

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JAQUELINY THAIS CONRADO DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE TRAÇO DE ARGAMASSA FLUIDA
UTILIZANDO MATERIAIS DA REGIÃO OESTE DO PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO

2016

JAQUELINY THAIS CONRADO DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE TRAÇO DE ARGAMASSA FLUIDA
UTILIZANDO MATERIAIS DA REGIÃO OESTE DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Savaris

TOLEDO
2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de N° 044

DESENVOLVIMENTO DE TRAÇO DE ARGAMASSA FLUÍDA UTILIZANDO MATERIAIS DA REGIÃO OESTE DO PARANÁ

por

Jaqueliney Thais Conrado dos Santos

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 11 h do dia **10 de Novembro de 2016** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof^a. Dra. Lucia Bressiani
(UTFPR – TD)

Prof. Ms. Carlos Eduardo Tino Balestra
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Gustavo Savaris
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof. Ms. Silvana da Silva Ramme
Coordenadora da COECI

A folha assinada encontra-se na coordenação do curso

RESUMO

SANTOS, Jaqueline Thais Conrado dos. Desenvolvimento de traço de argamassa fluida utilizando materiais da região oeste do paraná . 2016. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduao em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo

A argamassa fluida surgiu com a demanda do mercado por uma argamassa que conciliasse a funo de regularizar superfícies horizontais, como contrapisos, com mais agilidade e organizao na execuo. Seu principal diferencial comparada às argamassas comuns  a capacidade de fluir, obtendo assim seu autonivelamento, diminuindo o tempo de execuo e dispensando o trabalho de nivelamento manual. Sua utilizao ainda  em pequena escala no Brasil, apesar de ser utilizada desde a década de 1990, não havendo ainda nenhuma norma publicada pela ABNT. Os ensaios realizados para argamassa fluida foram em sua maioria adaptados das normas para argamassa convencional. Este trabalho teve como objetivo principal obter dosagens para argamassa fluida, avaliando os materiais disponíveis na região e fazendo diversas combinaoes entre os insumos para analisar o comportamento de cada traço. A areia foi caracterizada pela sua massa unitária no estado solto e pela sua composio granulométrica, obtendo uma classificao de areia muito fina a fina. O p de pedra passou inicialmente pela peneira de 150 μm para que ficasse apenas o material mais fino, o mesmo foi caracterizado pela sua massa unitária no estado solto. Os ensaios para a argamassa fluida foram separados em dois tipos: no estado fresco e no estado endurecido. No estado fresco foram realizados primeiramente ensaios de espalhamento, buscando encontrar as dosagens que apresentaram fluidez sem segrego. Em seguida, foram realizados ensaios de escoamento pelo funil de Marsh para saber qual o tempo que cada dosagem precisava para escoar 1000 cm^3 de argamassa. No estado endurecido foram realizados ensaios de compressão uniaxial nas idades de 24h, 3, 7 e 28 dias. Foram feitos também ensaios para determinao da massa específica da argamassa. Com a realizao dos ensaios foram obtidas duas dosagens para argamassa fluida, sendo uma delas com traço 1:2:1, ou seja, uma parte de cimento, duas partes de areia e uma parte de p de pedra, com relao água/cimento de 0,8 e 1,1% de aditivo superplastificante. A outra dosagem possui traço 1:1:2, sendo uma parte de cimento, para uma parte de areia e duas de p de pedra, com relao água/cimento de 1,2 e 1,7% de aditivo superplastificante. Ambas as dosagens obtiveram o mesmo diâmetro de abertura. A primeira dosagem apresentou tempo médio de escoamento de 29,97 s, e resistência  compressão uniaxial média de 8,46 MPa aos 28 dias, já a segunda dosagem obteve 27,75 s de tempo médio de escoamento e 4,20 MPa de resistência  compressão uniaxial média aos 28 dias. O custo unitário da primeira dosagem foi de R\$ 225,02 por metro cúbico, já da segunda dosagem de R\$ 188,77 por metro cúbico, com o mês de Setembro/2016 como base.

