começar a estudá-la. O presente trabalho permitiu analisar a influência dos materiais empregados numa argamassa autonivelante e determinar traços que podem ser utilizados para o emprego dessas argamassas como contrapiso autonivelante. As argamassas estudadas foram compostas por cimento, metacaulim, areia fina com granulometria inferior a 0,6 mm, aditivo polifuncional e aditivo modificador de viscosidade. Observou-se que essa composição é incomum visto que nos trabalhos acerca desse tema eram utilizados a sílica ativa e aditivo superplastificante, no lugar do metacaulim e de aditivo polifuncional. Conclui-se que o traço ótimo entre todas as argamassas produzidas foi o traço 1:0,0375:1.56 de cimento, metacaulim e areia com relação água/cimento 0,52 e adição de 0,4% de aditivo polifuncional e 0,77% de aditivo modificador de viscosidade. Os valores de tempo de escoamento, diâmetro de espalhamento e resistência à compressão foram intermediários em relação aos traços desenvolvidos em laboratório e quase não apresentou segregação e exsudação. Esse traço corresponde a uma argamassa para contrapiso autonivelante adequada.

Palavras chaves: Contrapiso. Autonivelante. Argamassa. Metacaulim. Aditivo.

ABSTRACT

GAMA, HELLEN MAGALHÃES ALVES. **Development of self-leveling subfloor with addition of metakaolin, polyfunctional additive and viscosity modifying additive.** 86 pages. Undergraduate Thesis (Civil Engineer Bachelor) – Federal Institute of Education, Science and Technology of Sergipe – Aracaju University Campus. 2017.

During the construction of society, man has always sought ways to create new tools and substances that improve the relationship between work and knowledge, thus raising productivity and quality over a primitive system of construction. Therefore, the area of civil engineering is a bed for the application of these experiences, taking as an example the development of subfloor and mortars ranging from traditional to self-leveling. The self-leveling subfloor is an element of the subsystem floor, composed of only one layer which is laid on a properly prepared structural slab that has as main function to level the surfaces, whereas the main characteristic of self-leveling mortar is its high fluidity, when compared to mortars, due to the reduced contact between the larger particles caused by their large spacing. By using a high fines content, this behavior becomes possible. In Brazil, self-leveling mortar for subfloor is a relatively new material, and only in 2008 did researchers and construction companies become interested in starting to study it. The present work allowed to analyze the influence of the materials used in a self-leveling mortar and to determine traces that can be used for the use of these mortars as self-leveling subfloor. The mortars studied were composed of cement, metakaolin, fine sand with a grain size of less than 0.6 mm, polyfunctional additive and viscosity modifying additive. It was observed that this composition is unusual since in the works on this subject the active silica and superplasticizer additive were used, instead of metacaulim and polyfunctional additive. It was concluded that the optimum trait of all the mortars produced was trace 1: 0.0375: 1.56 of cement, metakaolin and sand with water/cement ratio 0.52 and addition of 0.4% of polyfunctional additive and 0.77 % of viscosity modifying additive. The values of flow time, spreading diameter and compressive strength were intermediate in relation to traces developed in the laboratory and had almost no segregation and exudation. This feature corresponds to a suitable self-leveling subfloor mortar.

Key words: Subfloor. Self-leveling. Mortar. Metakaolin. Additive.

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 - Corte do sistema/vedação horizontal interna.	19
Imagem 2 - Corte do sistema/vedação horizontal interna.	20
Imagem 3 - Execução de contrapiso convencional de uma obra em Aracaju/SE.	22
Imagem 4 - Contrapiso convencional de uma obra em Aracaju/SE.	23
Imagem 5 - Bombeamento de contrapiso autonivelante de uma obra em Aracaju/SE.	25
Imagem 6 - Contrapiso autonivelante de uma obra em Aracaju/SE.....	27
Imagem 7 - Descrição do equipamento utilizado no ensaio com Cilindro Espanhol. .	40
Imagem 8 - Amostra de Cimento Portland CP II - Z - 32.....	41
Imagem 9 - Amostra de metacaulim.....	42
Imagem 10 - Amostra de areia branca.....	43
Imagem 11 - Polifuncional Plastofluid RMX 309 da fabricante ERCA.....	44
Imagem 12 - Aditivo modificador de viscosidade da Sika.	45
Imagem 13 - Balança de precisão 0,01 g.....	48
Imagem 14 - Argamassadeira mecânica.....	49
Imagem 15 - Procedimento de mistura.	49
Imagem 16 - Execução do ensaio com Cilindro Espanhol.	51
Imagem 17 - Rompimento de corpo de prova em prensa hidráulica.	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação entre o consumo de cimento (kg/m^3) e o diâmetro de espalhamento (cm).	55
Gráfico 2 - Relação entre a quantidade de cimento (g) e o diâmetro de espalhamento (cm).	56
Gráfico 3 - Relação da quantidade de cimento (g) apenas com o diâmetro de espalhamento.	57
Gráfico 4 - Relação entre o consumo de cimento (kg/m^3) e o tempo de escoamento (s).	58
Gráfico 5 - Relação entre a quantidade de cimento (g) e o tempo de escoamento (s).	58
Gráfico 6 - Relação da quantidade de cimento (g) apenas e o tempo de escoamento (s).	59
Gráfico 7 - Relação do consumo de metacaulim (kg/m^3) com o diâmetro de espalhamento.	60
Gráfico 8 - Relação do percentual de metacaulim com o diâmetro de espalhamento.	61
Gráfico 9 - Relação do percentual de metacaulim apenas com o diâmetro de espalhamento em traços com 700 g de cimento.	62
Gráfico 10 - Relação do percentual de metacaulim apenas com o diâmetro de espalhamento em traços com 800 g de cimento.	62
Gráfico 11 - Relação do consumo de metacaulim (kg/m^3) com o tempo de escoamento (s).	63
Gráfico 12 - Relação do percentual de metacaulim com o tempo de escoamento (s).	64
Gráfico 13 - Relação do percentual de metacaulim apenas com o tempo de escoamento (s) em traços com 700 g de cimento.	64
Gráfico 14 - Relação do percentual de metacaulim apenas com o tempo de escoamento (s) em traços com 800 g de cimento.	65
Gráfico 15 - Relação do consumo de areia (kg/m^3) com o diâmetro de espalhamento.	66
Gráfico 16 - Relação da proporção de areia com o diâmetro de espalhamento.	67
Gráfico 17 - Relação do consumo de areia (kg/m^3) com o tempo de escoamento (s).	68
Gráfico 18 - Relação da proporção de areia com o tempo de escoamento (s).	69
Gráfico 19 - Relação do percentual de aditivo polifuncional com o diâmetro de espalhamento.	70
Gráfico 20 - Relação do percentual de aditivo polifuncional com o tempo de escoamento (s).	71

Gráfico 21 - Relação do percentual de aditivo VMA com o diâmetro de espalhamento.....	72
Gráfico 22 - Relação do percentual de aditivo VMA apenas com o diâmetro de espalhamento.....	73
Gráfico 23 - Relação do percentual de aditivo VMA com o tempo de escoamento (s).	74
Gráfico 24 - Relação do percentual de aditivo VMA apenas com o tempo de escoamento (s).	74
Gráfico 25 - Resistência dos corpos de prova em MPa.	76
Gráfico 26 - Influência da relação água/aglomerante na resistência à compressão.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidades dos materiais empregados nas argamassas (g).	46
Tabela 2 - Traço das argamassas.....	47
Tabela 3 - Percentual de metacaulim e aditivos nas argamassas.....	48
Tabela 4 - Características físicas das argamassas.	54
Tabela 5 - Resistências médias das argamassas.	76

LISTA DE ABREVIATURAS

VMA	Modificador de viscosidade
NF	Não fez

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EFNARC	European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems
IFS	Instituto Federal de Sergipe
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
µm	Micrômetro
ARI	Alta Resistência Inicial
C3A	Aluminato tricálcico
cm	Centímetro
g	Grama
g/cm ³	Grama por centímetro cúbico
kg	Quilograma
kg/m ²	Quilograma por metro quadrado
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
mm	Milímetro
MPa	Megapascal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	CONTRAPISO	19
3.2	TIPOS DE CONTRAPISO.....	21
3.2.1	Contrapiso convencional	21
3.2.2	Contrapiso autonivelante	24
3.3	ARGAMASSAS.....	28
3.3.1	Argamassa convencional	28
3.3.2	Argamassa autonivelante	28
3.4	MATERIAIS EMPREGADOS.....	33
3.4.1	Cimento	33
3.4.2	Metacaulim	35
3.4.3	Areia	35
3.4.4	Água	37
3.4.5	Aditivos	38
3.4.5.1	Aditivo Polifuncional	38
3.4.5.2	Aditivo Modificador de Viscosidade	38
3.5	ENSAIO COM CILINDRO ESPANHOL	39
4	MATERIAIS E MÉTODOS	41
4.1	MATERIAIS.....	41
4.1.1	Cimento	41
4.1.2	Metacaulim	42
4.1.3	Areia	42
4.1.4	Água	43
4.1.5	Aditivo polifuncional	43
4.1.6	Aditivo modificador de viscosidade	44
4.2	CONFEÇÃO DAS ARGAMASSAS AUTONIVELANTES	46
4.3	METODOLOGIA DOS ENSAIOS.....	50
4.3.1	Ensaio com Cilindro Espanhol	50
4.3.2	Ensaio de resistência à compressão	51
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	53
5.1	ENSAIO COM CILINDRO ESPANHOL	53
5.1.1	Análise da influência do cimento	54

5.1.1.1	Influência do cimento no diâmetro de espalhamento do contrapiso autonivelante.....	54
5.1.1.2	Influência do cimento no tempo de escoamento do contrapiso autonivelante	57
5.1.2	Análise da influência do metacaulim	60
5.1.2.1	Influência do metacaulim no diâmetro de espalhamento do contrapiso autonivelante.....	60
5.1.2.2	Influência do metacaulim no tempo de escoamento do contrapiso autonivelante.....	63
5.1.3	Análise da influência da areia.....	66
5.1.3.1	Influência da areia no diâmetro de espalhamento do contrapiso autonivelante.....	66
5.1.3.2	Influência da areia no tempo de escoamento do contrapiso autonivelante	67
5.1.4	Análise da influência do aditivo polifuncional	69
5.1.4.1	Influência do aditivo polifuncional no diâmetro de espalhamento do contrapiso autonivelante	69
5.1.4.2	Influência do aditivo polifuncional no tempo de escoamento do contrapiso autonivelante	70
5.1.5	Análise da influência do aditivo modificador de viscosidade	71
5.1.5.1	Influência do aditivo modificador de viscosidade no diâmetro de espalhamento do contrapiso autonivelante	72
5.1.5.2	Influência do aditivo modificador de viscosidade no tempo de escoamento do contrapiso autonivelante.....	73
5.2	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	75
6	CONCLUSÕES	78
	REFERÊNCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novos materiais e tecnologias acompanha a humanidade há milhares de anos. Esse desenvolvimento busca sempre melhorar as condições de vida e trabalho do homem. Especialmente no ramo da construção civil, muitas evoluções significativas foram ganhando espaço e sendo incorporados aos costumes. Assim, a argamassa autonivelante, também chamada de autoescoante ou autoadensável, começou a ser estudada no início da década de 1970, mas, apenas em 1999, materiais e métodos para a produção desse novo composto passaram a serem testados por empresas espanholas. Segundo Anderberg (2007), o primeiro composto autonivelante para pisos, "self-levelling flooring compound" (SLC), foi desenvolvido por Nils Johansson na Finlândia, e foi lançado no mercado da construção civil em 1977. Conforme Martins (2009), depois de perceberem a inovação tecnológica que era ofertada por essa argamassa, juntamente com o desenvolvimento de estudos em laboratório, iniciaram-se estudos de mercado e econômicos, onde visitas eram feitas a obras para determinar os métodos produtivos mais empregados, denominados Métodos Tradicionais.

Consoante Anderberg (2007), utilizando cimento Portland e aditivos químicos como superplastificantes e fluidificantes, o objetivo inicial do produto era criar uma maneira fácil de nivelar pisos de concreto, antes da aplicação do revestimento final, evitando a necessidade de um tratamento na superfície consoante.

No Brasil, a argamassa autonivelante para contrapiso é um material relativamente novo. Somente em 2008, pesquisadores e empresas da construção civil se interessaram em começar a estudá-la. O fato é que a produção de argamassas autonivelantes mostra-se ainda muito artesanal, embora algumas novidades estejam sendo testadas.

É válido citar que muitas diferenças ainda existem entre os países no que diz respeito aos métodos construtivos seja pelo conhecimento adquirido e difundido, seja pelas necessidades que se apresentam. Contudo, o desconhecimento dessa nova tecnologia e o fato de não ter suas propriedades normatizadas ainda são os maiores fatores que impedem a disseminação do produto em larga escala no Brasil. Como afirma Gomes e Gonçalves (2013), apesar de já ser empregada em obras fora do país, o entendimento do comportamento mecânico dessas argamassas se faz

necessário, principalmente nos produtos que estão sendo lançados no mercado, já que há muitas manifestações patológicas com o material, como problemas de segregação, fissuras, retração e falta de aderência, relatadas por empresas usuárias do produto.

O método tradicional de execução de contrapisos com argamassa seca é ainda um tipo de serviço bastante degradante para o trabalhador devido à posição de trabalho – abaixado e com a coluna muito curvada – indo ao encontro às tendências de produção enxuta e da ergonomia no trabalho que regem a produção civil. Por conseguinte, segundo Martins (2009), grandes benefícios já são observados por profissionais da construção quanto ao uso do contrapiso autonivelante, entre eles cita-se: a possibilidade de redução da espessura do contrapiso, com a conseqüente redução da quantidade de pasta do sistema.

Este trabalho analisou algumas características físicas e mecânicas de traços de argamassas para contrapiso autonivelante, avaliando se eram satisfatórias para que ele seja utilizado em substituição ao processo tradicionalmente realizado no Brasil. Neste contexto, a argamassa autonivelante surge como uma alternativa viável na execução de contrapiso - uma vez que o contrapiso pode ser definido como uma das camadas do subsistema piso e tem inúmeras funções dentro do sistema construtivo - possuindo características específicas que garantem a sua horizontalidade e propriedades que a tornam isentas de defeitos oriundos da falha de aplicação, pois não necessitam de adensamento e de acabamento. Com isso, as elevadas espessuras das lajes e o consumo excessivo de aglomerantes, principalmente o cimento, são reduzidos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve por objetivo desenvolver um contrapiso autonivelante com adição de metacaulim, aditivo polifuncional e aditivo modificador de viscosidade.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos, cabe salientar:

- Alcançar alta fluidez, mesmo não utilizando aditivo superplastificante;
- Conseguir altas resistências mecânicas;
- Diminuir a tendência de exsudação e segregação dos contrapisos;
- Encontrar a consistência prevista pela literatura usando o ensaio com Cilindro Espanhol;
- Fabricar contrapisos autonivelantes como o menor consumo de cimento, menor consumo de metacaulim, menor percentual de aditivo polifuncional e de aditivo modificador de viscosidade possível, sem prejudicar a fluidez e homogeneidade da mistura.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

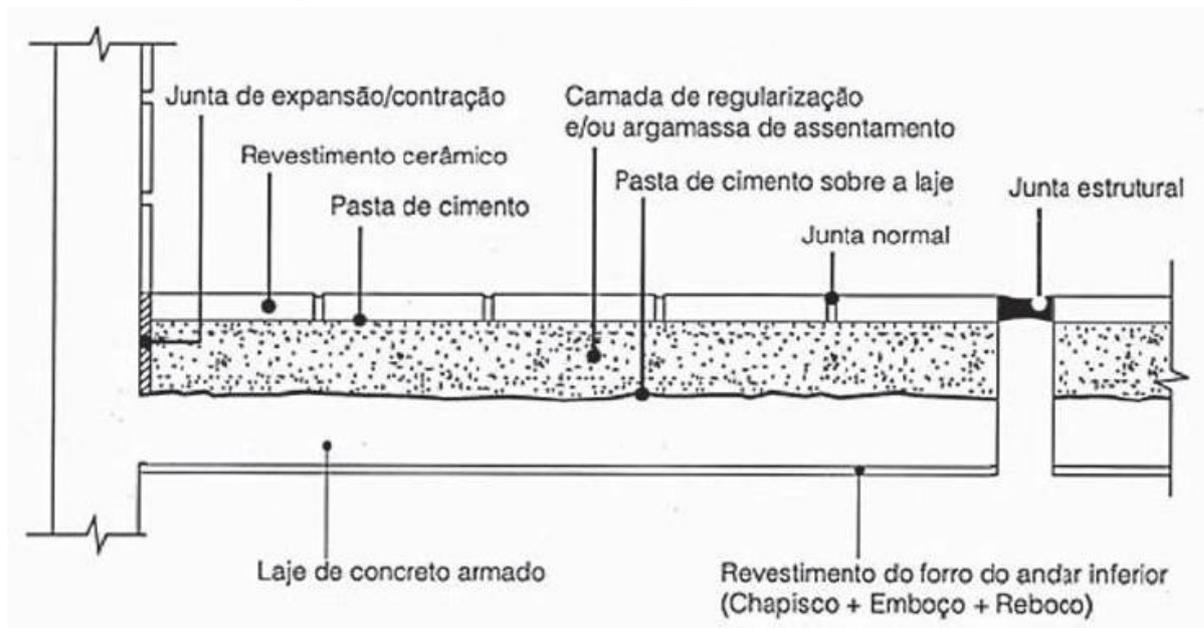
3.1 CONTRAPISO

Não há um consenso em relação ao subsistema piso e à camada contrapiso que defina e especifique sua espessura, já que a especificidade depende do método construtivo, da necessidade e da região.

Fiorito (2009) define o piso como sendo o conjunto de várias camadas descritas abaixo e ilustrado na Imagem 1.

- a. Laje ou lastro de concreto simples;
- b. Camada de pasta de cimento;
- c. Camada de argamassa de regularização;
- d. Contrapiso;
- e. Camada de argamassa colante com espessura uniforme de 3 a 6 mm, dependendo das dimensões da superfície da peça cerâmica;
- f. Revestimento cerâmico.

Imagem 1 - Corte do sistema/vedação horizontal interna.

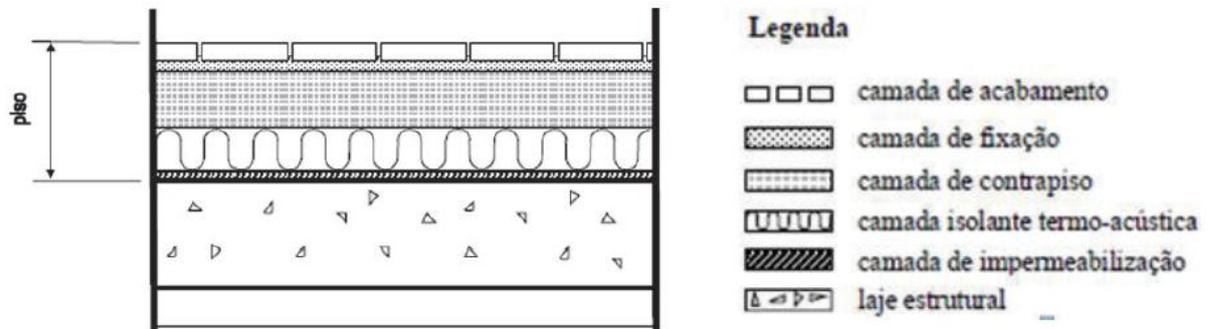


Fonte: Fiorito (2009).

De acordo com Barros (1991), apud Godoy (2000), o subsistema de vedação horizontal é composto pelas camadas do forro da pavimento inferior e da laje e piso do pavimento superior. Já o piso é composto por camadas de impermeabilização,

isolamento termoacústico, contrapiso e revestimento de piso, conforme representado na Imagem 2.

Imagem 2 - Corte do sistema/vedação horizontal interna.



Fonte: Barros (1991), apud Godoy (2000).

Ainda para Barros (1991), apud Godoy (2000), contrapiso de argamassa é um elemento do subsistema piso, constituído por apenas uma camada de material, lançado sobre uma base preparada adequadamente, que possui características como rugosidade superficial, espessura, resistência mecânica, porosidade e durabilidade indispensáveis para que atendam às principais funções como possibilitar o recebimento do revestimento do piso, transmitir as cargas de utilização à laje, proporcionar estanqueidade e proporcionar os desníveis entre ambientes contíguos e declividade nas áreas molháveis.

Segundo Godoy (2000), o conjunto destas camadas é responsável pelo atendimento dos requisitos de desempenho do piso, como possuir resistência mecânica, ser capaz de absorver deformações e ser estanque.