Palavras-chave: Argamassa fluida. Autonivelante. Contrapiso.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Molde rígido tronco cônico	16
Figura 2 - Funil com dimensões internas.....	17
Figura 3 - Suporte para apoio do funil, com o funil acoplado	18
Figura 4 - Esquema de metodologia empregada na pesquisa	30
Figura 5 - Cilindro espanhol	31
Figura 6 - Matriz experimental do estudo proposto	33
Figura 7 - Desenvolvimento de pesquisa	35
Figura 8 - Desenvolvimento de pesquisa	37
Figura 9 - Determinação da massa unitária da areia no estado solto	41
Figura 10 - Análise granulométrica da areia.....	42
Figura 11 - Granulometria da areia	43
Figura 12 - Faixa granulométrica da areia.....	44
Figura 13 - Determinação da massa unitária do pó de pedra no estado solto	45
Figura 14 - Dosagem 1	47
Figura 15 - Dosagem 3.....	47
Figura 16 - Dosagem 24.....	48
Figura 17 - Dosagem 26.....	48
Figura 18 - Dosagem 15 - 1:1:2.....	48
Figura 19 - Escoamento pelo Funil de Marsh.....	49
Figura 20 - Tempo de escoamento para as Dosagens 7 e 24.....	50
Figura 21 - Resistência à compressão uniaxial	51
Figura 22 - Resistência à compressão média e desvio padrão da dosagem 7	52
Figura 23 - Resistência à compressão média, mínima e máxima da dosagem 7.....	52
Figura 24 - Resistência à compressão média e desvio padrão da dosagem 24	53
Figura 25 - Resistência à compressão média, mínima e máxima da dosagem 24....	54
Figura 26 - Resistência à compressão uniaxial das dosagens 7 e 24.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Influência do teor de finos (partículas <0,075 mm) da mistura seca na plasticidade das argamassas	12
Tabela 2 - Tolerância de tempo para a ruptura	20
Tabela 3 - Resultados obtidos após a realização dos ensaios	29
Tabela 4 - Resultados do espalhamento e da análise visual das pastas formuladas na etapa II da pesquisa	32
Tabela 5 - Tabela geral dos resultados obtidos em todos os ensaios realizados.....	34
Tabela 6 - Resumo das especificações da ABNT para o Cimento Portland CP II-F-32	38
Tabela 7 - Principais características do aditivo TEC FLOW 8000	39
Tabela 8 - Determinação da massa unitária da areia	41
Tabela 9 - Dados coletados a partir do ensaio de granulometria da areia	42
Tabela 10 - Determinação da massa unitária do pó de pedra	45
Tabela 11 - Resultados dos ensaios de espalhamento	46
Tabela 12 - Tempo de escoamento pelo funil de Marsh para as dosagens 7 e 24 ...	49
Tabela 13 - Resistência à compressão uniaxial da dosagem 7	51
Tabela 14 - Resistência à compressão uniaxial do traço 24	53
Tabela 15 - Determinação da massa específica da argamassa para o traço 7	55
Tabela 16 - Determinação da massa específica da argamassa para o traço 24.....	56
Tabela 17 - Preço Referência de Insumos PR 092016 Não Desonerado	57
Tabela 18 - Determinação do consumo dos insumos para argamassa.....	57
Tabela 19 - Composição de custo unitário da dosagem 7	58
Tabela 20 - Composição de custo unitário da dosagem 24.....	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 JUSTIFICATIVA	9
1.2 OBJETIVOS	10
1.2.1 Objetivo geral	10
1.2.2 Objetivos específicos.....	10
1.3 DELIMITAÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 TIPOS DE ARGAMASSA	11
2.2 ARGAMASSA FLUIDA	14
2.2.1 Definições.....	14
2.2.2 Características.....	14
2.2.3 Ensaio no estado fresco	15
2.2.3.1 Espalhamento.....	15
2.2.3.2 Escoamento pelo funil	17
2.2.4 Ensaio no estado endurecido	19
2.2.4.1 Resistência à compressão uniaxial	19
2.2.4.2 Determinação da massa específica da argamassa	21
2.3 MATERIAIS PARA ARGAMASSA FLUIDA	22
2.3.1 Cimento Portland.....	22
2.3.2 Areia	22
2.3.2.1 Determinação da massa unitária	22
2.3.2.2 Análise granulométrica	24
2.3.3 Aditivo superplastificante	25
2.3.4 Pó de pedra	26
2.4 COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO	26
2.4.1 Determinação do consumo de cimento	26
2.4.2 Determinação do consumo de agregados	27
2.4.3 Determinação do consumo de água.....	27
2.4.4 Determinação do consumo de aditivo	28
2.5 ESTUDOS RECENTES.....	28
2.5.1 Melo (2005)	28
2.5.2 Martins (2009)	30
2.5.3 Rubin (2015).....	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	35
3.2 DEFINIÇÕES	35
3.3 TRAÇO BASE	36
3.4 MATERIAIS EMPREGADOS	37
3.5 ENSAIOS DE ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO	39
3.6 ENSAIOS DE ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO	40
3.7 AVALIAÇÃO DO CUSTO DAS DOSAGENS.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS	41
4.1.1 Massa unitária da areia no estado solto	41
4.1.2 Granulometria da areia.....	42
4.1.3 Massa unitária do pó de pedra no estado solto	45
4.2 ENSAIOS PARA ARGAMASSA	46

4.2.1 Espalhamento	46
4.2.2 Escoamento pelo funil	49
4.2.3 Resistência à compressão uniaxial	50
4.2.4 Determinação da massa específica da argamassa	55
4.3 COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO	56
5 CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da construção civil, crescem também os estudos para novas ferramentas e tecnologias que otimizem tanto a execução, como a durabilidade das obras. Conforme a necessidade e a demanda por um produto aumenta, aumenta também a busca por inovações tecnológicas.

No setor de construção civil há diversas linhas de estudo, tanto para criar novas tecnologias, bem como para aprimorar as já existentes. A argamassa é um dos materiais mais utilizados em praticamente todas as obras, podendo ser para assentamento de alvenaria, para regularização de superfícies horizontais e verticais, ou ainda argamassa colante para assentamento de cerâmicas.

Quando se fala em argamassa de regularização, remete-se ao problema relacionado a sua execução: a dificuldade de se obter planimetria. Como o próprio nome já diz, esse tipo de argamassa é utilizado para regularizar as superfícies horizontais ou verticais antes de receberem o acabamento final. Porém, na maioria das vezes as superfícies não ficam regulares, pelo contrário, ficam cheias de imperfeições. Isso se deve ao fato de utilizar-se uma argamassa mais sólida e principalmente pelo fato da sua regularização ser feita com a utilização de "réguas", as quais nem sempre são perfeitamente planas.

O estudo de novos traços e novas tecnologias para o uso de argamassa de regularização se faz importante, principalmente pelo fato de diminuir tanto o tempo de execução do serviço como diminuir também a quantidade de imperfeições. Partindo desse princípio, iniciaram os estudos para uma argamassa autonivelante.

As argamassas autonivelantes, são aquelas consideradas fluidas, as quais ao serem aplicadas em uma superfície horizontal (piso), se espalham pela mesma, obtendo um autonivelamento. Os estudos nessa linha de pesquisa são recentes e o seu uso ainda é bem abaixo do esperado, pelo fato de ainda não ser muito conhecida (CICHINELLI, 2012).

Para chegar em um traço ideal para argamassa fluida, primeiramente é preciso conhecer os materiais a serem utilizados, analisando as suas características e as suas aplicações. Para que a argamassa seja fluida ele precisa possuir grande porcentagem de finos, e se mesmo com a grande quantidade de finos ela não fluir, acrescenta-se aditivos superplastificantes.

Neste sentido o presente trabalho apresenta um estudo sobre as principais características das argamassas autonivelantes e de seus componentes, delimitando ensaios para que se possa avaliar o comportamento da argamassa com diferentes dosagens dos materiais.

1.1 JUSTIFICATIVA

Cichinelli (2012) cita que a argamassa autonivelante foi desenvolvida na Europa na década de 1980. No Brasil apesar de ser utilizada desde 1990, ainda não há utilização em grande escala devido ao fato de ainda não haver muitos estudos na área, principalmente por parte da ABNT (Associação Brasileira de Normas e Técnicas), instituição que publica as normas técnicas para execução de ensaios, fazendo com que os estudos realizados sejam feitos baseados em normas americanas e europeias ou então adaptando normas brasileiras.