Martins (2012) conta que o contrapiso é sempre necessário, tanto para ambientes que serão revestidos por cerâmica quanto para os que o acabamento final será piso cimentado, não podendo ser utilizado para espaços destinados ao trânsito de veículos.

Cichinelli (2009), por sua vez define contrapiso como camada de argamassa lançada sobre uma base (laje ou lastro de concreto) para regularização. Sua espessura pode variar entre 2 e 6 cm, a depender da finalidade. Cita ainda que contrapisos podem ser empregados para atender a diversos fins como nivelamento da superfície, possibilitar que haja os caimentos necessários para os ralos, servir para que as instalações sejam embutidas e melhorar o conforto acústico.

Já para Souza (2007) a espessura do contrapiso varia entre 2 cm e 7,8 cm, ao serem levados em conta todos ambientes internos de uma edificação

habitacional. Ele ainda conta que os contrapisos de ambientes internos que foram executados sobre lajes de concreto armado podem atender a diversas funções como tornar a base plana com a regularização, nivelar a superfície, embutir as instalações, melhorar o conforto acústico e proporcionar caimento necessários para ralos.

Conforme Nakakura et al. (2012), o contrapiso ou argamassa de regularização é executado sobre a laje existente ou sobre a base de concreto. Diz ainda que é necessário molhar o piso com bastante água e polvilhar uma quantidade de aproximadamente 0,5 kg/m² de cimento sobre a superfície para fazer uma ponte de aderência, antes de executar o contrapiso.

3.2 TIPOS DE CONTRAPISO

3.2.1 Contrapiso convencional

O contrapiso, segundo Cichinelli (2009), é normalmente uma argamassa seca do tipo "farofa", apiloada energicamente contra a superfície onde será empregada e que possui espessura variável em função do tipo de contrapiso (aderido ou flutuante), dos desníveis finais pretendidos para o piso e dos níveis da laje que é suporte para o contrapiso.

Além disso, Cichinelli (2009) descreve de maneira simplificada como o contrapiso convencional deve ser executado:

- a. Após limpar a base e retirar todos os restos de argamassa, entulho ou qualquer outro material aderido, deve-se fazer a transferência de nível com o auxílio de um nível de mangueira (ou nível laser) a partir do nível de referência;
- b. Com o auxílio de uma trena, marca a altura do contrapiso;
- c. Sobre a superfície limpa, jogar uma mistura de água e branco na área onde as taliscas (um pedaço de cerâmica ou madeira) serão executadas;
- d. Polvilhar cimento sobre a mistura;
- e. Com a ajuda de um vassourão, escovar a massa. Essa mistura serve de ponte de aderência entre a laje e o contrapiso;
- f. Colocar a argamassa sobre a superfície;
- g. Depois de nivelar a argamassa, colocar a talisca;

- h. Com o auxílio da trena e prevendo o caimento no sentido dos ralos conforme o projeto, conferir a altura do nível do contrapiso. Fazer as outras taliscas do local;
- i. Com um fio esticado, conferir a altura das taliscas;
- j. Aplicar sobre toda a base a mistura de aditivo e água;
- k. Em seguida, polvilhar cimento sobre toda base;
- l. Com o auxílio do vassourão, escovar toda área;
- m. Jogar a “farofa” do contrapiso conforme Imagem 3;

Imagem 3 - Execução de contrapiso convencional de uma obra em Aracaju/SE.



Fonte: A autora (2017).

- n. Com a ajuda de uma enxada, preencher os intervalos entre as taliscas, espalhando a argamassa em movimentos contínuos, para que não seque rápido demais;
- o. A argamassa deve ser compactada com um soquete de madeira. Esse processo deve ser feito até que a argamassa de contrapiso chegue no nível marcado com o fio;
- p. Após a compactação a argamassa, sarrafear com movimento de vai e vem apoiando a régua de alumínio nas taliscas;
- q. Deve-se sarrafear a sobra até que a superfície alcance o nível das faixas em todos os lados da área do contrapiso;
- r. Sobre falhas e pequenos buracos, colocar um pouco de argamassa e nivelar a superfície até ficar totalmente lisa;

- s. Desempenar a massa, alisando-a e dando o acabamento final no trabalho com o auxílio de uma desempenadeira de madeira (ou de alumínio, se necessário) tornando-a semelhante à Imagem 4;

Imagem 4 - Contrapiso convencional de uma obra em Aracaju/SE.



Fonte: A autora (2017).

- t. Depois de aproximadamente seis horas de cura, o contrapiso está pronto para receber o revestimento final.

Cichinelli (2009) fala que é utilizado de 200 a 250 kg/m³ de argamassa para contrapisos internos de edificações comerciais e habitacionais e que o traço 1:6 de cimento e areia úmida é comumente utilizado. Apesar do método de execução citado por Cichinelli (2009) seja bastante aplicado, não há consenso em relação ao traço a ser empregado.

Barros (1995) faz recomendações para o uso de contrapisos em edificações onde propõe um método de dosagem para argamassas de contrapiso. Para definir uma argamassa é preciso determinar sua composição e dosagem, Por isso conhecer as finalidades do contrapiso, as características de base em que será aplicado, os materiais que poderão ser utilizados e as solicitações a que estará submetido ao longo da obra e de sua vida útil, é indispensável. Barros, ao final do seu trabalho, conclui que é possível obter diversas argamassas a partir de diferentes combinações de materiais aglomerantes e agregados, e também adições e aditivos, escolhidos em razão das características pretendida ao contrapiso e da disponibilidade de materiais na região. Dessa forma, pode haver uma grande

variedade de contrapisos com distintas propriedades que diferem, por exemplo, na capacidade de aderência, na característica superficial e na resistência mecânica.

Fiorito (2009) sugere o traço de contrapiso 1:6 de cimento e areia média úmida em interiores, pisos térreos, exteriores e pisos sobre lajes. Em lajes interiores, para atribuir melhor trabalhabilidade, podem ser usados também o traço 1:1:7 e 1:0,5:5 de cimento, cal hidratada e areia média úmida. Aliás, Fiorito (2009) não dispensa uso da pasta de cimento como ponte de aderência entre as camadas: a superfície do lastro ou da laje deve ser molhada e polvilhada com cimento, compondo uma pasta de cimento com relação água/cimento próxima a 0,30. Essa ponte de aderência garante a ligação entre as camadas, laje ou lastro e contrapiso, reduzindo a retração da argamassa de contrapiso e o risco de flambagem do revestimento.

De acordo com Martins (2012), a argamassa empregada como contrapiso precisa ser do tipo semisseca, chamada de "farofa". O traço geralmente utilizado é 1:4 de cimento e areia média, porém que pode variar em função do tipo de acabamento final pretendido para o ambiente.

Conforme Nakakura et al. (2012), o traço da argamassa para contrapiso deve ser 1:3 ou deve-se optar pelo uso de argamassa pronta. Mas, para Souza (2007), em contrapisos internos de edificações comerciais e habitacionais normalmente é utilizado o traço 1:3 ou 1:4.

3.2.2 Contrapiso autonivelante

Egle (2010) define contrapiso autonivelante como um elemento do subsistema piso, composto por apenas uma camada de material lançado sobre uma laje estrutural adequadamente preparada, o qual apresenta características específicas como fluidez, resistência mecânica, durabilidade e espessura para atender às suas principais funções de nivelar as superfícies, não sendo possível executar declividades e desníveis, possibilitar o assentamento do piso e transmitir as cargas de utilização para a laje. Pode ser definido também como uma combinação de materiais de construção que permite um contrapiso praticamente isento de falhas devido à moldagem e que não necessita de grande conhecimento e experiência dos trabalhadores envolvidos.

Ainda segundo Egle (2010), a dificuldade do transporte vertical pode ter motivado o desenvolvimento desse sistema de contrapiso bombeável, já que uma das maiores dificuldades de uma obra é levar os materiais de construção para os pavimentos superiores.

A aplicação do contrapiso autonivelante é feita através de uma mangueira, conforme Imagem 5, acoplada a uma bomba que ajuda a espalhar essa argamassa em moldes, formas ou lonas plásticas, não sendo preciso empregar qualquer energia de espalhamento.

Vários tipos de bomba podem ser empregadas para aplicar o contrapiso autonivelante, é necessário apenas que, antes de optar por uma delas, alguns aspectos sejam avaliados como a área na qual será aplicado o contrapiso e o volume de material necessário. Geralmente são utilizadas bombas de rosca, porque a aplicação do produto torna-se mais precisa, em razão da sua velocidade ser mais contínua. Mas bombas de pistom também funcionam bem.

Imagem 5 - Bombeamento de contrapiso autonivelante de uma obra em Aracaju/SE.



Fonte: A autora (2017).

Outras vantagens do contrapiso autonivelante são a redução do tempo e da mão de obra necessários para sua aplicação, pois ela espalha-se praticamente devido apenas ao seu peso próprio.

Nakakura e Bucher (1997) e Tutikian e Dal Molin (2008), apud Martins (2009), também listam vantagens do contrapiso autonivelante como:

- Possibilitar um local de trabalho mais seguro, tendo em vista que há uma redução notável no número de mão de obra;
- Diminuição da espessura do piso/contrapiso para entre 5,0 mm e 10 mm, ou seja, redução no peso próprio e no cimento consumido;
- Redução da tendência à fissuração para quase zero, devido à utilização de aditivos químicos que retêm água;
- Redução de prováveis patologias com a existência de ondulações restritas apenas àquelas que podem existir na superfície de um fluido viscoso em razão da ação da gravidade sobre este;
- Garantia de total horizontalidade do contrapiso;
- Cura surpreendentemente rápida da argamassa, por causa da associação entre adições e aditivos, possibilitando que após 2 ou 3 horas possa pisar em sua superfície;

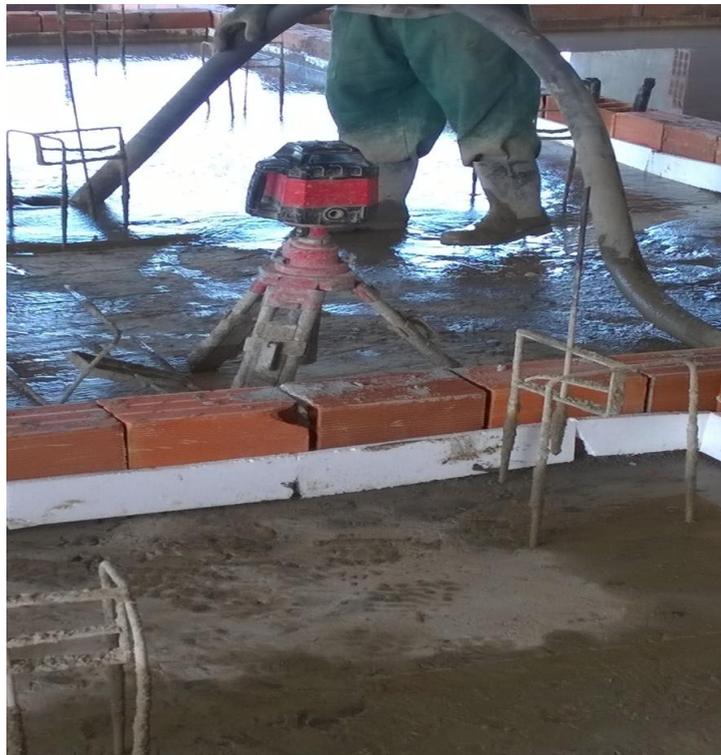
Vale salientar que a cura correta do contrapiso autonivelante é de grande importância para que sejam evitadas fissuras oriundas da retração. A cura é o processo através do qual se evita a evaporação da água da mistura e se mantém um teor de umidade satisfatório preservando uma temperatura favorável durante a hidratação dos materiais aglomerantes. Ribeiro, Pinto e Starling (2006), recomendam, seguindo a NBR 6118 (ABNT, 2003), que nos 7 primeiros dias contados a partir do lançamento deve-se proteger a superfície molhando-a constantemente ou mantendo sobre ela uma lâmina d'água, ou ainda recobrando-a com plásticos e similares. Caso a cura, não seja feita da maneira certa, o contrapiso autonivelante não terá a durabilidade e resistência desejadas. A permeabilidade, a presença de fissuras e a durabilidade são apenas algumas das características afetadas pela cura inadequada.

Atualmente podem ser empregados dois tipos de contrapiso autonivelante: provindo da utilização de argamassa ensacada para contrapiso autonivelante ou de argamassa produzida em centrais e transportadas em caminhão betoneira até a obra.

A execução do contrapiso autonivelante ocorre da seguinte maneira:

- a. Após limpar a base e retirar todos os restos de argamassa, entulho ou qualquer outro material aderido, o primeiro passo é delimitar a área a ser trabalhada e fazer a transferência de nível com o auxílio de um nível de mangueira (ou nível laser) a partir do nível de referência;
- b. Com o auxílio de uma trena, marcar a altura do contrapiso. Nesse caso, como a espessura do contrapiso pode ser bastante reduzida, recomenda-se a utilização de nível a laser, porém qualquer marcação que seja feita garantirá que todo pavimento esteja nivelado, já que a argamassa espalha-se e nivela-se horizontalmente;
- c. Colocar juntas de dessolidarização no encontro com a parede. Podem ser usadas placas de isopor;
- d. Bombear a argamassa, espalhando-a sobre a base;
- e. Depois de atingido o nível determinado, utilizar uma régua “T” de alumínio com movimentos leves somente sobre a superfície para dar acabamento mais uniforme, similar à Imagem 6;

Imagem 6 - Contrapiso autonivelante de uma obra em Aracaju/SE.



Fonte: A autora (2017).

Em média após 24 horas de aplicado o contrapiso autonivelante, a área pode ser liberada para o trânsito de pessoas. Já para o assentamento, como qualquer

argamassa, deve-se respeitar a eliminação da umidade e o tempo de secagem que é aproximadamente 14 dias a depender do clima da região.

3.3 ARGAMASSAS

A NBR 13281 (ABNT, 2005), define argamassa como mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ter sua dosagem em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

3.3.1 Argamassa convencional

Fiorito (2009) diz que argamassas de cimento são utilizadas em alvenarias de alicerces pela resistência exigível e especialmente pela condição favorável de endurecimento. São utilizadas também para chapisco, devido a sua resistência adquirida em curtos prazos, em revestimentos onde as condições de impermeabilidade são exigíveis, como no interior de reservatórios de água e outras obras hidráulicas, ou em pisos cimentados onde se exige resistência mecânica e ao desgaste. Já as argamassas de cal são utilizadas para emboço e reboco, em razão da suas condições favoráveis de endurecimento, elasticidade, plasticidade, e porque proporcionam acabamento plano e regular. Encontram também aplicação no assentamento de alvenarias de vedação.

As argamassas de cimento são mais resistentes, porém de mais difícil trabalhabilidade. Adiciona-se cal para torná-las mais plásticas e facilitar o acabamento. Essas argamassas mistas de cimento e cal são utilizadas nas alvenarias estruturais ou não, de tijolos ou blocos, nos contrapisos, no assentamento de revestimentos cerâmicos em pisos ou paredes pelo método convencional, no preparo de paredes e pisos para receberem revestimentos cerâmicos aplicados com argamassa colante.

3.3.2 Argamassa autonivelante

Argamassa autonivelante é composta por cimentos, areias com granulometria selecionadas e aditivos especiais, alguns inclusive já utilizados na fabricação de

concretos especiais. Pode ser definida como uma argamassa que tem capacidade de se autoadensar e preencher espaços vazios sobre o efeito apenas de sua típica capacidade de fluxo e da gravidade, caracterizando-se por ser capaz de se adensar e fluir, sem que haja segregação. Isso é possível através do equilíbrio entre a coesão das partículas e viscosidade moderada, grande fluidez e mobilidade da mistura.

Martins (2009) conta que, por possuírem propriedades que possibilitam o autoadensamento sob o efeito apenas da gravidade, transformando-se em superfícies regulares e lisas, a aplicação das argamassas autonivelantes encontra-se voltada especialmente para pisos e contrapisos, aderido ou não ao substrato, sobre manta acústica e/ou térmica.

Para Martins (2009), a argamassa autonivelante não exige nenhum tipo especial de material, todavia os materiais empregados precisam ter características específicas e teores que proporcionem a fluidez adequada, sem haver a segregação da mistura.

Felekoglu et al. (2006) também ressaltam que, ao serem escolhidos os materiais que irão compor a argamassa autonivelante, deve-se ter muita cautela, pois os materiais precisam ter esqueleto granular e composição ideais para esse fim. No preparo dessas misturas devem ser analisadas tanto as propriedades físico-químicas dos compostos, a exemplo das interações entre quantidade de água/materiais secos e das reações de hidratação, quanto suas propriedades físicas, como índice de finura, distribuição e forma das partículas, já que afetam no desempenho da pasta e alteram o resultado final. Apesar de não haver um parâmetro fixo que estabeleça o que todos esses fatores ocasionam nas propriedades das argamassas, sabe-se que o traço da argamassa autonivelante está correto quando fornecer uma melhor otimização dos seus compostos, para a trabalhabilidade em que for especificada.

Já os procedimentos de dosagem e os equipamentos ainda não formam normatizados e, por isso são requeridos mais estudos detalhados sobre argamassas autonivelantes.

Segundo a reologia, argamassa autonivelante é uma suspensão de partículas, isto é, uma mistura sólido-líquido onde há uma distribuição uniforme das partículas no líquido.

A característica principal da argamassa autonivelante é sua fluidez elevada, quando comparada com as argamassas tradicionais, decorrente do contato reduzido entre as partículas maiores causado pelo grande afastamento delas. Através do uso de um teor de finos elevado, esse comportamento torna-se possível.

Argamassas autonivelantes devem ainda possuir estabilidade nas suas misturas. Mehdipour et al. (2013) indica que estabilidade para misturas autonivelantes é a capacidade de se manter os materiais distribuídos uniformemente durante o todo processo de consolidação, podendo ser estabilidade estática ou dinâmica. A primeira é a capacidade apresentada pela mistura de resistir à exsudação, à segregação e adensamento que pode ocorrer devido ao tempo e à gravidade. A segunda pode ser motivada por qualquer interferência externa no sistema, por exemplo, uma vibração durante o transporte do material. Uma dosagem inapropriada de algum dos materiais pode afetar a estabilidade.

Rizwan e Bier (2012) atribuem a alta fluidez adquirida pelas argamassas autonivelantes ao uso de aditivos superplastificantes e o estudo feito por Libre, Khoshnazar e Shekarchi (2010), demonstrou que o aumento da relação água/cimento também pode atribuir mais fluidez à mistura. Mas, usar aditivo superplastificante assim como aumentar a relação água/cimento, prejudica a estabilidade da mistura. Enquanto que, adições minerais e/ou aditivos modificadores de viscosidade que podem ser alternativas para estabilizar uma argamassa autonivelante, podem reduzir a fluidez.

Contudo, para Pileggi (1996), alguns problemas oriundos da alta fluidez e do grande teor de finos podem surgir como a dificuldade de controlar a retração na secagem, a tendência à segregação e o tempo de pega.

Além disso, para garantir a qualidade da argamassa autonivelante no estado endurecido é preciso analisar determinadas propriedades no estado fresco tidas como fundamentais para determinar a autoadensabilidade, são elas:

- Consistência: capacidade de preencher totalmente a região onde é lançada, sob ação somente do peso próprio, espalhando-se por todos os espaços e dando origem a uma superfície plana ideal.
- Resistência à segregação: manter-se sempre homogênea sem que exista a dissolução de partículas.

De Larrard (1999) explica que viscosidade e coesão são características essenciais para evitar a exsudação e segregação da argamassa autonivelante, e

que a resistência à segregação pode ser obtida também reduzindo a relação água/materiais secos. Conforme Rizwan e Bier (2012), a resistência à segregação é obtida com o uso de adições minerais, com uma relação água/cimento baixa, e/ou, em determinadas situações, com aditivos modificadores de viscosidade.

Martins (2009), por sua vez, declara que a segregação e exsudação dos constituintes da mistura são evitados pelo atrito interno das partículas integrantes da pasta (como o cimento, os agregados, as adições, entre outros). Afirma também que a segregação tende a ocorrer devido a alta fluidez da argamassa autonivelante e que o aditivo modificador de viscosidade é empregado na mistura para promover um aumento na coesão entre as partículas, evitando contratempos.

Martins (2009) alega também que, para um composto autonivelante ter o desempenho esperado, deve haver uma combinação complexa das propriedades da mistura no estado fresco, ou seja, viscosidade, fluidez, coesão, compatibilidade entre cimento e aditivos e trabalhabilidade deverão ser harmonicamente trabalhadas.