O principal problema de usar as normas de outros países é o fato dos materiais brasileiros possuírem características diferentes, o que faz com que os resultados obtidos não sejam tão precisos quanto deveriam. Já a adaptação de normas brasileiras para dosagem de novos materiais faz com que sejam obtidos melhores resultados, porém não com a precisão exigida.

Realizar estudos sobre as argamassas fluidas é importante principalmente pelas vantagens da sua utilização. Ao analisar os estudos já realizados é possível observar vantagens significativas frente a argamassa tradicional:

- Facilidade na sua aplicação, devido à fluidez;
- Qualidade e durabilidade dos materiais, devido a escolha criteriosa dos mesmos;
- Total ou maior planimetria;
- Maior rendimento;
- Cura rápida, liberando o local onde foi aplicada em menos tempo;
- Não há segregação nem exudação, pelo fato da fluidez não ser devida ao acréscimo de água;
- Redução de fissuras pelo acréscimo de aditivo.

Não foram encontrados estudos na literatura sobre a dosagem de argamassas autonivelantes com os materiais da região oeste do Paraná, os estudos mais próximos

que foram encontrados referem-se ao procedimento para dosagem de argamassa autonivelante com diferentes ensaios (MARTINS, 2009) e de comparação de argamassa industrializada e dosada em obra (RUBIN, 2015).

Sendo assim, este trabalho poderá servir como base para novos trabalhos desenvolvidos na área, bem como poderá ser utilizado por empresas que queiram conhecer o material.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Obter dosagens para argamassas fluidas utilizando os materiais disponíveis na região oeste do Paraná.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as propriedades dos materiais encontrados na região oeste do Paraná visando a produção de argamassa autonivelante;
- Analisar o comportamento da argamassa com diferentes traços;
- Avaliar o comportamento do pó de pedra nas diferentes dosagens;
- Verificar se as argamassas fluidas atendem aos parâmetros de resistência das argamassas convencionais.

1.3 DELIMITAÇÃO

A pesquisa se restringe à dosagem e realização de ensaios para caracterização de argamassa fluida para contrapiso empregando agregados disponíveis na região oeste do Paraná.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TIPOS DE ARGAMASSA

Carasek (2010) define argamassa como uma mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água, contendo ou não aditivos e adições, podendo ser dosada e executada em obra ou apenas executada em obra, no caso de argamassas industrializadas.

Segundo a NBR 13530 (ABNT, 1995) as argamassas podem ser classificadas quanto a sua natureza, ao tipo de aglomerante, ao número de aglomerantes usados, a consistência, a plasticidade, a densidade da massa, a forma de preparo e a sua função, da seguinte forma:

- a. Quanto à natureza do aglomerante
 - Argamassa aérea: argamassa preparada com aglomerante aéreo, que endurece por reação com o ar atmosférico.
 - Argamassa hidráulica: argamassa preparada com aglomerante hidráulico, que endurece por reações que envolvem a água. O gesso apesar de ser considerado um aglomerante hidráulico, não resiste a um novo contato com a água, diferente dos outros aglomerantes hidráulicos.

- b. Quanto ao número de aglomerantes empregados
 - Argamassa simples: argamassa constituída de um único aglomerante.
 - Argamassa mista: argamassa constituída de mais de um aglomerante.

- c. Quanto ao tipo do aglomerante
 - Argamassa de cal: argamassa preparada com cal como único aglomerante.
 - Argamassa de cimento: argamassa preparada com cimento Portland como único aglomerante.
 - Argamassa de cimento e cal: argamassa preparada com cal e cimento Portland como aglomerantes.
 - Argamassa de gesso: argamassa preparada com gesso como único aglomerante.