A viscosidade da argamassa deve ser controlada, pois se a argamassa tiver alta viscosidade pode ter o espalhamento dificultado e não ser capaz de passar, por exemplo, em espaços reduzidos entre armaduras. No entanto, argamassas autonivelantes com baixa viscosidade podem ter a estabilidade da mistura prejudicada causando segregação e exsudação. Segundo Jawahar et al. (2013), o controle da viscosidade pode ser feito alterando o teor de material seco, de pasta ou de água, limitando a dimensão máxima do agregado ou através do emprego de aditivos químicos, a exemplo dos modificadores de viscosidade. Martins (2009) conta que o aumento de água, por exemplo, apesar de aumentar a fluidez da mistura, reduz a viscosidade da pasta e isso, em excesso, pode causar a segregação dos materiais.

Mehta e Monteiro (1994) relatam que a trabalhabilidade é, na verdade, composta de outras duas propriedades: a fluidez descrita como a facilidade em mobilizar a mistura fresca e a coesão que se refere a sua resistência à segregação ou exsudação. Essa propriedade no estado fresco também tem importância na argamassa autonivelante, pois nesse caso exprime o esforço necessário para que o material fresco seja manipulado com uma mínima perda de homogeneidade.

O aditivo modificador de viscosidade atrapalha a trabalhabilidade da argamassas autonivelantes, visto que Libre, Khoshnazar e Shekarchi (2010), em sua

pesquisa, obteve uma redução de 30% do fluxo de consolidação das misturas ao ser adicionado 1% de aditivo modificador de viscosidade.

Referente aos resultados dos ensaios realizados por Libre, Khoshnazar e Shekarchi (2010), demonstraram que o uso de 1% de aditivo modificador de viscosidade reduziu em 30% o fluxo de consolidação das misturas. Com isso, conclui-se que o aditivo modificador de viscosidade (VMA) tem um efeito de deterioração na trabalhabilidade.

Seifert, Neubauer e Neunhoeffer (2012) afirmam que os compostos autonivelantes devem apresentar as propriedades citadas a seguir em ordem de importância: autonivelamento, baixa viscosidade, rápida fixação, rápido endurecimento, rápido ganho de resistência, rápida secagem, estabilidade dimensional, durabilidade, resistência de superfície e forte adesão ao substrato.

No estado endurecido, as principais propriedades são a resistência mecânica, à abrasão e ao impacto e a aderência superficial e profunda.

Freitas (2010) afirma que a resistência mecânica está relacionada a capacidade de suportar esforços de compressão, tração ou cisalhamento, oriundos das cargas estáticas ou dinâmicas de uma edificação ou decorrentes de condições ambientais. Segundo Maciel, Barros e Sabbatini (1998), a resistência da argamassa varia inversamente com a proporção de agregados e com a relação água/cimento.

A NBR 12042 (ABNT, 1992) define desgaste como desagregação superficial e remoção de partículas de um determinado material submetido a forças de atrito.

De acordo com Santos (2005), impacto é a aplicação de uma força num intervalo de tempo infinitivamente pequeno e resistência ao impacto é a capacidade de absorver energia sob esforços de colisão. Por isso, o material de um elemento impactado deve ser capaz de sofrer deformações localizadas, elásticas ou plásticas, antes de transferir o esforço para o restante da estrutura.

A aderência é outra propriedade da argamassa no estado endurecido. Obtida pela extensão de aderência da argamassa e por sua resistência de aderência ao cisalhamento e à tração, é a capacidade de a argamassa permanecer fixa à base onde foi aplicada, resistindo às tensões tangenciais e normais existentes na interface base-revestimento. Os principais fatores que influenciam a resistência à aderência são as propriedades da argamassa no estado fresco, bem como as características da base e sua limpeza superficial (MACIEL, BARROS e SABBATINI, 1998).

Para contrapisos deve-se avaliar a aderência profunda e a aderência superficial da argamassa, esta relaciona a ligação entre o substrato de concreto e a argamassa e aquela, a ligação argamassa-revestimento. O substrato deve apresentar boa rugosidade, ou seja, apresentar pontos de ancoragem da argamassa. Substratos lisos, geralmente levam a valores de aderência menores, devendo-se sempre preparar as superfícies com o intuito de torná-las adequadamente rugosas (BAUER e PEREIRA, 2005). Dessa forma, quanto mais rugoso for o substrato, maior será a área de contato com a argamassa.

O módulo de elasticidade também é uma importante propriedade para argamassa no estado endurecido que pode informar sobre a rigidez deformabilidade do material. Esta propriedade mecânica é de grande interesse pois esta ligada aos fenômenos patológicos de argamassas em especial as fissuras (SILVA e CAMPITELI, 2008).

3.4 MATERIAIS EMPREGADOS

Segundo Nakakura e Bucher (1997), a formulação das argamassas autonivelantes é de 25 a 45% da massa total de cimento Portland de alta resistência inicial e 40% a 60% de areia fina quartzosa. Os 10 a 15% restantes da massa são de uma série de adições minerais e aditivos químicos, modificadores das características reológicas no estado fresco e das propriedades físico-mecânicas no estado endurecido, de modo a atender aos requisitos de instalação, carga, solicitação e durabilidade. A água de amassamento fica aproximadamente entre 20% e 30% da massa total da mistura seca a depender emprego do material (como argamassa de regularização ou de acabamento).

3.4.1 Cimento

Segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2006), o cimento é o aglomerante mais empregado na construção civil, conhecido mundialmente por cimento Portland. Definido como um pó fino acinzentado, formado por aluminatos de cálcio e por silicatos, com várias características e propriedades, dentre as quais tornar-se moldável ao ser misturado com água e aumentar a resistência mecânica ao longo do tempo.

Martins (2009) diz que para produção de argamassas autonivelantes não existe um cimento específico a ser utilizado, mas que o cimento Portland é o mais utilizado devido sua fácil produção e comercialização no Brasil.

De acordo Gjørsv (1992), apud Tutikian e Dal Molin (2008), o tipo de cimento determina a trabalhabilidade e a necessidade de água da mistura, para as quais os fatores de controle são a granulometria e o conteúdo de aluminato tricálcico (C3A) do cimento abaixo descritos:

- Conteúdo de aluminato tricálcico (C3A): quanto menor for a quantidade de C3A, mais fácil será seu controle reológico, bem como o enrijecimento da mistura se dará em um período mais longo. Na prática, cimentos com teores de C3A maiores do que 10% podem resultar em rápida perda de fluidez, dificultando a aplicação do CAA em obras.
- Granulometria do cimento: Quando se trata de finura e de parâmetros reológicos, quanto maior a superfície específica do cimento, maior a quantidade dessas partículas em contato com a água, diminuindo a distância e aumentando a frequência de colisão entre elas, reduzindo a tensão de escoamento e aumentando a viscosidade da mistura. Assim, como a demanda por finos para argamassas autonivelantes é elevada em virtude da necessidade de aumentar a coesão da mistura, cimentos de maior superfície específica são mais apropriados – apesar de aumentarem os cuidados necessários com relação ao calor de hidratação e retração do concreto.

O CP V ARI, o cimento Portland de alta resistência inicial, é um tipo de cimento as características citadas acima. Segundo NBR 5733 (ABNT, 1991), apresenta resistência à compressão mínima aos 7 dias de idade de 34 MPa.

Contudo, não é preciso eliminar a possibilidade de empregar outros tipos de cimento na composição de argamassas autonivelantes, desde que a substituição do CP V ARI seja avaliada através de estudos específicos.

Conforme Neville (1997), a exsudação pode ser conceituada como uma forma de segregação onde a parte líquida da mistura (água) migra para superfície da argamassa recém-aplicada, em razão da água, entre todos os componentes da argamassa, ser aquele que possui a menor massa específica. Por isso, vale ressaltar que quanto mais finas forem as partículas do cimento, mais rápido vão

hidratar e por isso menor será a velocidade de sedimentação e menor será a exsudação.

Barros (1995) certifica que o importante é manter a marca e, principalmente, o tipo de cimento durante toda a execução do contrapiso, a fim de que não sejam alteradas as propriedades da argamassa produzida.

3.4.2 Metacaulim

De acordo com Mehdipour et al. (2013), maiores relações água/cimento em argamassas autonivelantes facilitam a exsudação. Mas, adicionando metacaulim, mesmo em pequenas quantidades, é possível obter uma coesão que controla, ou até elimina completamente, a segregação e a exsudação dessas misturas. Certamente, o metacaulim aumenta a adsorção de água por causa da sua área de superfície específica elevada, reduzindo a água livre na mistura. A exsudação de 4,5 cm foi eliminada em amostras com relação água/cimento de 0,45, quando 10% de metacaulim foi adicionado à mistura.

Ainda segundo Mehdipour et al. (2013), a adição de metacaulim diminui a fluidez de argamassas autonivelantes. Esta redução, porém, é maior quando a relação água/cimento da mistura é menor. Por isso, quando a mistura é bastante fluida pode-se adicionar metacaulim para estabilizá-la.

Libre, Khoshnazar e Shekarchi (2010), demonstraram que a adição de metacaulim é capaz de reduzir a segregação das misturas. Eles obtiveram argamassas autonivelantes com alta estabilidade e segregação estática completamente eliminada de misturas que continham 10%, 20% e 30% de metacaulim.

3.4.3 Areia

A NBR 9935 (ABNT, 2011) define areia como agregado miúdo originado através de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas, ou de processos industriais. É chamada de areia natural se resultar da ação de agentes da natureza, de areia artificial se resultar de processos industriais, e de areia reciclada se for proveniente de processos de reciclagem.

A NBR 7211 (ABNT, 2005) determina que agregado miúdo é aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m.

De acordo com Tristão et al. (2005), apud Freitas (2007), há diversos tipos de areias que influenciam na composição dos traços das argamassas devido às frações granulométricas e características geométricas referentes à forma textural dos grãos, tais como esfericidade, arredondamento e rugosidade dos grãos.

Para Araújo (1995), nas argamassas, os agregados miúdos desempenham função de ordem técnica, pois podem otimizar suas propriedades, sua textura final e sua durabilidade.

Segundo Freitas (2010), a distribuição granulométrica é uma das principais características da areia e deve ser analisada porque está diretamente relacionada com o desempenho da argamassa, interferindo no consumo de água, no consumo de aglomerantes e na trabalhabilidade da mistura. Quanto maior continuidade granulométrica do agregado miúdo apresentar, maiores serão as resistências mecânicas das argamassas, haja vista que melhor será o empacotamento das partículas. Freitas (2010) afirma que as propriedades da argamassa também estão em função forma do agregado.

O agregado miúdo, que geralmente é utilizado nas argamassas, é um material mineral inerte, com diâmetro dos grãos entre 0,06 mm e 2,0 mm e com mais quartzo em sua composição. Carasek (2001), apud Freitas (2007) defende que a resistência de aderência diminui à medida que o teor de areia aumenta, mas que a resistência mecânica aumenta com o aumento da compacidade da massa e, conseqüentemente, redução de ar incorporado.

A escolha do agregado miúdo depende da demanda de água, fator determinante na fluidez e coesão das argamassas autonivelantes. Opta-se por agregados miúdos com grãos lisos e arredondados na produção de dessas argamassas, posto que, para uma mesma quantidade de água, proporcionam maior fluidez a mistura.

Libre, Khoshnazar e Shekarchi (2010) explicam que segregação pode ser definida como a separação de partículas granulares da mistura, muitas vezes está associada à sedimentação estática. Na escolha da areia deve-se atentar para granulometria, optando por aquela que apresenta tamanho reduzido dos grãos e, por isso proporciona um menor risco de segregação da argamassa autonivelante.

Nakakura e Bucher (1997) alegam que argamassas autonivelantes podem ser confeccionadas com areia fina basáltica ou quartzosa de grãos com dimensão máxima inferior a 0,6 mm, assim sendo a textura superficial do contrapiso endurecido será bastante fina e não precisará de selantes adicionais.

O agregado miúdo empregado nas argamassas autonivelantes devem ter granulometria determinada, de modo que irá interferir diretamente nas propriedades reológicas da mistura. Katsiadramis, Sotiropoulou e Pandermarakis (2010) afirmam que agregados com maior granulometria agem como "obstáculos" porque aumentam a viscosidade e dificultam a fluidez da mistura. Por outro lado, agregados com menor granulometria, agem como "lubrificantes" e melhoram fluidez das argamassas autonivelante.

Christianto (2004) explica que para alcançar a propriedade de autoadensamento das argamassas autonivelantes, os teores de areia geralmente são limitados em até 40% do volume total de argamassa.

3.4.4 Água

De acordo com Gomes e Barros (2009), a quantidade de água de uma mistura vai depender de vários fatores, como tipo de cimento, propriedades dos agregados, quantidade total de partículas finas na mistura, uso de adições, uso de aditivos, entre outros.

Gomes e Barros (2009) divide a quantidade de água de uma mistura basicamente em quatro partes: uma para hidratação do cimento, uma para absorção e adsorção dos agregados e materiais finos, uma para preencher a porosidade do esqueleto granular e uma para garantir a fluidez.

Ainda segundo Gomes e Barros (2009), as propriedades reológicas no estado fresco são altamente influenciadas pela relação água/cimento. Um aumento na relação água/cimento produz uma redução na viscosidade plástica e na resistência de fluxo.

3.4.5 Aditivos

Os aditivos são produtos químicos com a capacidade de alterar propriedades da argamassa que carregam em si dois objetivos fundamentais, o de ampliar as qualidades, ou de minimizar os pontos fracos da argamassa.

3.4.5.1 Aditivo Polifuncional

Os aditivos polifuncionais têm como a principal característica conceder plasticidade, onde seu modo de agir na mistura fica situado entre o efeito dos plastificantes comuns e o superplastificante. Os aditivos polifuncionais possuem um efeito mais duradouro, no qual podem ser adicionados na central dosadora, ao contrário dos plastificantes e superplastificantes onde tem a duração de aproximadamente 40 minutos. A dosagem em geral desses aditivos pode variar de 0,2 a 1% dependendo de cada fabricante.

3.4.5.2 Aditivo Modificador de Viscosidade

O aditivo promotor de viscosidade é formado por cadeias longas de base celulose, polissacarídea, acrílico ou glicol e outros agentes inorgânicos (RIXON e MAILVAGANAM, 1999).

Segundo Melo (2005), o aditivo modificador de viscosidade (viscosity modify admixture - VMA) tem grande importância na produção de argamassas autonivelantes. Através do seu emprego, a viscosidade adequada é alcançada ao mesmo tempo que a homogeneidade e o espalhamento são mantidos e a exsudação e segregação da misturas são reduzidas.

De acordo com EFNARC (2005), o aditivo modificador de viscosidade também pode ser usado para ajudar a reduzir a sensibilidade causada pela variação de outros materiais integrantes da mistura, como a umidade. Desta maneira, ele age através da formação de uma rede que detém a água da mistura e que mantém as partículas finas da mistura suspensas, fornecendo maior coesão entre a partículas, viscosidade moderada e evitando segregação e exsudação.

Algumas vantagens são observadas com a utilização do aditivo modificador de viscosidade, sendo elas:

- Obtenção de níveis de fluidez que fazem com que o concreto seja capaz de vencer grandes distâncias horizontais;
- Melhoria da homogeneidade na mistura;
- Permanência da coesão durante queda livre;
- Diminuição da relação água/cimento.

Conforme EFNARC (2005), a maioria dos aditivos modificadores de viscosidade são baseados em moléculas poliméricas de alto peso que tem grande afinidade com a água. Ao interagir com os grupos funcionais de moléculas com a água e a superfície dos finos, formam uma estrutura tridimensional no estado fresco da mistura para aumentar a viscosidade da pasta, tornando-a mais coesiva.

Vale a pena ressaltar que, segundo Libre, Khoshnazar e Shekarchi (2010), o aditivo modificador de viscosidade tem efeito insignificante sobre a viscosidade. A viscosidade é influenciada principalmente pela relação água/cimento e o uso do aditivo modificador de viscosidade pode minimizar a fluidez. O efeito dominante desse aditivo é sobre a estabilidade da mistura, por isso seu uso deve ser, preferencialmente, somente em argamassas autonivelantes propensas à instabilidade.

3.5 ENSAIO COM CILINDRO ESPANHOL

No trabalho de Martins (2009), o ensaio com Cilindro Espanhol foi muito bem explicado. A seguir encontra-se como o ensaio foi descrito.

O ensaio com Cilindro Espanhol possibilita a avaliação (mesmo que visual), da tendência da pasta à fluidez e à segregação e foi especificamente desenvolvido para a argamassa autonivelante. Contudo, é interessante destacar que esse ensaio ainda não foi normalizado, por isso, como qualquer procedimento não normatizado, pode haver diferenças em relação às medidas e especificações.

O Cilindro Espanhol é um equipamento que ainda está na fase de testes, e suas dimensões necessitam que sejam feitos estudos mais específicos.

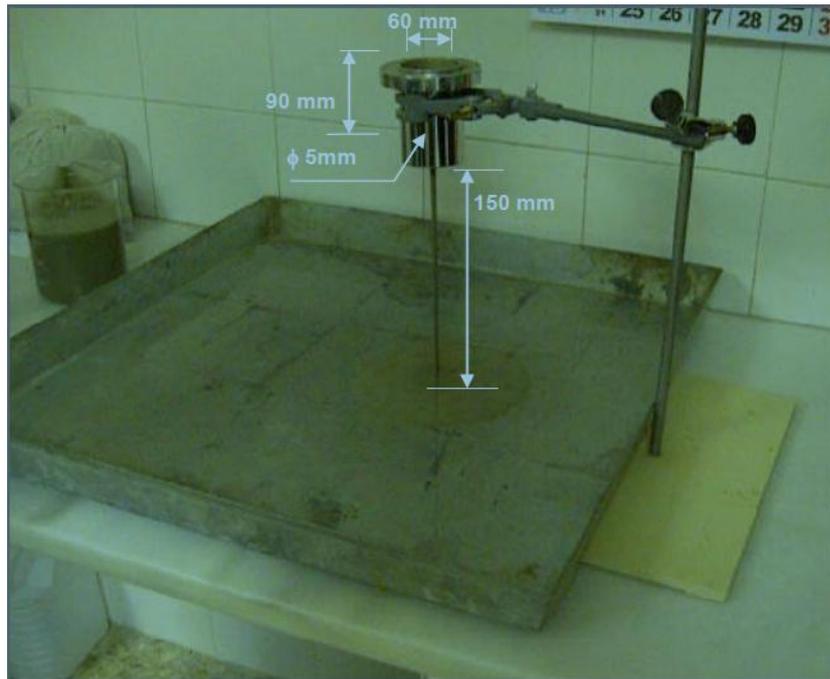
Já que não existe nenhum procedimento específico que permita analisar o desenvolvimento de pastas com alta fluidez, em Valência, na Espanha, um grupo de profissionais e estudiosos no campo das argamassas desenvolveram o equipamento conhecido como Cilindro Espanhol, a fim de que algumas características no estado fresco de pastas autonivelantes pudessem ser avaliadas.

O ensaio com Cilindro Espanhol assemelha-se ao ensaio com do Cone de Marsh. Contudo o ensaio com Cilindro Espanhol é mais sensível em sua análise das características de uma pasta autonivelante e necessita de menos quantidade de material do que o ensaio com Cone de Marsh.

Na parte inferior do cilindro, existe um orifício limitado em 5,0 mm que permite a realização desse ensaio exclusivamente para pastas autonivelantes, pois para que ela possa escoar por esse orifício, a pasta deve ser extremamente fluida e seus constituintes devem ter grãos finos com dimensão máxima bastante reduzida.

O equipamento consiste em uma haste de ferro onde, na sua extremidade, é conectado um cilindro metálico com orifício de 5,0 mm de diâmetro na superfície inferior, de base 60 mm e de altura 90 mm. Do fundo do cilindro até a superfície onde o fluido escoará deve ter uma distância de 150 mm. O equipamento encontra-se demonstrado na Imagem 7.

Imagem 7 - Descrição do equipamento utilizado no ensaio com Cilindro Espanhol.



Fonte: Martins (2009).

O ensaio consiste em preencher o cilindro com uma pasta extremamente fluida e com o mínimo possível de segregação. Após completar totalmente o interior do cilindro com a pasta fluida, permite-se que ela escoe pelo orifício até uma superfície plana que dista 150 mm do fundo do cilindro, medindo o tempo de escoamento da pasta com auxílio de um cronômetro. Após escoado todo o fluido, mede-se o diâmetro de espalhamento em dois sentidos com a ajuda de uma trena.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais empregados na presente pesquisa e os métodos de ensaio utilizados para a análise dos traços estudados neste trabalho.

4.1 MATERIAIS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram utilizados cimento, areia, metacaulim, água, aditivo polifuncional e aditivo modificador de viscosidade na composição das argamassas estudadas.

4.1.1 Cimento

O cimento utilizado na confecção das argamassas autonivelantes estudadas foi o CP II - Z - 32 (Cimento Portland com adição de pozolana e resistência de 32 MPa aos 28 dias) da marca Nacional e encontra-se apresentado na Imagem 8.

Imagem 8 - Amostra de Cimento Portland CP II - Z - 32.



Fonte: A autora (2017).

Segundo o fabricante, o CP II - Z - 32 tem baixo teor de adição e é composto por pozolana, que garante ao produto resistências iniciais superiores, coloração escura e pega rápida. É indicado para todas as aplicações do início ao final da obra, com o melhor desempenho e secagem mais rápida, garante rapidez de execução e redução de custos.

O cimento utilizado, conforme é especificado na embalagem, é composto por silicato de cálcio, alumínio e ferro, sulfato de cálcio, fíler carbonático e pozolana.

Para determinação da massa específica desse cimento foi utilizado o procedimento que consta na NBR NM 23 (ABNT, 2001), encontrando o valor de 3,08 g/cm³.

4.1.2 Metacaulim

O metacaulim pode proporcionar às argamassas autonivelantes um aumento das resistências mecânicas à compressão, tração e abrasão, em todas as idades, diminuição do calor de hidratação e da fissuração de origem térmica e diminuição da porosidade e permeabilidade. Além disso, a adição de metacaulim visou melhorar a reologia das argamassas, aumentando a coesão e a fluidez e reduzindo a exsudação e a segregação.

A massa específica do metacaulim fornecida pelo fabricante, demonstrado na Imagem 9, foi 2,62 g/cm³.

Imagem 9 - Amostra de metacaulim.



Fonte: A autora (2017).

4.1.3 Areia

A agregado miúdo empregado na produção das argamassas autonivelantes foi uma areia proveniente de mananciais, no estado de Sergipe.

A massa específica da areia foi determinada a partir do método de Chapman, descrito na NBR 9776 (ABNT, 1987). Conforme é recomendado pela norma, depois

de quarterar o material, duas amostras foram recolhidas para execução do ensaio. O mesmo resultado foi obtido nas duas amostras e a massa específica determinada foi $2,564 \text{ g/cm}^3$.

Houve o peneiramento da areia, com auxílio da peneira com abertura de 0,6 mm, para que fossem empregados apenas os grãos com dimensão máxima de 0,6 mm, resultando no agregado da Imagem 10.

Imagem 10 - Amostra de areia branca.



Fonte: A autora (2017).

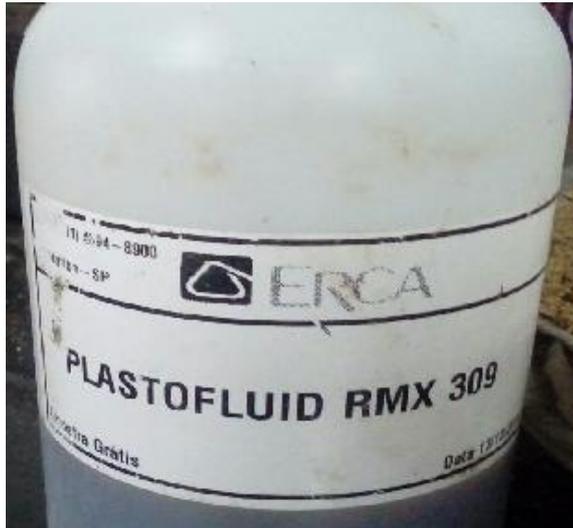
4.1.4 Água

Foi utilizada a água fornecida pela DESO para a instalações do Instituto Federal de Sergipe (IFS) - Campus Aracaju, onde a parte experimental do estudo foi realizada.

4.1.5 Aditivo polifuncional

O aditivo polifuncional utilizado foi o Plastofluid RMX 309 da fabricante ERCA, fornecido por uma empresa de Aracaju, em Sergipe (Imagem 11).

Imagem 11 - Polifuncional Plastofluid RMX 309 da fabricante ERCA.



Fonte: A autora (2017).

O PlastoFluid é a linha dos plastificantes popularmente chamados de polifuncionais da ERCA. Eles possuem como base principal os lignossulfonatos. Esta linha foi formulada com foco na manutenção da trabalhabilidade de concretos convencionais e bombeáveis.

Apesar de não serem disponibilizadas as especificações técnicas do fabricante sobre esse produto, os aditivos polifuncionais comumente são adicionados em teores entre 0,6% a 1,0% da massa de cimento.

4.1.6 Aditivo modificador de viscosidade

O aditivo modificador de viscosidade era o Sika Pump, qualificado pela fabricante como um aditivo líquido de alto desempenho para concreto e argamassa, que melhora consideravelmente as propriedades reológicas e viscoelásticas. Devido sua ação dispersora, propicia a obtenção de concretos bombeados com reduzida segregação e menos carreamento de finos para a superfície. O Sika Pump, representado na Imagem 12, não é um redutor de água.

Imagem 12 - Aditivo modificador de viscosidade da Sika.



Fonte: A autora (2017).

O Sika Pump é recomendado para:

- Todo tipo de concreto bombeado;
- Concreto com teor de finos variado;
- Concreto de baixo consumo ou com agregados de graduação descontínua, com baixa retenção de água e segregação, que normalmente exige alta pressão de bombeamento;
- Controle de exsudação em concreto auto-compactante;
- Aplicações em estruturas que exijam alta capacidade de lançamento e locais de difícil acesso para lançamento;
- Para bombeamentos a longas distâncias e grandes alturas.

Esse aditivo também deve ter, de acordo com a fabricante Sika, características como:

- Aumentar a coesão e homogeneidade do concreto;
- Aumentar a tendência do concreto fresco ao deslizamento, reduzindo, por consequência, a pressão de bombeamento;
- Aumentar a vida útil das bombas de concreto;
- Reduzir ou eliminar as frequentes interrupções por entupimentos devido ao bloqueamento das tubulações;
- Não ter efeitos negativos sobre as propriedades do concreto endurecido.

Sobre a dosagem o fabricante recomenda o uso de de 0,2 a 0,4% (200 a 400 g para cada 100 kg de cimento Portland) em relação ao peso do cimento para

aumentar a coesão do concreto de difícil mistura e de 0,5 a 1,5% (0,5 a 1,5 kg para cada 100 kg de cimento Portland) em relação ao peso do cimento, para redução da pressão de bombeamento e compensar a perda de finos.

4.2 CONFECÇÃO DAS ARGAMASSAS AUTONIVELANTES

A dosagem dos materiais foi definida a partir do estudo realizado por Souza, Ferreira e Azevedo (2012) onde seu melhor traço era 1:0,05:1,25 de cimento, sílica ativa e areia com 0,54 de relação água/cimento, 0,4% de aditivo superplastificante e 0,77% de aditivo modificador de viscosidade.

No presente trabalho, houve alterações de alguns aspectos no traço de Souza, Ferreira e Azevedo (2012) como usar metacaulim e aditivo polifuncional, ao invés de sílica ativa e aditivo superplastificante, e diminuir a relação água/cimento para 0,52.

As argamassas produzidas tiveram as quantidades de materiais em gramas descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Quantidades dos materiais empregados nas argamassas (g).

TRAÇO	CIMENTO (g)	AREIA (g)	METACAU LIM (g)	POLIFUNCIONAL (g)	VMA (g)
1	600	1250	30	2,4	4,62
2	600	1250	30	2,4	6,6
3	700	1250	35	2,8	5,39
4	700	1250	35	2,8	10,5
5	700	1250	43,75	2,8	5,39
6	700	1250	26,25	2,8	5,39
7	800	1250	40	3,2	6,16
8	800	1250	40	3,2	8,8
9	800	1250	40	3,2	12
10	800	1250	40	3,2	5,2
11	800	1250	80	2,8	5,39
12	800	1250	50	3,2	6,16
13	800	1250	30	3,2	6,16
14	800	1250	0	2,8	5,39
15	900	1250	45	3,6	6,93

Fonte: A autora (2017).

A maior massa de cimento utilizada foi 900 g, pois valores superiores a esse poderiam resultar numa maior retração do corpo de prova e buscava-se um traço ótimo com menor consumo de aglomerantes e aditivos possível.

A partir das quantidades dos materiais é possível obter o traço das argamassas, bastando apenas dividir a massa de cada um dos constituintes pela massa de cimento. Dessa forma, os traços de argamassa utilizados encontram-se organizados na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 - Traço das argamassas.

TRAÇO	CIMENTO	METACAU LIM	AREIA	ÁGUA	POLIFUNCIONAL	VMA
1	1	0,05	2,08	0,52	0,004	0,0077
2	1	0,05	2,08	0,52	0,004	0,011
3	1	0,05	1,79	0,52	0,004	0,0077
4	1	0,05	1,79	0,52	0,004	0,015
5	1	0,0625	1,79	0,52	0,004	0,0077
6	1	0,0375	1,79	0,52	0,004	0,0077
7	1	0,05	1,56	0,52	0,004	0,0077
8	1	0,05	1,56	0,52	0,004	0,011
9	1	0,05	1,56	0,52	0,004	0,015
10	1	0,05	1,56	0,52	0,004	0,0065
11	1	0,10	1,56	0,52	0,0035	0,0067
12	1	0,0625	1,56	0,52	0,004	0,0077
13	1	0,0375	1,56	0,52	0,004	0,0077
14	1	0	1,56	0,52	0,0035	0,0067
15	1	0,05	1,39	0,52	0,004	0,0077

Fonte: A autora (2017).

A relação água/cimento, em todas as misturas, foi 0,52 e a quantidade de areia também foi constante e igual a 1250 g.

Os percentuais, em relação à massa de cimento, de metacaulim e aditivos polifuncional e modificador de viscosidade empregados nas argamassas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Percentual de metacaulim e aditivos nas argamassas.

TRAÇO	% METACAU LIM	% VMA	% POLIFUNCIONAL
1	5	0,77	0,4
2	5	1,1	0,4
3	5	0,77	0,4
4	5	1,5	0,4
5	6,25	0,77	0,4
6	3,75	0,77	0,4
7	5	0,77	0,4
8	5	1,1	0,4
9	5	1,5	0,4
10	5	0,65	0,4
11	10	0,67	0,35
12	6,25	0,77	0,4
13	3,75	0,77	0,4
14	0	0,67	0,35
15	5	0,77	0,4

Fonte: A autora (2017).

Os materiais da pasta foram dosados com auxílio de uma balança comum (Imagem 13), calibrada, com capacidade máxima de 2100 g e precisão de 0,01 g.

Imagem 13 - Balança de precisão 0,01 g.

Fonte: A autora (2017).

Os materiais foram adicionados em parcelas na argamassadeira mecânica (Imagem 14) e misturados na velocidade 1 (velocidade lenta), sendo adicionada

primeiramente parte da água aos materiais secos e posteriormente, os aditivos diluídos numa pequena fração da água.

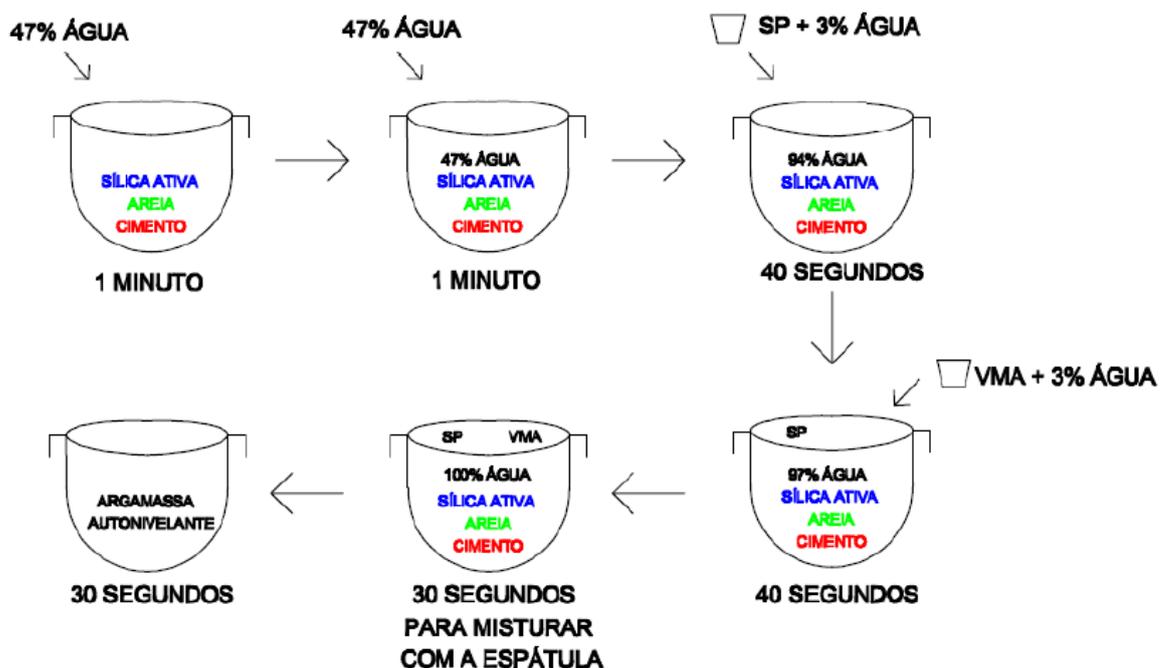
Imagem 14 - Argamassadeira mecânica.



Fonte: A autora (2017).

O procedimento e o tempo das misturas seguiu esquema (Imagem 15) utilizado por Souza, Ferreira e Azevedo (2012) em seu trabalho.

Imagem 15 - Procedimento de mistura.



Fonte: Souza, Ferreira e Azevedo (2012).

4.3 METODOLOGIA DOS ENSAIOS

Todos os ensaios das argamassas autonivelantes produzidas foram realizados no Laboratório de Materiais do Instituto Federal de Sergipe (IFS) - Campus Aracaju.

Nas tabelas presentes nesse trabalho, encontram-se em destaque as argamassas que possibilitaram a execução do ensaio com Cilindro Espanhol, com propriedades no estado fresco satisfatórias e que posteriormente foram submetidas ao ensaio de resistência à compressão. As argamassas que não tiveram o ensaio com Cilindro Espanhol realizado foram descartadas por apresentarem fluidez e viscosidade inadequadas ou por apresentarem excesso de segregação e exsudação da mistura.

4.3.1 Ensaio com Cilindro Espanhol

O ensaio com Cilindro Espanhol foi feito apenas com as argamassas autonivelantes que apresentaram alta fluidez e pouca ou nenhuma segregação e exsudação. Devido à sensibilidade do ensaio com Cilindro Espanhol, argamassas com elevada viscosidade, baixa fluidez ou materiais segregados afetam a dinâmica do ensaio, pois há muita dificuldade do escoamento dessas misturas pelo orifício de 5,0 mm de diâmetro do Cilindro Espanhol.

No início o orifício era fechado até que o interior do Cilindro Espanhol fosse totalmente preenchido com a mistura. Após isso, a saída era liberada, conforme Imagem 16, visando obter duas variáveis das argamassas autonivelantes:

- a. Tempo de escoamento: tempo decorrido entre o início de escoamento da argamassa autonivelante pelo orifício de saída do Cilindro Espanhol e seu completo escoamento, medido com através de um cronômetro.
- b. Diâmetro de espalhamento: com auxílio de uma trena, o diâmetro de espalhamento era medido depois do total escoamento da argamassa autonivelante sobre uma superfície plana. O diâmetro final foi determinado pela média entre dois diâmetros medidos em sentidos ortogonais. Os diâmetros médios de espalhamentos de argamassas autonivelantes obtidos em ensaios feitos em Valência, na Espanha, estão compreendidos entre 25 e 35 cm.

Imagem 16 - Execução do ensaio com Cilindro Espanhol.



Fonte: A autora (2017).

4.3.2 Ensaio de resistência à compressão

Para o ensaio de resistência à compressão foram moldados dois corpos de prova de 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura de cada traço cujas condições do estado fresco analisadas foram consideradas satisfatórias.

A moldagem dos corpos de prova foi bem simples, já que por ser uma argamassa extremamente fluida bastava despejar o conteúdo nos moldes que o fluido, por si só, se acomodava.

Vale ressaltar que só foram moldados corpos de prova das argamassas que puderam ser submetidas ao ensaio com Cilindro Espanhol e que foram aprovadas as características que apresentaram no estado fresco, como viscosidade moderada, alta fluidez e pouca e/ou nenhuma segregação e exsudação.

Após 28 dias de cura em água com cal, os corpos de prova foram rompidos na prensa hidráulica (Imagem 17).

Imagem 17 - Rompimento de corpo de prova em prensa hidráulica.



Fonte: A autora (2017).

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A fim de estudar a influência dos diversos materiais utilizados para produção do contrapiso autonivelante no diâmetro de espalhamento, no tempo de escoamento da mistura e na resistência dos corpos de prova moldados, foram elaborados gráficos com os resultados de diâmetro de espalhamento e de tempo de escoamento obtidos através do ensaio com Cilindro Espanhol e com os valores de resistência dos corpos de prova rompidos pela prensa hidráulica.

Nesses gráficos, os pontos cujos valores de diâmetro de espalhamento atribuídos foram iguais a 0, são as misturas que, na verdade, não tiveram o ensaio com Cilindro Espanhol realizado. A não realização do ensaio foi devido ao excesso de segregação dessas misturas ou a falta de fluidez exigida das mesmas para que não prejudicassem a dinâmica do ensaio. Dessas misturas também não foram moldados corpos de prova, pois suas características no estado fresco não foram satisfatórias para que fossem consideradas como argamassas de contrapiso autonivelante.

A seguir encontram-se expostos os resultados dos ensaios realizados em laboratório, assim como a análise dos mesmos.

5.1 ENSAIO COM CILINDRO ESPANHOL

Através desse ensaio foram determinados o diâmetro de espalhamento e o tempo de escoamento das misturas, quando possível. Essas variáveis encontram-se apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Características físicas das argamassas.

TRAÇO	ANÁLISES		
	RESULTADO	TEMPO DE ESCOAMENTO (s)	DIÂMETRO (cm)
1	Segregou muito	NF	NF
2	Segregou muito	NF	NF
3	Segregou	137	29,7
4	Segregou muito	NF	NF
5	Segregou um pouco	186	27,0
6	Segregou um pouco	103	33,1
7	Segregou bem pouco	75	32,5
8	Segregou muito	NF	NF
9	Segregou muito	NF	NF
10	Segregou um pouco	114	30,8
11	Ficou grosso	NF	NF
12	Segregou um pouco	77	30,5
13	Quase não segregou	73	32,9
14	Segregou um pouco	56	37,9
15	Segregou bem pouco	50	38,8

Fonte: A autora (2017).

Posteriormente, os valores obtidos foram analisados tentando estabelecer a relação deles com os materiais empregados na confecção das argamassas estudadas.

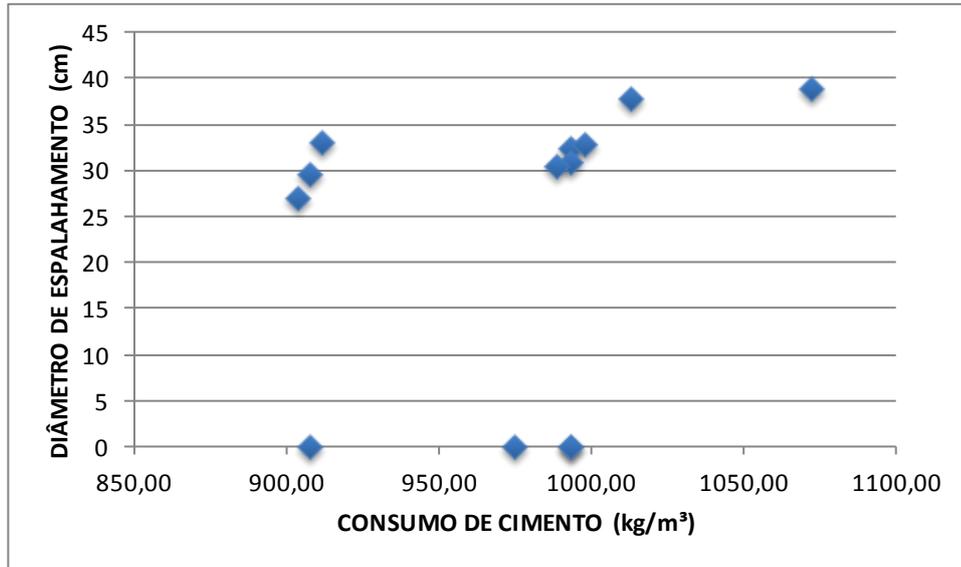
Adiante encontram-se as análises realizadas para estabelecer se há ou não relação dos materiais utilizados com o diâmetro de espalhamento e com o tempo de escoamento das argamassas produzidas.