- Argamassa de cal e gesso: argamassa preparada com cal e gesso como aglomerantes.
- Argamassa polimérica ou sintética: argamassa produzida com aglomerante polimérico, sendo os mais conhecidos as resinas acrílicas, PVA, resinas vinílicas, SBR, epóxi e poliéster (RECENA, 2012).

d. Quanto a consistência

- Secas: argamassas cujo índice de consistência (*flowtable*) é inferior a 250 mm, empregadas para contra-piso.
- Plásticas: argamassas cujo índice de consistência (*flowtable*) está entre 260 e 300 mm, empregadas em emboço.
- Fluidas: argamassas cujo índice de consistência (*flowtable*) é superior a 360 mm, empregadas em chapisco.

e. Quanto à plasticidade da argamassa

As argamassas podem ser classificadas quanto à sua plasticidade, que é determinada pela relação entre a porcentagem mínima de finos com a utilização de aditivo superplastificante, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Influência do teor de finos (partículas <0,075 mm) da mistura seca na plasticidade das argamassas

Plasticidade	%mínima de finos da argamassa	
	Sem aditivo plastificante	Com aditivo plastificante
Pobre (áspera, magra)	<15	<10
Média (plástica, cheia)	15 a 25	10 a 20
Rica (gorda)	>25	>20

Fonte: Carasek (2010)

f. Quanto à forma de preparo ou fornecimento (RECENA, 2012)

- Argamassa preparada em obra: argamassa produzida através de um traço pré definido pelo engenheiro responsável, a qual é produzida totalmente na obra, fazendo a mistura dos agregados, aglomerantes, água e aditivos em alguns casos específicos.

- Argamassa semi-industrializadas: mistura de cal e areia, conhecida como intermediárias ou brancas, necessitam que seja acrescentado o cimento e a água na obra.
- Argamassa industrializada: aquelas que chegam na obra necessitando apenas do acréscimo de água. São dosadas na indústria e ensacadas, o que facilita o armazenamento e reduz a probabilidade de erro na dosagem.
- Argamassa dosada em central: é aquela que é dosada e feita em uma central, e somente após o seu preparo é levada à obra.

g. Quanto à utilização e função (RECENA, 2012)

- Argamassa de assentamento: utilizadas no uso de assentamento da alvenaria. Tem como função distribuir as cargas uniformemente, absorver as deformações devidas a movimentação da estrutura, contribuir para a impermeabilização da alvenaria e unir os blocos para que formem uma estrutura única.
- Argamassa de revestimento: utilizada para revestir alvenarias e estruturas de concreto, devendo aderir a essas estruturas. Tem como função regularizar a superfície, auxiliando na impermeabilidade, devendo suportar tanto as movimentações da estrutura, como as variações térmicas do local. Sua espessura deve ser controlada, para que não apareçam fissuras, podendo atrapalhar a função do revestimento.
- Argamassa de fixação: também conhecida como argamassa colante, é utilizada para fixar elementos cerâmicos de revestimento. São argamassas industrializadas, as quais com o acréscimo de água já estão prontas para o uso.
- Argamassa de regularização: empregadas na regularização de superfícies, quando usadas em elementos verticais, como paredes e pilares, são chamadas de argamassa de revestimento, quando usadas em elementos na horizontal, como pisos, são conhecidas como contrapiso, remetendo ao preparo da superfície para receber o revestimento.

2.2 ARGAMASSA FLUIDA

2.2.1 Definições

Para Martins (2009) “entende-se por argamassa autonivelante uma argamassa capaz de preencher os espaços vazios e se autoadensar sobre o efeito da gravidade e de sua própria capacidade de fluxo, sem segregar”. Para se obter a capacidade de fluir é necessário o equilíbrio entre a fluidez com mobilidade, viscosidade e coesão entre as partículas.

Aenor (2003) *apud* Rubin (2009) cita que “a argamassa autonivelante é uma argamassa autoadensável de base cimentícia, bombeável, monocomponente, bastante fluida e de fácil aplicação, utilizada em superfícies horizontais”.

2.2.2 Características

A argamassa autonivelante diferencia-se das argamassas comuns devido às suas características no estado fresco, sendo as principais a trabalhabilidade e a resistência à segregação.

Para Recena (2012) a trabalhabilidade pode ser definida como a facilidade da argamassa chegar em sua posição final, cumprindo sua função, sem comprometer o andamento na obra.