5.1.1 Análise da influência do cimento

5.1.1.1 Influência do cimento no diâmetro de espalhamento do contrapiso autonivelante

O Gráfico 1 foi elaborado com o objetivo determinar se há alguma relação do consumo de cimento utilizado em cada mistura com o seu diâmetro de espalhamento.

Gráfico 1 - Relação entre o consumo de cimento (kg/m^3) e o diâmetro de espalhamento (cm).



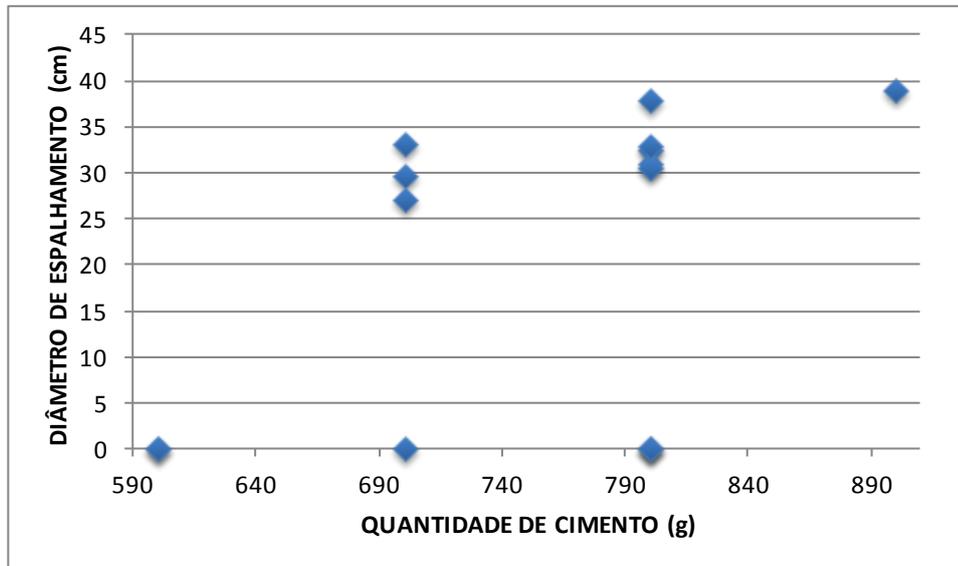
Fonte: A autora (2017).

Pela análise do Gráfico 1, não é possível afirmar que o diâmetro de espalhamento pode ser influenciado apenas pelo consumo de cimento. Entretanto, analisando-se isoladamente alguns pontos, há faixas de valores que apresentam valores de diâmetro de espalhamento crescentes com o aumento do consumo de cimento.

Além disso, apesar de graficamente não ser representada uma influência do aumento do consumo de cimento com o aumento do diâmetro de espalhamento, notou-se que, com o aumento do consumo, a fluidez da mistura aumentava e possivelmente seu diâmetro de espalhamento.

Dessa forma, na tentativa de avaliar se o cimento pode influenciar no diâmetro de espalhamento da mistura, um novo gráfico foi construído para demonstrar se realmente existia essa influência. Diante disso, o Gráfico 2 relaciona a quantidade de cimento em gramas (600 g, 700 g, 800 g e 900 g) com o diâmetro de espalhamento da mistura.

Gráfico 2 - Relação entre a quantidade de cimento (g) e o diâmetro de espalhamento (cm).



Fonte: A autora (2017).

Nesse gráfico fica mais claro que o cimento realmente pode interferir, ainda que ligeiramente, no diâmetro de espalhamento da mistura. Os pontos permitem visualizar um aumento no diâmetro de espalhamento da mistura com o aumento na quantidade de cimento empregada.

Os traços com 600 g de cimento, ficaram menos fluidos do que se pretendia e tiveram segregação de materiais. Isso se deve talvez à quantidade de aglomerante (cimento e aglomerante) insuficiente para o empacotamento e coesão da mistura o que não permitiu a realização do ensaio com Cilindro Espanhol.

Diante do exposto, os traços seguintes foram elaborados com 700 g de cimento e o resultado foi, de fato, positivo em relação aos traços com 600 g de cimento. Ao menos, conseguiu-se realizar o ensaio com Cilindro Espanhol com os traços que possuíam 700 g de cimento.

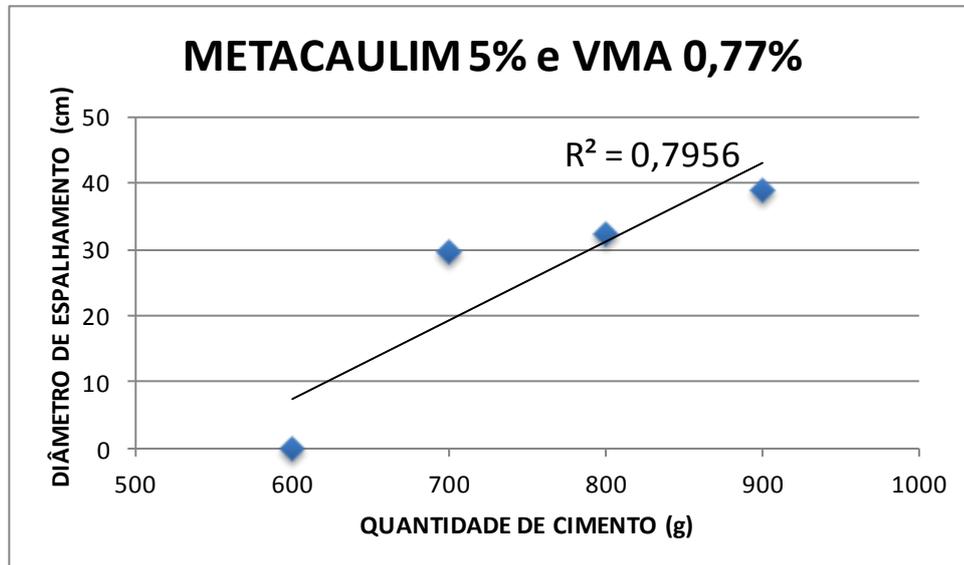
Posteriormente, a quantidade de cimento foi aumentada para 800 g e o resultado foi mais uma vez superior aos anteriores, ou seja, menos segregação e maior fluidez das misturas que podem resultar num maior diâmetro de espalhamento da mistura.

A quantidade de cimento na mistura foi aumentada até 900 g, que apresentou, mais uma vez, maior fluidez do que aquelas cuja quantidade de cimento era menor.

A fim de certificar que há influência da quantidade de cimento no diâmetro de espalhamento da mistura, foi elaborado o Gráfico 3 dessa vez mantendo constante o

metacaulim em 5%, o aditivo polifuncional em 0,4% e o aditivo VMA em 0,77% da massa de cimento. Assim sendo, a única alteração é a quantidade de cimento (600 g, 700 g, 800 g e 900 g) que diferem em cada mistura.

Gráfico 3 - Relação da quantidade de cimento (g) apenas com o diâmetro de espalhamento.



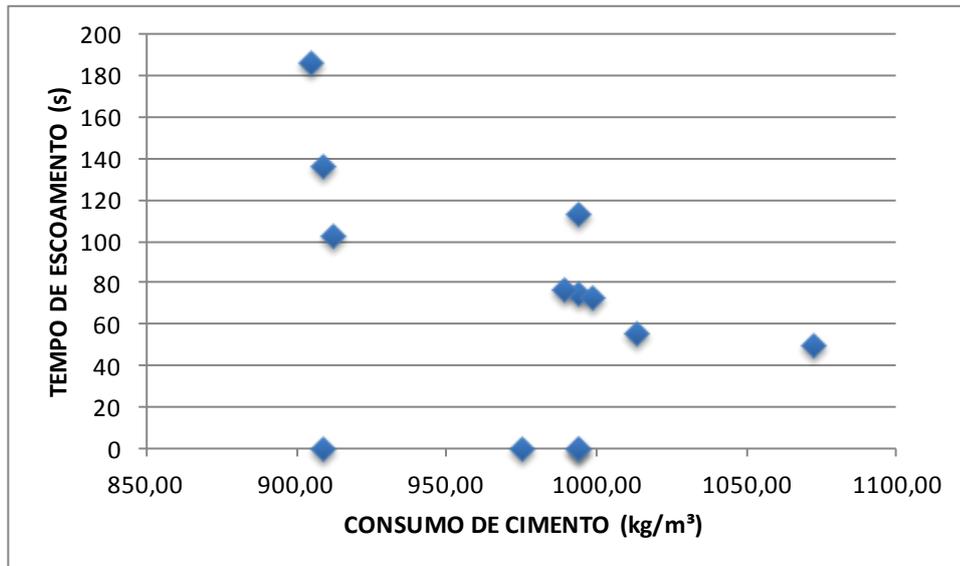
Fonte: A autora (2017).

No Gráfico 3, em que todos os constituintes da mistura se mantêm constantes e apenas o cimento varia, parece demonstrar que a quantidade de cimento verdadeiramente influi no diâmetro de espalhamento, pois, à medida que a massa de cimento aumenta na mistura, o diâmetro de espalhamento também aumenta.

5.1.1.2 Influência do cimento no tempo de escoamento do contrapiso autonivelante

O cimento pode também interferir no tempo de escoamento do contrapiso autonivelante. Para que se pudesse analisar a relação entre o cimento e o tempo de escoamento da mistura, os valores do consumo de cimento das misturas e seus respectivos valores de diâmetro de escoamento foram organizados no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Relação entre o consumo de cimento (kg/m^3) e o tempo de escoamento (s).



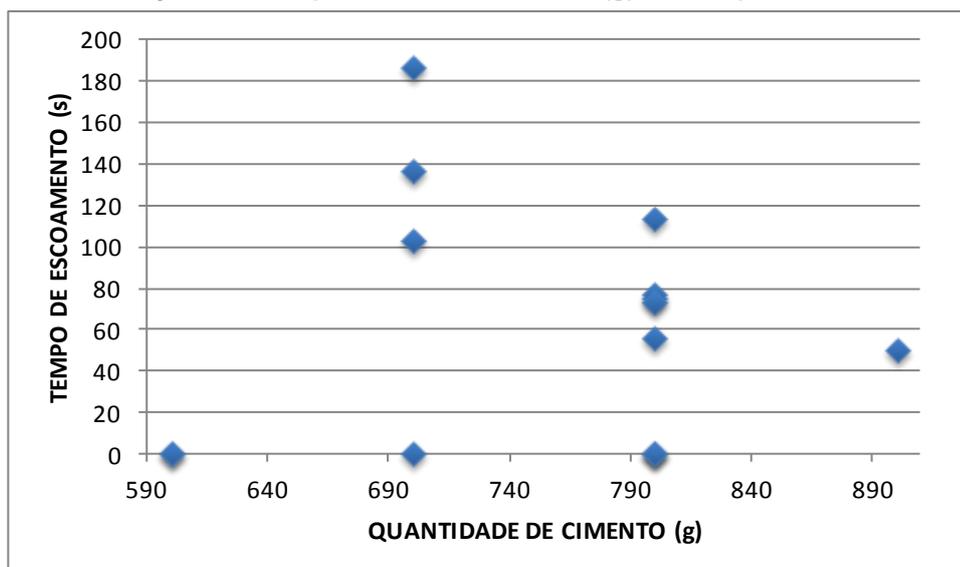
Fonte: A autora (2017).

Pelo Gráfico 4, o consumo de cimento por si só parece não influenciar no tempo de escoamento da mistura.

Porém, durante o preparo da mistura, verificou-se que o aumento do consumo de cimento poderia atribuir maior fluidez à mistura e, dessa forma, resultar numa redução do tempo de escoamento.

Com intuito de visualizar se o cimento pode interferir no tempo de escoamento da mistura, foi elaborado o Gráfico 5. Ele busca expor se a quantidade de cimento em gramas interfere no tempo de escoamento das misturas.

Gráfico 5 - Relação entre a quantidade de cimento (g) e o tempo de escoamento (s).



Fonte: A autora (2017).

Numa análise global dos pontos do Gráfico 5, o aumento no consumo de cimento parece reduzir o tempo de escoamento da mistura. A afirmativa de que o aumento de cimento pode provocar redução no tempo de escoamento aparenta ser válida.

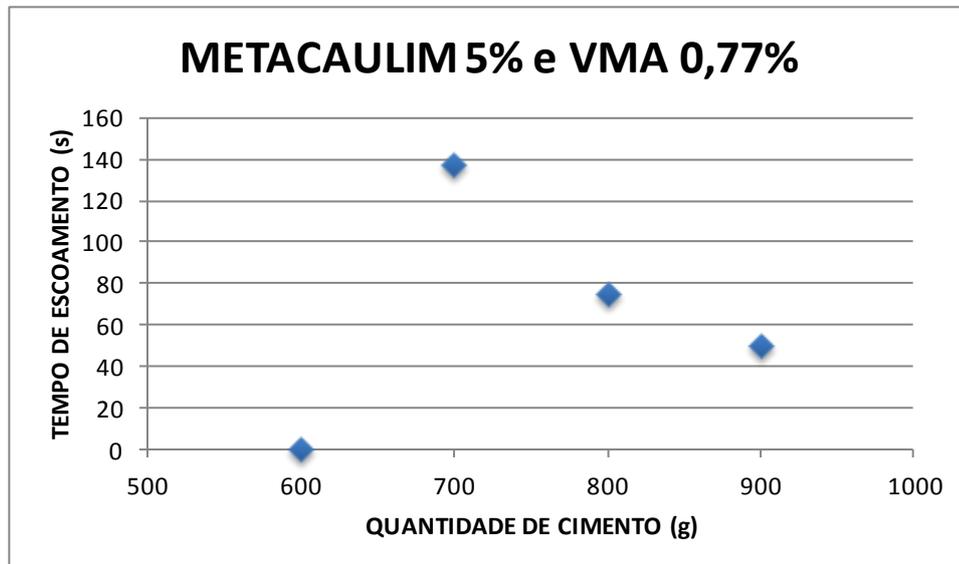
Visando refinamento das análises, foi produzido um terceiro gráfico relacionando cimento e tempo de escoamento da mistura.

As misturas compostas por 600 g de cimento, por não atenderem à fluidez necessária para que correspondessem a argamassas de contrapiso autonivelante e tiveram grande segregação de materiais, impossibilitaram que o ensaio com Cilindro Espanhol fosse feito e por isso não possuem valores de tempo de escoamento.

Os outros traços, com 700 g, 800 g e 900 g, apresentaram valores de tempo de escoamento reduzidos com o aumento da quantidade de cimento.

O Gráfico 6, cujos pontos representam resultados de tempo de escoamento de misturas nas quais apenas a quantidade de cimento é modificada, assumindo os valores de 600 g, 700 g, 800 g e 900 g, foi elaborado com intuito de visualizar se o cimento pode interferir no tempo de escoamento da mistura. Todos os outros constituintes dos traços permanecem constantes: 5% de metacaulim, 0,4% de aditivo polifuncional e 0,77% de aditivo VMA.

Gráfico 6 - Relação da quantidade de cimento (g) apenas e o tempo de escoamento (s).



Fonte: A autora (2017).

Ao se manterem constantes os demais componentes da mistura e variando-se apenas a quantidade de cimento, o Gráfico 6 comprova que o cimento sozinho

pode efetivamente influir no tempo de escoamento da mistura, reduzindo-o conforme aumenta a quantidade de cimento consumida no preparo dessas argamassas.

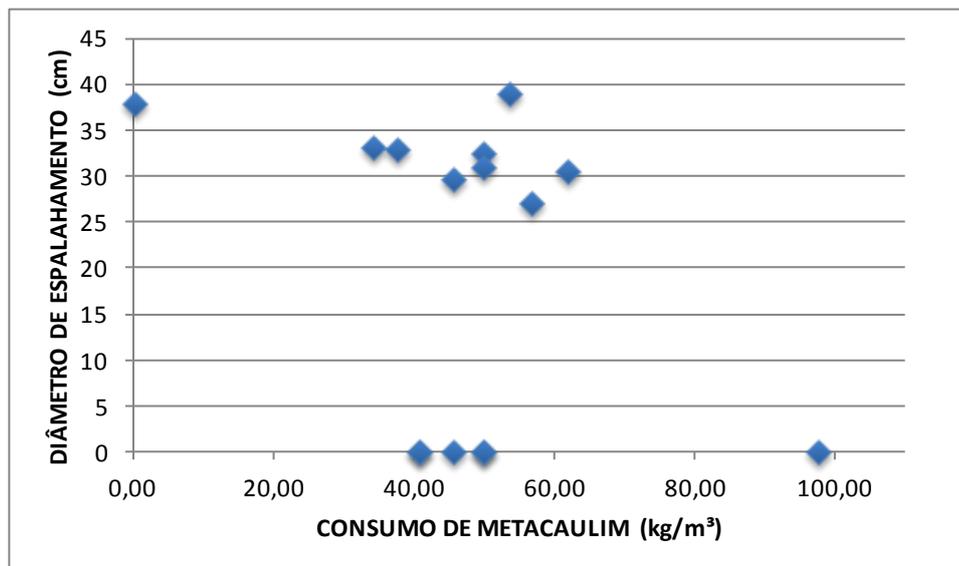
5.1.2 Análise da influência do metacaulim

5.1.2.1 Influência do metacaulim no diâmetro de espalhamento do contrapiso autonivelante

A análise da influência do metacaulim no diâmetro de espalhamento da mistura deu-se através do desenvolvimento de quatro gráficos.

O Gráfico 7 avalia o diâmetro de espalhamento em relação ao consumo de metacaulim.

Gráfico 7 - Relação do consumo de metacaulim (kg/m^3) com o diâmetro de espalhamento.



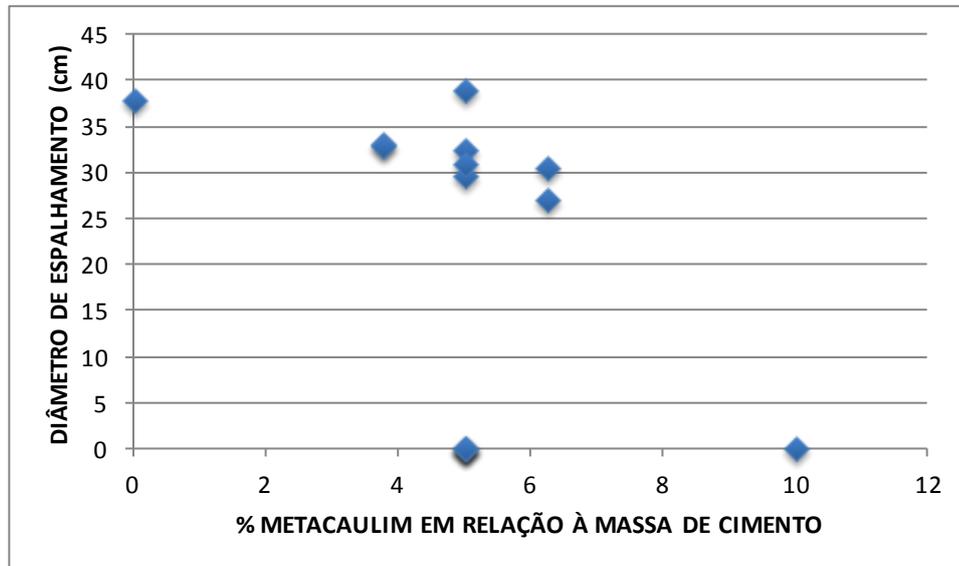
Fonte: A autora (2017).

De acordo com o Gráfico 7, não é possível inferir que o aumento no consumo de metacaulim resulta numa redução do diâmetro de espalhamento.

Contudo, durante o preparo das misturas, observou-se que, com o aumento do consumo de metacaulim, diminuía a fluidez da mistura e/ou aumentava sua segregação. Isso se deve talvez ao aumento no teor de materiais secos na mistura.

Por isso, foi necessário elaborar outros gráficos para tentar analisar se existe essa relação entre metacaulim e o diâmetro de espalhamento. Então, o Gráfico 8 correlaciona o diâmetro de espalhamento com o percentual de metacaulim em relação à massa de cimento.

Gráfico 8 - Relação do percentual de metacaulim com o diâmetro de espalhamento.



Fonte: A autora (2017).

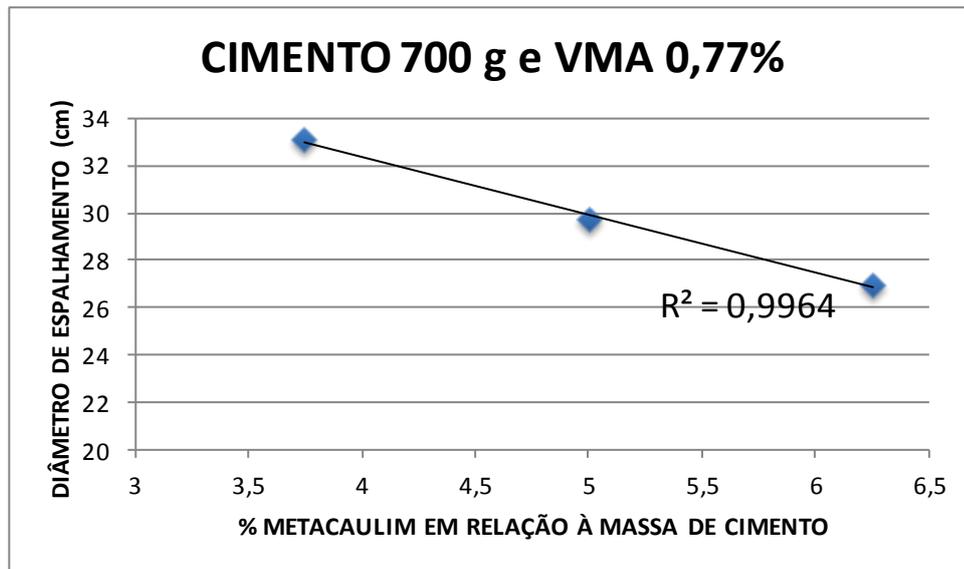
O Gráfico 8, assim como o Gráfico 7, não deixa evidente se o metacaulim interfere ou não no diâmetro de espalhamento na mistura, apesar de que alguns pontos tendem a expressar que o diâmetro de espalhamento diminui a medida que o percentual de metacaulim em relação à massa de cimento aumenta, isto é, a mistura torna-se menos fluida. Quando o traço com 10% de metacaulim em relação à massa de cimento é analisado, a hipótese de que o metacaulim é prejudicial a fluidez da mistura torna-se ainda mais provável. Nesse traço sequer foi possível obter dados com o ensaio com Cilindro Espanhol em razão da mistura apresentar-se pouco fluida, não se autonivelar e resultar num amontoado de argamassa.

No traço sem adição de metacaulim, apesar do alto diâmetro de escoamento, pôde-se visualizar que, sem o metacaulim, a mistura estava com baixa viscosidade e um pouco heterogênea: era possível notar partículas sólidas suspensas no fluido.

Os gráficos a seguir são de misturas que possuem a mesma quantidade de cimento e que o teor de aditivo polifuncional e de VMA são iguais a 0,4% e 0,77% da massa de cimento, respectivamente.

O Gráfico 9 é composto apenas pelos resultados obtidos das misturas que possuíam 700 g de cimento, 0,4% de aditivo polifuncional e 0,77% de VMA da massa de cimento, ou melhor, a única variável dos pontos é o teor de metacaulim (3,75%, 5% e 6,25% em relação à massa de cimento).

Gráfico 9 - Relação do percentual de metacaulim apenas com o diâmetro de espalhamento em traços com 700 g de cimento.

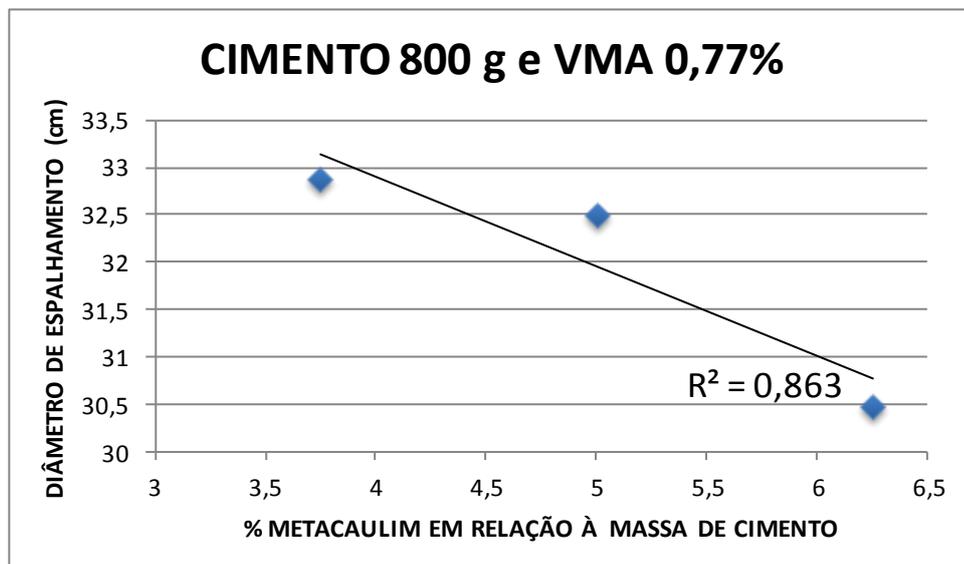


Fonte: A autora (2017).

Como o Gráfico 9 mantém todos os outros parâmetros constantes analisando a influência somente do metacaulim no diâmetro de espalhamento da mistura, aquele parece efetivamente intervir neste, uma vez que, com o aumento do percentual de metacaulim, o diâmetro tende a diminuir.

O Gráfico 10 foi então desenvolvido para ratificar o que foi obtido no Gráfico 9. Assim, no Gráfico 10 novamente estão mantidos todos os elementos (cimento, aditivo polifuncional e VMA) da mistura constantes modificando apenas o teor de metacaulim para 3,75%, 5% e 6,25% em relação à massa de cimento.

Gráfico 10 - Relação do percentual de metacaulim apenas com o diâmetro de espalhamento em traços com 800 g de cimento.



Fonte: A autora (2017).

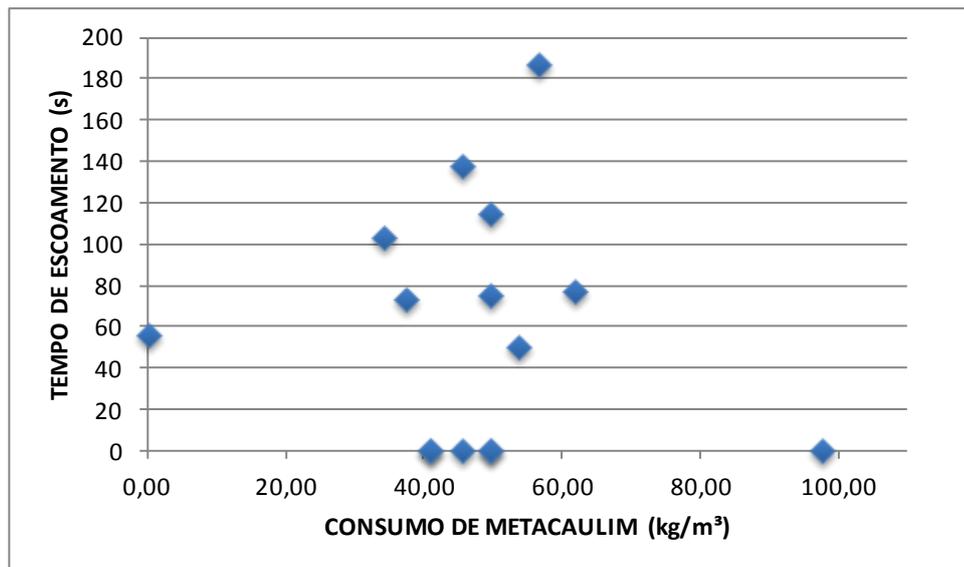
Mais uma vez comprova-se que o teor de metacaulim influencia no diâmetro de espalhamento, pois conforme o teor de metacaulim aumenta, o diâmetro de espalhamento da mistura é reduzido, principalmente devido ao aumento de área específica da mistura.

Por fim, pode-se reconhecer que o teor de metacaulim, decerto por diminuir a fluidez da mistura, afeta o diâmetro de espalhamento, reduzindo-o quão maior for esse teor.

5.1.2.2 Influência do metacaulim no tempo de escoamento do contrapiso autonivelante

Para analisar de que forma o metacaulim intervinha no tempo de escoamento da mistura, foi elaborado o Gráfico 11, de tempo de escoamento por variação do consumo de metacaulim.

Gráfico 11 - Relação do consumo de metacaulim (kg/m^3) com o tempo de escoamento (s).



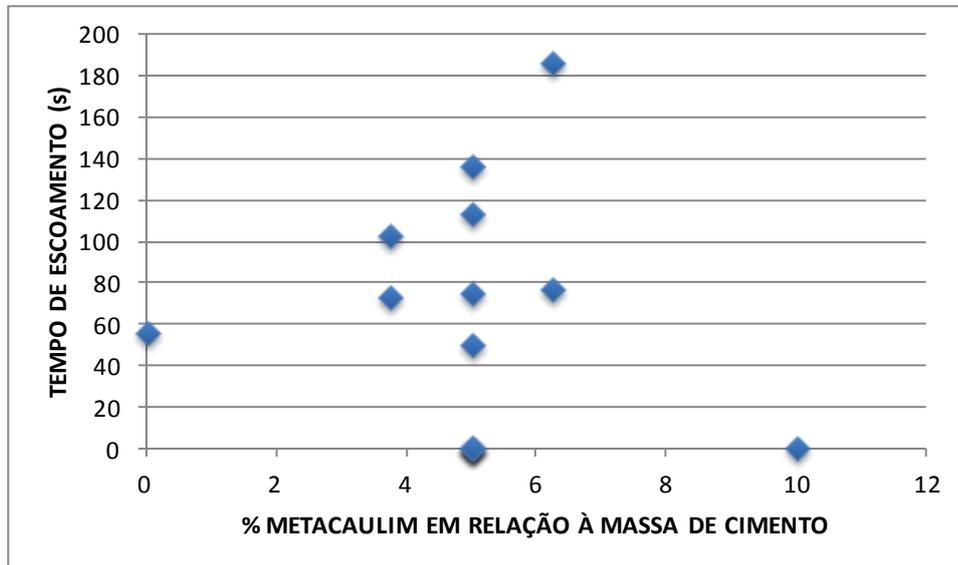
Fonte: A autora (2017).

O Gráfico 11 não permite concluir que o consumo de metacaulim apenas pode interferir no tempo de escoamento da mistura. Porém, o aumento no consumo do metacaulim parecia reduzir a fluidez da mistura ou até ajudar na sua segregação.

O aumento de metacaulim demonstrava tender a aumentar o tempo de escoamento chegando a impossibilitar a realização do ensaio com Cilindro Espanhol que precisa de uma mistura bastante fluida e com pouca segregação, caso contrário entope o orifício por onde deve sair a mistura, prejudicando a dinâmica do ensaio.

Objetivando-se comprovar que o aumento de metacaulim é prejudicial à mistura, reduzindo sua fluidez e talvez aumentando seu tempo de escoamento, o Gráfico 12, percentual de metacaulim por tempo de escoamento, foi construído.

Gráfico 12 - Relação do percentual de metacaulim com o tempo de escoamento (s).

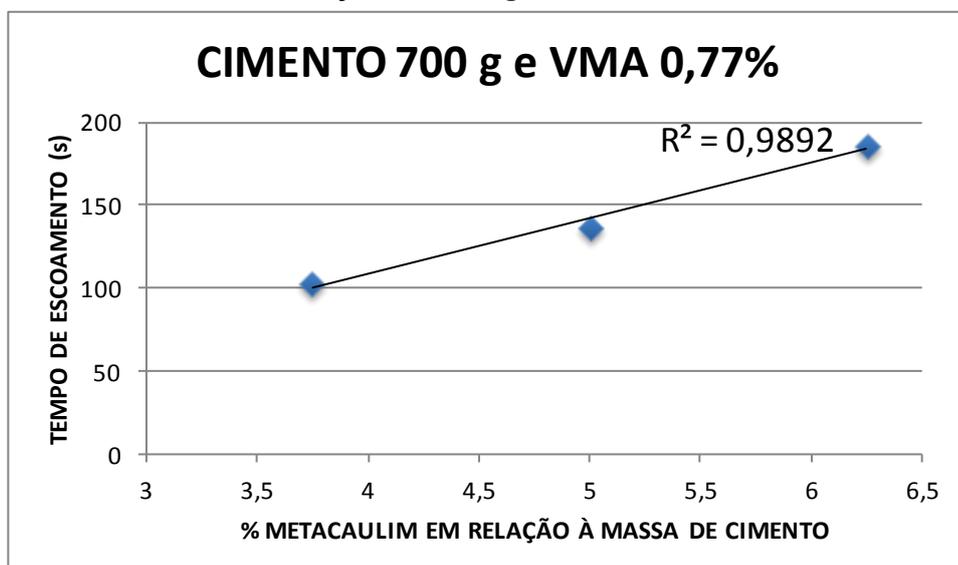


Fonte: A autora (2017).

O Gráfico 12 não deixa claro a influência do aumento do percentual de metacaulim no tempo de escoamento da mistura, pois não demonstra se há correlação entre os dois.

Logo, foi confeccionado o Gráfico 13 que varia apenas o teor de metacaulim, ou seja, os traços possuem a mesma quantidade de cimento, 0,4% de aditivo polifuncional e 0,77% de VMA.

Gráfico 13 - Relação do percentual de metacaulim apenas com o tempo de escoamento (s) em traços com 700 g de cimento.

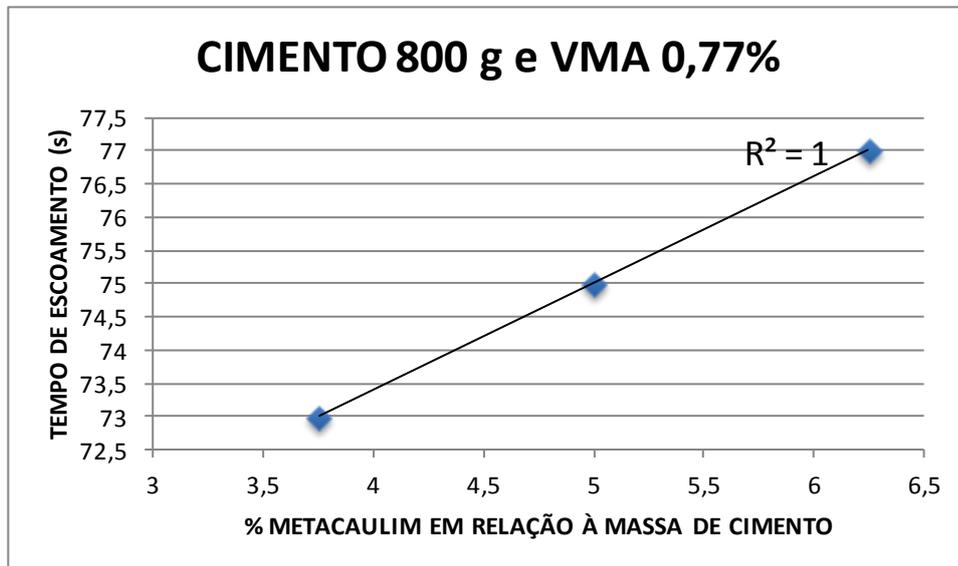


Fonte: A autora (2017).

O Gráfico 13, composto apenas pelos traços com 700 g de cimento, 0,4% de aditivo polifuncional e 0,77% de VMA em relação à massa de cimento, confirmam o que havia sido observado durante a produção da argamassas: realmente, os traços com maior percentual de metacaulim tem maior tempo de escoamento, pois a mistura torna-se menos fluida e tem maior dificuldade de escoar pelo orifício do cilindro utilizado no ensaio com Cilindro Espanhol.

Para confirmar a afirmação de que o tempo de escoamento aumenta com o aumento do metacaulim empregado na mistura, o Gráfico 14 foi traçado com as argamassas formadas por 800 g de cimento, 0,4% de aditivo polifuncional e 0,77% de aditivo VMA e com variação apenas do percentual de metacaulim.

Gráfico 14 - Relação do percentual de metacaulim apenas com o tempo de escoamento (s) em traços com 800 g de cimento.



Fonte: A autora (2017).

O Gráfico 14 assegura que o aumento no percentual de metacaulim causa um aumento no tempo de escoamento da mistura.

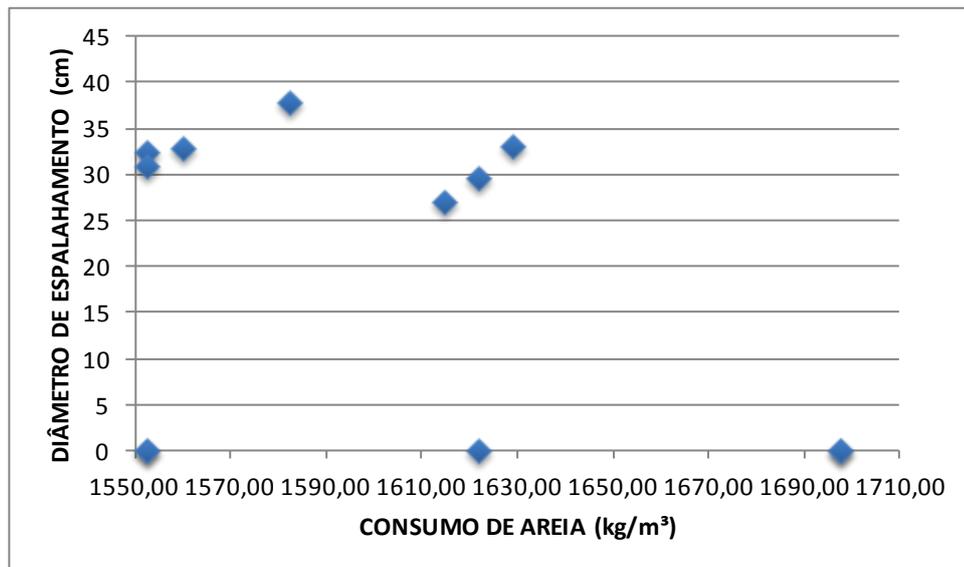
Após a análise dos gráficos, permite-se afirmar que, maior será o tempo de escoamento da argamassa, quanto maior for o percentual de metacaulim empregado na mistura.

5.1.3 Análise da influência da areia

5.1.3.1 Influência da areia no diâmetro de espalhamento do contrapiso autonivelante

A fim de analisar qual a relação entre a areia e o diâmetro de espalhamento da mistura, foi feito o Gráfico 15, associando os valores de consumo de areia com os de diâmetro de espalhamento da mistura.

Gráfico 15 - Relação do consumo de areia (kg/m^3) com o diâmetro de espalhamento.



Fonte: A autora (2017).

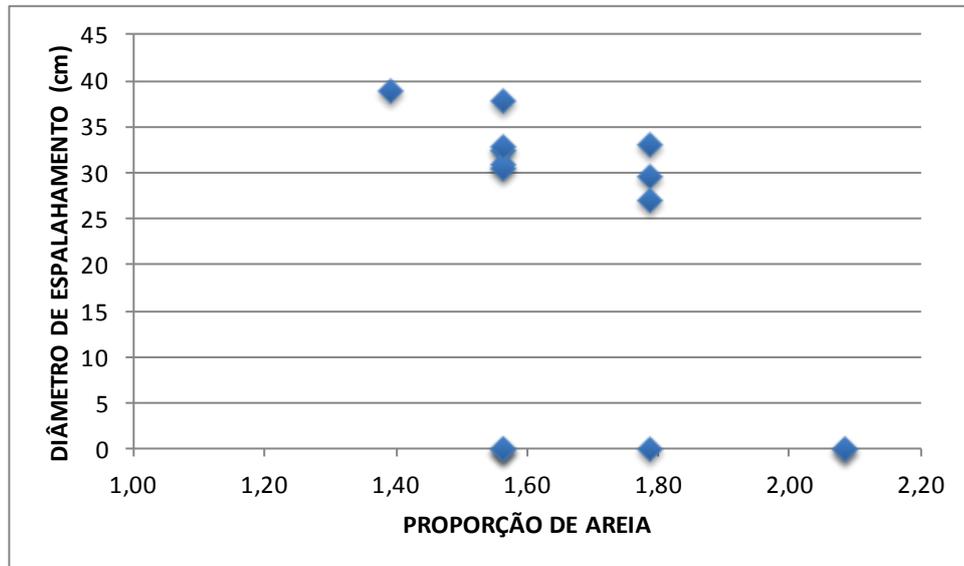
Segundo o gráfico, o consumo de areia somente parece não influenciar no diâmetro de espalhamento.