A resistência à segregação se deve ao fato da fluidez da argamassa autonivelante não ser diretamente relacionada com o aumento de água, mas sim ao uso de aditivos e materiais finos. Ao manter a mistura homogênea a segregação é evitada.

Essas características conferem às argamassas fluidas algumas vantagens frente às argamassas convencionais:

- Aplicação por bombeamento;
- Autonivelamento;
- Deixa a superfície apta para receber os acabamentos;
- Facilita a aplicação do posterior acabamento;
- Obra mais limpa;
- Matérias primas controladas;

- Resistência garantida;
- Redução do risco de fissuração;
- Preenchimento dos vazios, uniformidade;
- Elevada coesão e ausência de segregação;
- Rapidez de execução.

Há também algumas desvantagens no uso da argamassa fluida:

- Inexistência de normas específicas;
- Custo elevado dos insumos;
- Dificuldade em fazer a argamassa *in loco*, devida a necessidade de equipamentos específicos, como balança e argamassadeira, para o devido controle tecnológico;
- Falta de experiência da mão de obra.

2.2.3 Ensaio no estado fresco

As principais características das argamassas autonivelantes são observadas no estado fresco, principalmente a sua capacidade de fluir sem a necessidade de espalhamento, sendo assim, são os ensaios no estado fresco que determinam o traço para a argamassa (MELO, 2005).

No Brasil não há nenhuma norma específica para a execução de ensaios para argamassa fluida, há como referência apenas normas internacionais como a europeia EFNARC (2002), com as especificações e diretrizes para concreto autoadensável e a norma americana C1708/C1708M-12 (ASTM, 2012) com os métodos de ensaio para argamassas autonivelantes que contenham cimento hidráulico.

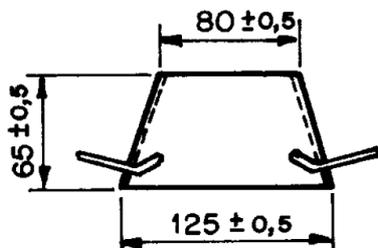
2.2.3.1 Espalhamento

Para determinar o espalhamento das argamassas fluidas pode ser empregado o ensaio de índice de consistência, definido na NBR 7215 (ABNT, 1996), devendo ser adaptado.

I. Materiais e equipamentos utilizados:

- Base metálica;
- Molde rígido tronco cônico (Figura 1);

Figura 1 - Molde rígido tronco cônico



Fonte: NBR 7215 (ABNT, 1997)

- Óleo mineral;
 - Paquímetro ou régua;
 - Argamassa.
- II. Procedimento da execução do ensaio, baseado na NBR 7215 (ABNT, 1997):
- A moldagem deve ser feita imediatamente após a preparação da argamassa.
 - Lubrificar a base metálica com óleo mineral e colocar sobre ela, bem centrada, o molde tronco cônico, com sua base maior apoiada na mesa.
 - Colocar a argamassa na fôrma em uma única camada, removendo o material que ultrapassar a borda superior.
 - Retirar o molde, levantando-o verticalmente com cuidado.
 - Medir o diâmetro da abertura, sendo o índice de consistência a média aritmética das medidas de dois diâmetros ortogonais.
 - O ensaio deve ser repetido sempre que houver diferença maior que 5 mm entre as duas medidas.

2.2.3.2 Escoamento pelo funil

Para determinar o índice de fluidez da argamassa mede-se o tempo e o diâmetro de espalhamento das argamassas fluidas utilizando um funil metálico, conforme NBR 7681-2 (ABNT, 2013), ensaio com material diferente, portanto deve ser adaptado.