Ainda que, em uma análise geral do gráfico, pareça que o aumento no consumo de areia ocasiona uma redução no diâmetro de espalhamento, houve faixas de valores em que o aumento desse consumo parece ter promovido um aumento no diâmetro de espalhamento, mas isso provavelmente teve influência de outras variáveis.

A análise da interferência da areia no diâmetro de espalhamento da mistura utilizando o consumo de areia em kg/m^3 não determinou de que modo a areia intervém no diâmetro de espalhamento da mistura.

Desse modo, o Gráfico 16 foi traçado para tentar ligar o diâmetro de espalhamento da mistura com a areia empregada confrontando os valores de diâmetro com a proporção de areia.

Gráfico 16 - Relação da proporção de areia com o diâmetro de espalhamento.



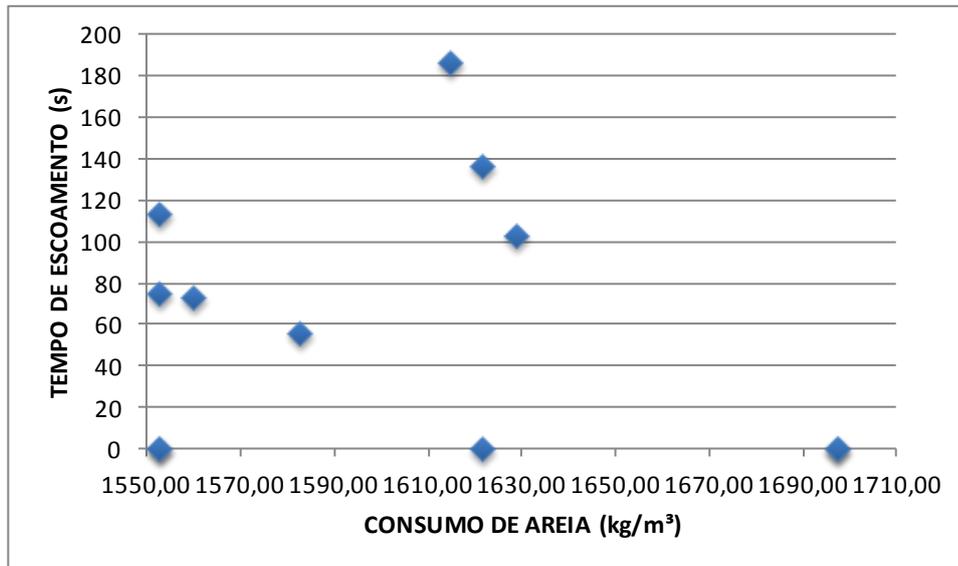
Fonte: A autora (2017).

Mesmo com a análise do Gráfico 16, não há comprovação da influência da areia no diâmetro de espalhamento da mistura. Porém, uma interpretação global do gráfico aponta para a redução do diâmetro de espalhamento da mistura com o acréscimo de areia. Ademais, teoricamente, essa redução de diâmetro de espalhamento deve ocorrer, já que o acréscimo de areia tende a aumentar a quantidade de materiais secos, reduzir a fluidez da mistura e, assim, o diâmetro de espalhamento da mistura também.

5.1.3.2 Influência da areia no tempo de escoamento do contrapiso autonivelante

O estudo da influência que a areia poderia ter no tempo de escoamento do contrapiso autonivelante, iniciou-se a partir da organização dos resultados obtidos no Gráfico 17.

Gráfico 17 - Relação do consumo de areia (kg/m^3) com o tempo de escoamento (s).

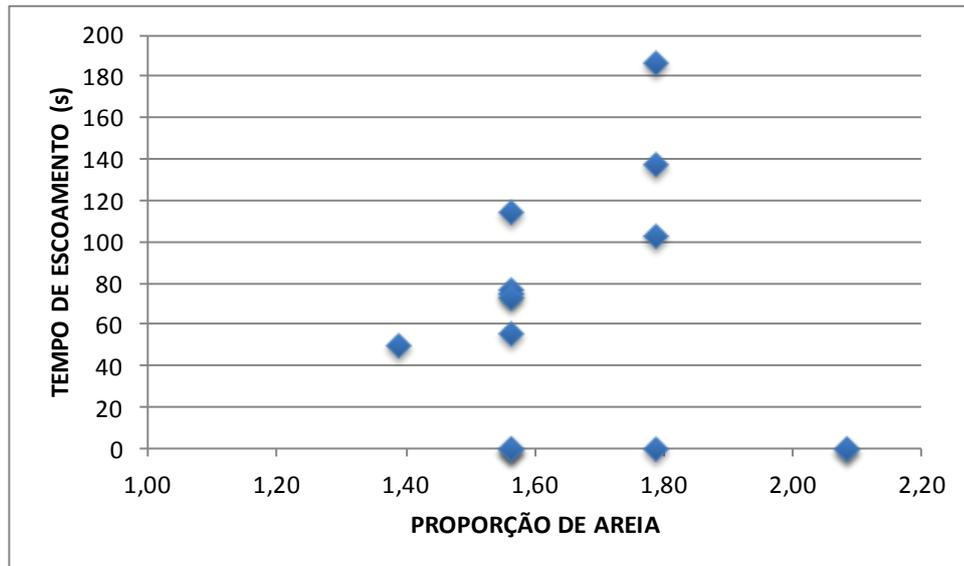


Fonte: A autora (2017).

A leitura do gráfico não possibilita afirmar que o consumo de areia isoladamente interfere no tempo de espalhamento da mistura. Mas, numa análise generalizada dos pontos, o aumento no consumo de areia aparenta causar um aumento no tempo de escoamento da mistura. Tanto que argamassa que possuía o menor consumo de areia ($1488,99 \text{ kg}/\text{m}^3$), foi a mais fluida e apresentou o menor tempo de escoamento (50 s). Da mesma forma, a mistura produzida com o maior consumo de areia ($1697,53 \text{ kg}/\text{m}^3$) não apresentou a fluidez necessária para que pudesse ser realizado o ensaio com Cilindro Espanhol, isto é, caso fosse realizado o ensaio, mesmo sem atender as condições pretendidas de fluidez, seria possivelmente àquela com maior valor de tempo de escoamento.

Com o propósito de buscar de maneira mais clara qual a influência da areia no tempo de escoamento da argamassa, o Gráfico 18 foi elaborado correlacionando a proporção da areia com o tempo de escoamento.

Gráfico 18 - Relação da proporção de areia com o tempo de escoamento (s).



Fonte: A autora (2017).

O gráfico permite afirmar que o aumento a proporção de areia resulta no aumento do tempo de escoamento da mistura. Assim, numa interpretação global dos pontos do gráfico, pode-se entender que o aumento no teor de areia, supostamente aumenta o tempo de escoamento da argamassa.

5.1.4 Análise da influência do aditivo polifuncional

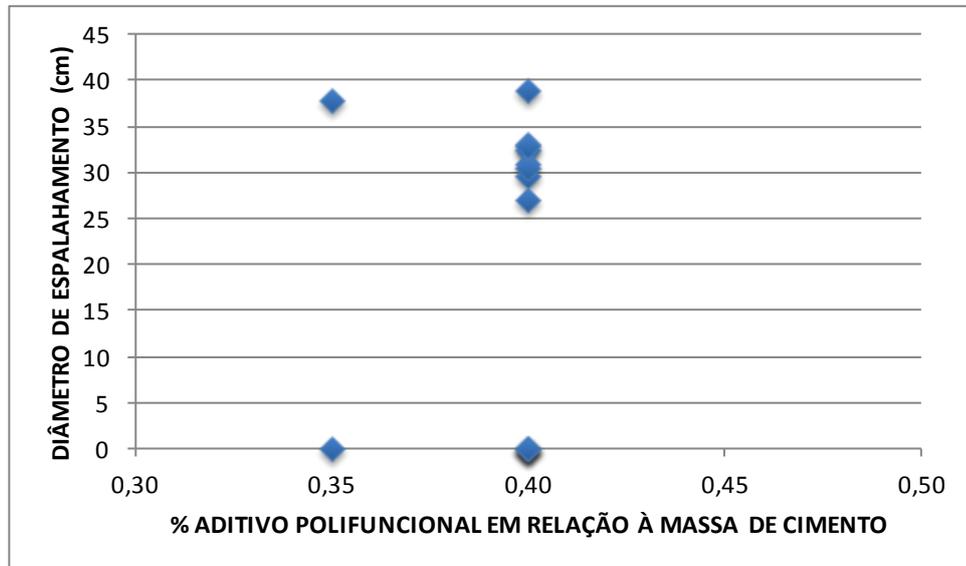
O percentual de aditivo polifuncional praticamente não foi alterado nos traços, sendo mantido, em quase todos os traços, igual a 0,4% em relação à massa de cimento.

Isso ocorreu em virtude de alguns resultados obtidos onde o acréscimo de aditivo polifuncional parecia prejudicar a uniformidade da mistura.

5.1.4.1 Influência do aditivo polifuncional no diâmetro de espalhamento do contrapiso autonivelante

Mesmo com pouca variação do percentual de aditivo polifuncional, o Gráfico 19 foi construído para verificar se há uma ligação entre o percentual desse aditivo e o diâmetro de espalhamento da mistura.

Gráfico 19 - Relação do percentual de aditivo polifuncional com o diâmetro de espalhamento.



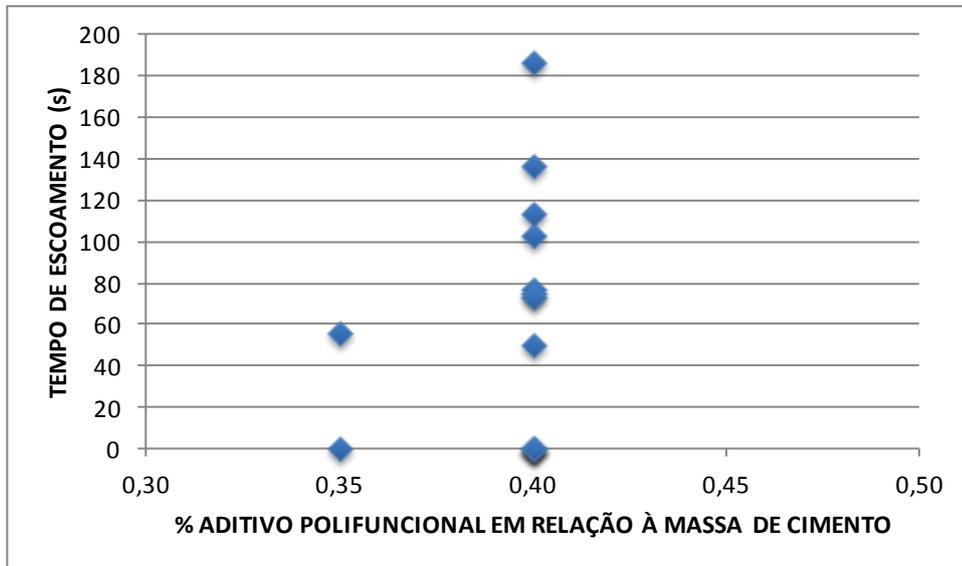
Fonte: A autora (2017).

De acordo com o gráfico, o percentual de aditivo polifuncional isoladamente parece não interferir no diâmetro de espalhamento da mistura, visto que para o mesmo valor de percentual de aditivo, o diâmetro de espalhamento altera-se. Isso certamente ocorreu pela influência de outras variáveis como quantidade de cimento e teor de metacaulim empregados nas misturas.

5.1.4.2 Influência do aditivo polifuncional no tempo de escoamento do contrapiso autonivelante

O Gráfico 20 foi traçado na tentativa de constatar se o percentual de aditivo polifuncional adicionado interfere no tempo de escoamento da argamassa.

Gráfico 20 - Relação do percentual de aditivo polifuncional com o tempo de escoamento (s).



Fonte: A autora (2017).

O percentual de aditivo polifuncional exclusivamente, segundo o gráfico, não influencia no tempo de escoamento da mistura. Apesar disso, foi observado, durante a execução dos ensaios, que o aumento do percentual de aditivo polifuncional parecia provocar uma maior segregação da mistura, o que pode aumentar o tempo de escoamento da mistura. Tendo em vista que conforme os sólidos vão se assentando no fundo, o orifício do Cilindro Espanhol vai tendo seu diâmetro reduzido pelo acúmulo desse material segregado, a vazão vai reduzir e, conseqüentemente, o tempo de escoamento do fluido.

5.1.5 Análise da influência do aditivo modificador de viscosidade

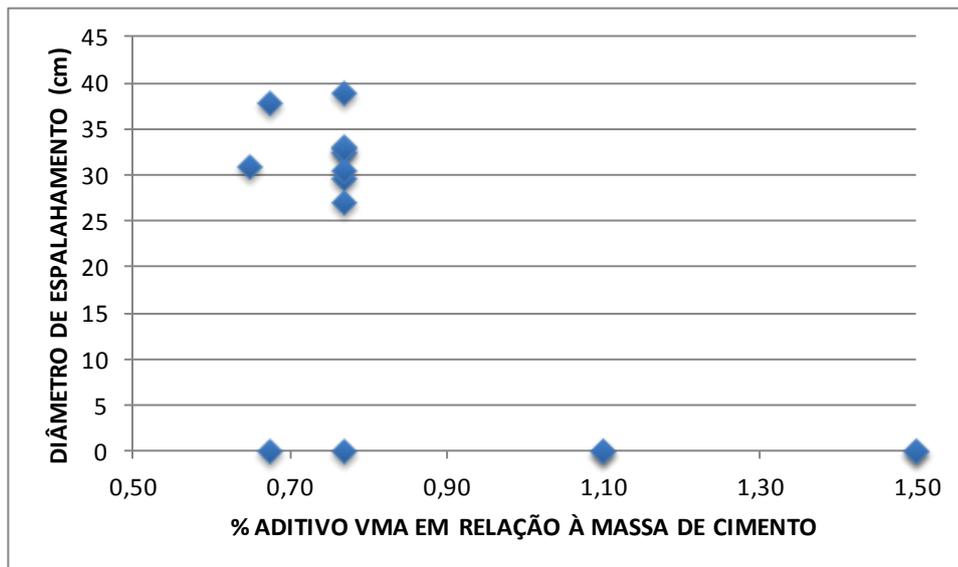
Apesar de Martins (2009) afirmar que o aditivo modificador de viscosidade auxilia na estabilidade da mistura, durante o preparo dos traços estudados, esse aditivo parecia proporcionar fluidez à mistura.

O percentual de aditivo modificador de viscosidade utilizado na confecção das misturas foi 0,67%, 0,77%, 1,1% e 1,5% (percentual máximo em relação à massa de cimento recomendado pelo fabricante).

5.1.5.1 Influência do aditivo modificador de viscosidade no diâmetro de espalhamento do contrapiso autonivelante

O Gráfico 21 foi feito para observar se o percentual de aditivo VMA tem relação com o diâmetro de espalhamento da mistura.

Gráfico 21 - Relação do percentual de aditivo VMA com o diâmetro de espalhamento.

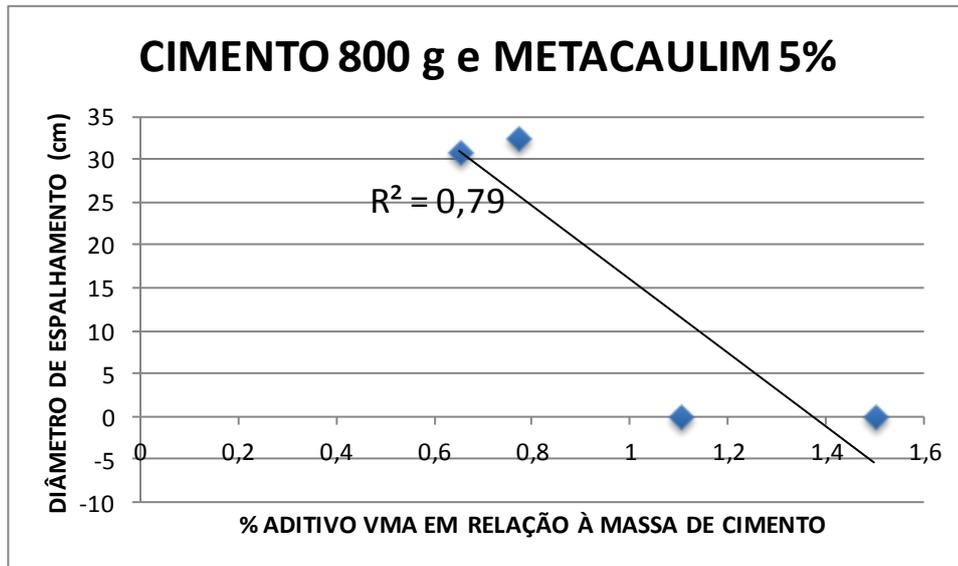


Fonte: A autora (2017).

Através da análise do gráfico, nota-se que o teor de VMA isoladamente parece não influenciar no diâmetro de espalhamento da mistura, pois misturas com o mesmo percentual desse aditivo apresentam variação nos valores de diâmetro. Contudo, essa variação de diâmetro pode ter ocorrido, por exemplo, devido à alteração na quantidade de cimento ou no teor de metacaulim.

Com isso, o Gráfico 22 envolve apenas as misturas que possuem 800 g de cimento, 5% de teor de metacaulim e 0,4% de aditivo polifuncional, ou seja, a única variável é o percentual de VMA na mistura que assume os valores de 0,67%, 0,77%, 1,1% e 1,5% (valor máximo recomendado pelo fabricante).

Gráfico 22 - Relação do percentual de aditivo VMA apenas com o diâmetro de espalhamento.



Fonte: A autora (2017).

O Gráfico 22 permite interpretar que o aumento no percentual de aditivo VMA incorporado a mistura pode motivar um aumento no diâmetro de espalhamento. Já que o aumento do percentual de VMA de 0,67% para 0,77% foi acompanhado por um aumento de diâmetro de espalhamento.

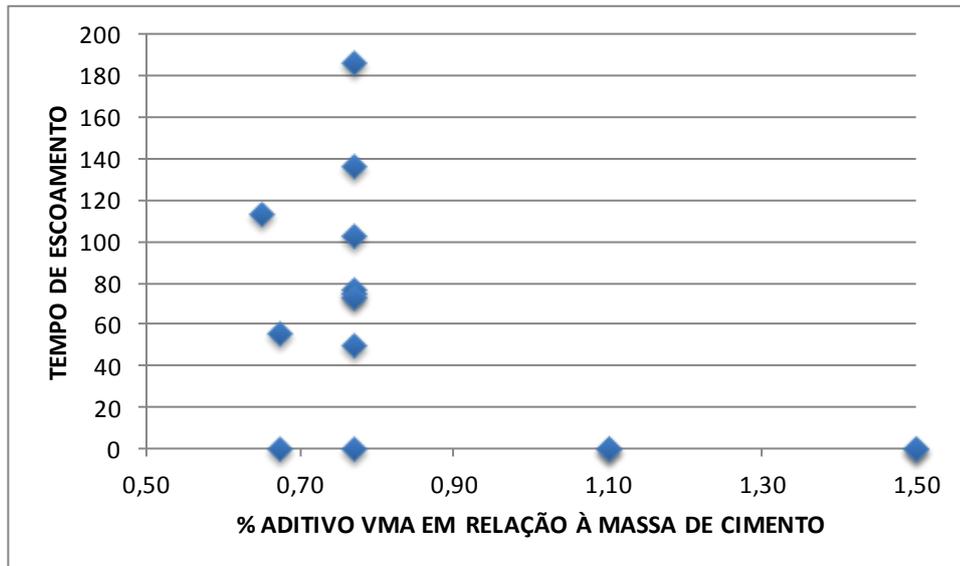
Todavia, ao aumentar o percentual de VMA para 1,1% e para 1,5% da massa do cimento não foi possível realizar o ensaio com Cilindro Espanhol para aferir o diâmetro de espalhamento por causa da grande segregação da mistura.

Pode-se inferir que o aumento no percentual de VMA acarreta o aumento do diâmetro de espalhamento da argamassa autonivelante, mas que esse aumento de diâmetro ocorre apenas até determinado percentual de VMA a partir do qual o acréscimo de VMA provoca segregação na mistura.

5.1.5.2 Influência do aditivo modificador de viscosidade no tempo de escoamento do contrapiso autonivelante

O Gráfico 23 foi construído objetivando-se ajudar no estudo da interferência do percentual de aditivo VMA no tempo de escoamento das argamassas.

Gráfico 23 - Relação do percentual de aditivo VMA com o tempo de escoamento (s).

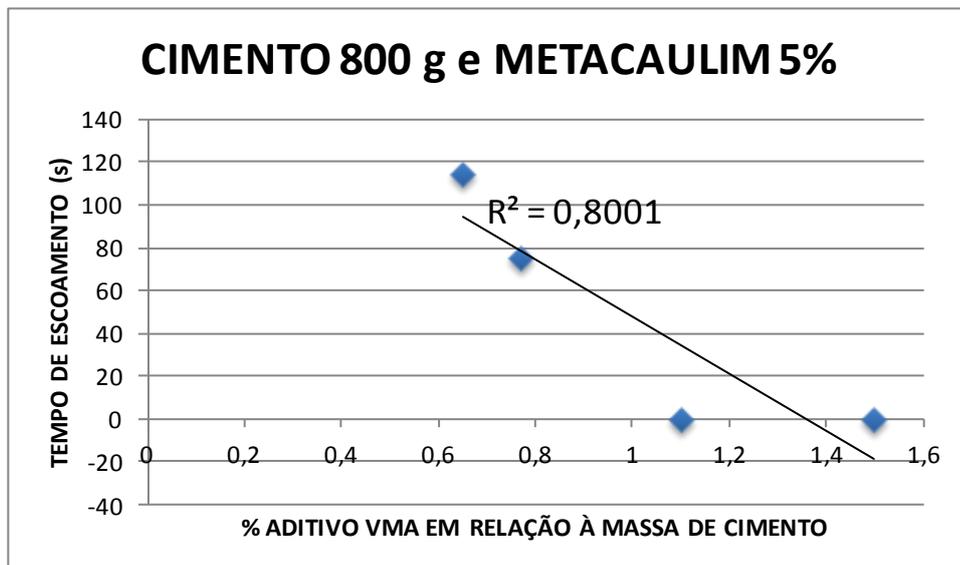


Fonte: A autora (2017).

De acordo com o Gráfico 23, o aditivo modificador de viscosidade somente aparenta não provocar alteração no tempo de escoamento do fluido. Contudo, na produção da mistura, o aumento desse aditivo parecia aumentar a segregação da mesma. Isso pode proporcionar o aumento no tempo de escoamento da mistura, já que o diâmetro do orifício do Cilindro Espanhol vai sendo reduzido à proporção que a parte sólida vai se acumulando no fundo.

Para que fosse avaliada a interferência do aditivo VMA apenas, foi elaborado o Gráfico 24, onde somente o percentual de VMA varia e todos os outros componentes das argamassas permanecem constantes.

Gráfico 24 - Relação do percentual de aditivo VMA apenas com o tempo de escoamento (s).



Fonte: A autora (2017).

O Gráfico 24, onde todos os traços têm 800 g de cimento, 5% de teor de metacaulim e 0,4% de aditivo polifuncional, demonstra que ao se aumentar o percentual de aditivo VMA nas misturas, inicialmente o tempo de escoamento é reduzido. No entanto, a partir de determinado percentual de VMA, aumentava-se também a segregação dos materiais, embora maiores percentuais desse aditivo aparentassem atribuir mais fluidez às misturas. Essa segregação ocorreu ao ser utilizado 1,1% e 1,5% de VMA em relação à massa de cimento e impossibilitou que as misturas com esses percentuais fossem submetidas ao ensaio com Cilindro Espanhol.

Portanto, o aumento de aditivo VMA até certo percentual é benéfico para a produção de argamassas de contrapiso autonivelante, aumentando sua fluidez e reduzindo o tempo de escoamento. Porém a partir desse percentual torna-se prejudicial, uma vez que aumenta a segregação da mistura.

5.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Só foram moldados corpos de prova das amostras de argamassa possibilitaram a realização da análise das suas características físicas através do ensaio com Cilindro Espanhol.

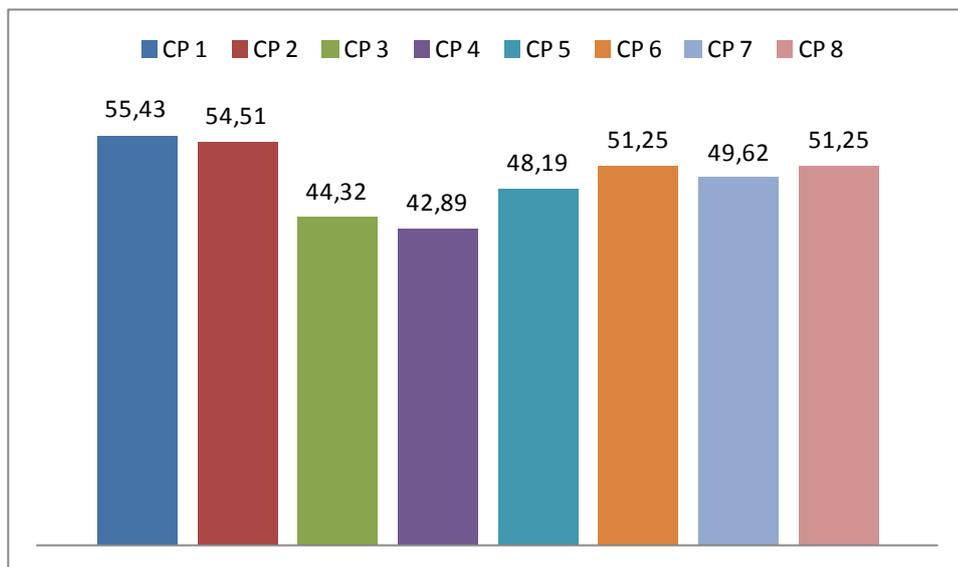
As resistências à compressão médias, determinadas pela média dos valores de resistência obtidos pelo dois corpos de prova de cada amostra, encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Resistências médias das argamassas.

TRAÇO	CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA (MPa)
1	NF	NF
2	NF	NF
3	NF	NF
4	NF	NF
5	CP 1	55,43
6	CP 2	54,51
7	CP 3	44,32
8	NF	NF
9	NF	NF
10	CP 4	42,89
11	NF	NF
12	CP 5	48,19
13	CP 6	51,25
14	CP 7	49,62
15	CP 8	51,25

Fonte: A autora (2017).

O Gráfico 25 reúne as resistências à compressão dos corpos de prova moldados com amostras das argamassas autonivelantes que apresentam as propriedades no estado fresco adequadas.

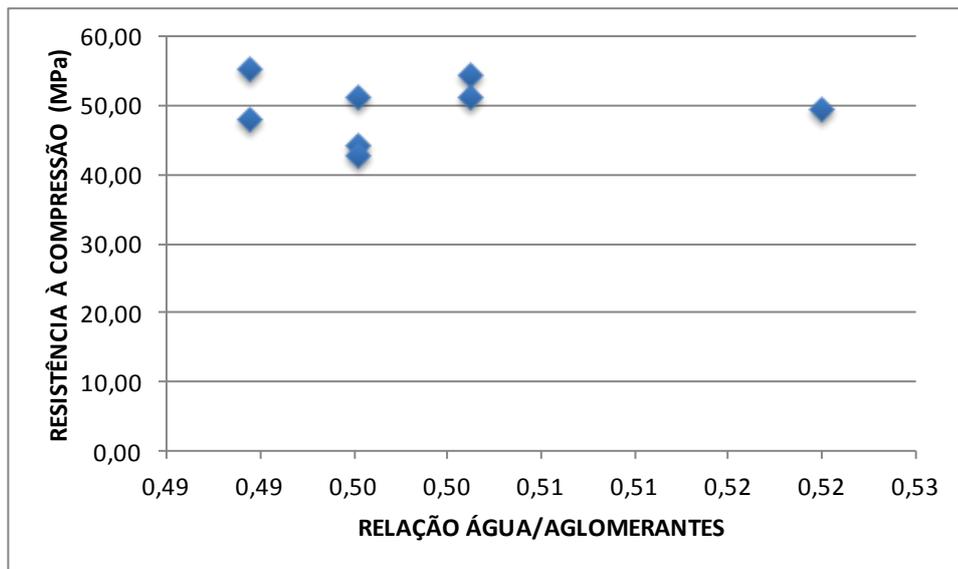
Gráfico 25 - Resistência dos corpos de prova em MPa.

Fonte: A autora (2017).

Não foram encontradas relações entre as variáveis (cimento, metacaulim, areia e aditivos polifuncional e modificador de viscosidade) e a resistência à compressão.

Segundo a literatura, a relação água / cimento interfere na resistência, houve então um cuidado de analisar se esse comportamento também seria observado na relação entre a água e aglomerantes (cimento e metacaulim) empregados no traço desenvolvido em laboratório, por isso foi elaborado o Gráfico 26.

Gráfico 26 - Influência da relação água/aglomerante na resistência à compressão.



Fonte: A autora (2017).

Como observado no Gráfico 26, a relação água/aglomerantes não interfere na resistência à compressão das argamassas. Portanto, a única certeza é que as altas resistências à compressão adquiridas pelas amostras existiram em razão da baixa relação água/cimento utilizada nas misturas que manteve-se sempre igual a 0,52.

6 CONCLUSÕES

O trabalho permitiu analisar a influência dos materiais empregados numa argamassa autonivelante e determinar traços que podem ser utilizados para o emprego dessas argamassas como contrapiso autonivelante.

As argamassas estudadas foram compostas por cimento, metacaulim, areia fina com granulometria inferior a 0,6 mm, aditivo polifuncional e aditivo modificador de viscosidade, além, é claro da água. Essa composição é incomum visto que nos trabalhos acerca desse tema eram utilizados a sílica ativa e aditivo superplastificante, no lugar do metacaulim e de aditivo polifuncional.

O ensaio com Cilindro Espanhol foi o método empregado para possibilitar a avaliação das propriedades das argamassas autonivelantes no estado fresco. O tempo de escoamento e diâmetro de espalhamento estão associados com a fluidez e viscosidade das argamassas. Quanto maior for o tempo de escoamento mais viscosa será a argamassa e quanto maior for o diâmetro de espalhamento, mais fluida. Como tempo de escoamento e diâmetro de espalhamento tem variação inversa, isto é, o aumento no tempo de escoamento acompanha a redução do diâmetro de espalhamento, viscosidade e fluidez também são inversas.

Em argamassas autonivelantes, viscosidade e fluidez tem uma relação harmônica, de modo que não permitem a segregação da mistura mas possibilitam que seja atingida a consistência ideal. Por isso, deve-se avaliar a função dos materiais empregados nessas propriedades:

- a. Os traços 1 e 2, ambos com 600 g de cimento, ficaram menos fluidos do que se pretendia e tiveram segregação de materiais devido, talvez, à quantidade de aglomerante (cimento) insuficiente para o empacotamento dos os materiais. No traço 2 tentou-se, inclusive, melhorar o resultado obtido no traço 1, o qual possuía 0,77% de Aditivo VMA, aumentando a quantidade desse aditivo para 1,1% da massa de cimento. Entretanto, essa tentativa pouco modificou o resultado, pois o traço 2 ainda preservava as mesmas características do traço 1. Dessa forma, o cimento aumenta a fluidez da argamassa autonivelante. Isso foi notado durante a confecção das argamassas e, através da determinação do tempo de escoamento e diâmetro de espalhamento com o ensaio com Cilindro

Espanhol, comprovou-se essa influência. Aumentar o cimento empregado na mistura, reduz o tempo de escoamento e aumenta o diâmetro de escoamento das argamassas autonivelantes.

- b. O traço 11, em que foi utilizado 800 g de cimento, ficou extremamente espesso, característica essa que um contrapiso autonivelante não pode possuir, pois deve ser fluido o suficiente para que sua superfície se torne horizontal quase apenas pela ação da gravidade. O teor de metacaulim nesse traço havia sido aumentado para 10% em relação a massa de cimento. Com isso, determina-se que o metacaulim reduz a fluidez de argamassas autonivelantes. Durante o preparo das misturas, percebeu-se que esse aumento de metacaulim, reduzia a fluidez, o que foi confirmado pelos valores crescentes de tempo escoamento e decrescentes de diâmetro de espalhamento encontrados no ensaio com Cilindro Espanhol.
- c. Teoricamente o aumento no consumo de areia deve reduzir a fluidez de argamassas autonivelantes, pois aumenta o teor de materiais secos na mistura. Segundo os resultados obtidos no ensaio com Cilindro Espanhol, pode-se interpretar que aumentar o consumo de areia, aumenta o tempo de escoamento e reduz o diâmetro de espalhamento.
- d. O aditivo polifuncional ao ser adicionado às argamassas demonstrava atribuir plasticidade a elas. Todavia o aumento no percentual desse aditivo pode conduzir um aumento na segregação das misturas.
- e. Aparentemente, ao preparar as misturas, o aumento do percentual de VMA aumentava a segregação. O traço 4, com 700 g de cimento, segregou muito. Essa segregação pode ter ocorrido devido a quantidade de Aditivo VMA utilizado. Nesse traço adicionou-se 1,5% de Aditivo VMA em relação à massa de cimento. Situação semelhante aconteceu nos traços 8 e 9, com 800 g, em que se obteve grande segregação da mistura ocorrida, talvez, por causa do aumento do teor de VMA em relação à massa de cimento para 1,1% e 1,5%, respectivamente. Porém, a redução do tempo de escoamento e aumento do diâmetro de espalhamento encontrados inicialmente no ensaio com Cilindro Espanhol ao aumentar o teor de aditivo modificador de viscosidade, representam um aumento da fluidez. Então conclui-se que a relação direta entre aumento de aditivo

modificador de viscosidade e aumento de fluidez acontece até determinado teor e após ele a mistura passa a segregar.

Em relação às altas resistências à compressão obtidas por todos os traços submetidos ao ensaio de resistência à compressão, podem ser atribuídas apenas a único fator: a baixa relação água/cimento. Não foram encontradas relações entre a variação dos constituintes e as resistências das argamassas.

A definição do melhor traço não leva em consideração apenas os resultados obtidos pelo ensaio com Cilindro Espanhol e as resistências à compressão, as análises visuais das características das argamassas também são levadas em conta. As argamassas que apresentaram segregação ou nas quais eram possível ver partículas sólidas dispersas no fluido não foram consideradas as melhores apesar de apresentarem bons resultados nos ensaios. O traço ótimo é aquele que a argamassa, além de possuir as propriedades pretendidas, é resultado do menor consumo de cimento, metacaulim e aditivos possível.

Conclui-se que o traço ótimo entre todas as argamassas produzidas é o traço 13. Esse traço corresponde a uma argamassa para contrapiso autonivelante adequada, pois os valores de tempo de escoamento e diâmetro de espalhamento foram intermediários e quase não apresentou segregação e exsudação. O traço 13 foi o que possuiu as características no estado fresco mais satisfatórias, além de ser um dos mais viáveis em relação ao consumo de cimento, metacaulim e aditivos, com 800 g de cimento, 1250 g de areia, 3,75% de metacaulim, 0,4% de aditivo polifuncional e 0,77% de aditivo modificador de viscosidade em relação massa de cimento.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935: Agregados – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12042: Materiais inorgânicos - Determinação do desgaste por abrasão - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- ANDERBERG, A. **Studies of moisture and alkalinity in self-levelling flooring compounds**. Doctoral Thesis. Division of building materials, Lund Institute of Technology. Lund, 2007.
- ARAUJO, G. A. B. C.; **Contribuição ao Estudo das propriedades de argamassas com saibro na região de Maceió (AL) para revestimentos**. 124p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.
- BARROS, M. M. S. B. de **Recomendações para a produção de contrapisos para edifícios** // Boletim Técnico USP. - São Paulo, 1995.
- BAUER, E.; PEREIRA, C. H. A. **Sistemas de revestimento de argamassa - generalidades**. In: ELTON BAUER. (Org.). REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA - CARACTERÍSTICAS E PECULIARIDADES. BRASÍLIA: SINDUSCON-DF; LEM-UnB, 2005, v. 1, p. 14-25.
- CHRISTIANO, H. A. **Effect of chemical and mineral admixtures on the fresh properties of self compacting mortars**. Master of science in civil engineering. Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University. AUGUST, 2004.

- CICHINELLI, G. **Construção Passo a Passo** [Livro]. - São Paulo: Pini, 2009.
- DE LARRARD, F. **Concrete mixture proportioning**. A scientific approach. London: E & FN SPON, 1999. 421p.
- EGLE, T. **Contrapiso autonivelante**. Revista Técnica. Edição 164. Novembro, 2010.
- EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS (EFNARC). **The European Guidelines for Self-Compacting Concrete**. In EFNARC, United Kingdom, 2005. 63 p.
- FELEKOĞLU, B. et al. **The effect of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self-compacting repair mortars**. Cement and Concrete Research. V. 36. pag. 1719–1726, 2006.
- FIORITO, A. J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução** [Livro]. - São Paulo: Pini, 2009.
- FREITAS, C. **Argamassa de revestimento com agregados de britagem da região metropolitana de Curitiba: Propriedades no estado fresco e endurecido**. 135p. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.
- FREITAS, J. M. C. de **Influência da variação dos constituintes no desempenho de argamassas de revestimento** // Dissertação de Mestrado. - Belo Horizonte: UFMG, 2007.
- GODOY, E. H. P. de. **Diretrizes para produção de contrapisos estanques** // Botelim Técnico USP. - São Paulo, 2000.
- GOMES, A. O.; GONÇALVES, J. P. **Inovações tecnológicas em canteiros de obras**. X SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa. Fortaleza, 2013.
- GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável** [Livro]. - São Paulo: Pini, 2009.
- JAWAHAR, J. G. et al. **Optimization of superplasticiser and viscosity modifying agent in self compacting mortar**. Asian Journal of Civil Engineering. Vol. 14, nº 1, 2013.
- KATSIADRAMIS, N. J.; SOTIROPOULOU, A. B.; PANDERMARAKIS Z. G. **Rheological and Mechanical Response Modifications for a Self-Leveling Mortar**. EPJ Web of Conferences, Vol. 6, 2010.
- LIBRE, N.A.; KHOSHNAZAR, R.; SHEKARCHI, M. **Relationship between fluidity and stability of selfconsolidating mortar incorporating chemical and mineral admixtures**. Construction and Building Materials, v. 24, p. 1262-1271, 2010.
- MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. São Paulo, 1998.

MARTINS, E. J. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa auto-nivelante** // Dissertação de Mestrado. - Curitiba: UFPR, 2009.

MARTINS, J. Equipe de Obra [Online] / Ed. Pini, 2012. - <http://www.equipedebra.com.br/construcaoreforma/53/artigo272035-1.asp>.

MEHDIPOUR, I.; RAZZAGUI, M.S.; AMINI, K.; SHEKARCHI, M. **Effect of mineral admixtures on fluidity and stability of self-consolidating mortar subjected to prolonged mixing time**. Construction and Building Materials, v. 40, p. 1029-1037, 2013.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MELO, K. A. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de fíler calcário**. Florianópolis, 2005. 183p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - PPGECC – Universidade Federal de Santa Catarina.

NAKAKURA, E. et al. Mãos à Obra pro [Online]. - Associação Brasileira de Cimento Portland, 2012. - <http://www.maosaobra.org.br/fasciculos/fasciculo-pisos/base-de-concreto-econtrapiso/execucao-passo-a-passo-argamassa-de-regularizacao/>.

NAKAKURA, E. H.; BUCHER, H. R. E. **Pisos Auto-nivelantes. Propriedades e Instalações**. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador, 1997.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Ed. Pini, 2ª edição. São Paulo, 1997. 828 p.

PILEGGI, R. G. **Efeito da distribuição granulométrica sobre o comportamento reológico de concretos refratários**. São Carlos, 1996. 210p. Tese de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil** [Livro]. Belo Horizonte : UFMG, 2006.

RIXON, M.R.; MAILVAGANAM, N. P. **Chemical admixture for concrete**. Ed. E & FN Spon, London, UK, 1999. 437p.

RIZWAN, S.A.; BIER, T.A. **Blends of limestone powder and fly-ash enhance the response of self-compacting mortars**. Construction and Building Materials, v. 27, p. 398-403, 2012.

SANTOS, A. C. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.

SEIFERT, S.; NEUBAUER, J.; NEUNHOEFFER, F.G. **Spatially resolved quantitative in-situ phase analysis of a self-leveling compound**. Cement and Concrete Research, v.42, p. 919-927, 2012.

SILVA, N. G.; CAMPITELI V. C. **Módulo de elasticidade dinâmico de argamassa**

de revestimento. 2º Encontro de engenharia e tecnologia dos Campos Gerais, 2008.

SOUZA, U. E. L. de Equipe de Obra ed. 14 [Online]. - Pini, 2007. - <http://www.equipededeobra.com.br/construcao-reforma/14/artigo67899-1.asp>.

SOUZA, A. S.; FERREIRA, A. Z.; AZEVEDO, B. L. de O. **Estudo para o desenvolvimento de argamassa autonivelante para contrapiso** - Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

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