I. Materiais e equipamentos utilizados:

- 3 000 cm³ de argamassa;
- Funil de Marsh (Figura 2);

Figura 2 - Funil com dimensões internas

Fonte: NBR 7681-2 (ABNT, 2013)

- Suporte para apoio do funil de Marsh (Figura 3);

Figura 3 - Suporte para apoio do funil, com o funil acoplado

Fonte: NBR 7681-2 (ABNT, 2013)

- Cronômetro;
 - Termômetro;
 - Proveta;
 - Recipiente de mistura;
 - Haste de homogeneização.
- II. Procedimento para determinação do índice de fluidez, conforme a NBR 7681-2 (ABNT, 2013):
- Umedecer as paredes internas do funil de Marsh, utilizando-o na condição que não apresente gotejamento;
 - Montar o funil firmemente em seu suporte, de maneira que fique nivelado e livre de vibrações;
 - Posicionar a proveta sob o funil, com os eixos coincidentes, em base igualmente firme e nivelada;
 - Obstruir manualmente o bico do funil;
 - Preencher lentamente o funil com a calda até atingir o volume de $1\ 800 \pm 50\text{ cm}^3$;
 - Deixar escoar livremente a calda, medindo, com precisão de 0,01 s, o tempo necessário para o preenchimento do volume de $1\ 000\text{ cm}^3$ na proveta, considerando como início da contagem do tempo o instante em que a calda atinge o fundo da proveta.

2.2.4 Ensaio no estado endurecido

Para determinar a resistência à compressão uniaxial das argamassas estudadas, foram realizados ensaios conforme a NBR 12041 (ABNT, 2012).

Para que se possa avaliar o custo unitário da argamassa é preciso conhecer a massa específica da mesma, para calcular os consumos dos insumos. O ensaio de determinação da massa específica da argamassa será realizado conforme a NBR 9778 (ABNT, 2009).

2.2.4.1 Resistência à compressão uniaxial

As argamassas fluidas se diferenciam nos ensaios no estado fresco, porém devem atender aos mesmos parâmetros de resistência no estado endurecido que as argamassas convencionais, sendo a resistência dos corpos de prova determinada por ensaios de compressão uniaxial, conforme a norma NBR 12041 (ABNT, 2012).

I. Moldagem dos corpos de prova:

- O molde cilíndrico deve ter espessura de pelo menos, 2 mm, diâmetro interno de $(50 \pm 0,2)$ mm e altura de $(100 \pm 0,5)$ mm. A superfície interna deve ser lisa, sem defeitos e o ângulo formado pela base e qualquer geratriz do cilindro deve ser de $(90 \pm 0,5)^\circ$. A diferença entre dois diâmetros ortogonais quaisquer não pode ser superior a 0,2 mm.
- Os moldes devem ser untados internamente com óleo, para que as amostras possam ser retiradas.
- A moldagem dos corpos-de-prova deve ser feita imediatamente após o amassamento ou coleta da amostra e com a maior rapidez possível.
- A colocação da argamassa na fôrma é feita com auxílio de espátula, em uma única camada, dispensando o adensamento, sendo finalizada com a rasadura do topo do corpo-de-prova por meio de régua.
- Logo após a moldagem, os corpos-de-prova, ainda nos moldes, devem ser colocados em câmara úmida, onde devem permanecer durante 20 h a 24 h, com a face superior protegida por uma placa de vidro plano.

- Terminado o período inicial de cura, os corpos-de-prova devem ser removidos das fôrmas e, exceto aqueles que tenham que ser rompidos com 24 h de idade, devem ser imersos, separados entre si, no tanque de água, onde devem permanecer até o momento do ensaio.
- Os corpos de prova devem ser ensaiados nas idades indicadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Tolerância de tempo para a ruptura

Idade		Tolerância
24 h	±	30 min
3 dias	±	1 h
7 dias	±	2 h
28 dias	±	4 h
90 dias	±	1 dia

Fonte: NBR 7215 (ABNT, 1997)

II. Materiais e equipamentos:

- Balança;
- Misturador mecânico;
- Molde;
- Régua metálica;
- Placa de vidro;
- Máquina de ensaio de compressão;
- Argamassa.

III. Procedimento de execução do ensaio:

- Colocar o corpo de prova diretamente sobre o prato inferior da prensa, de maneira que fique rigorosamente centrado.
- Os corpos de prova devem ser ensaiados na máquina de ensaio de compressão.
- A resistência à compressão deve ser calculada para cada corpo de prova, dividindo a carga de ruptura pela área da seção transversal.

- Devem ser ensaiados no mínimo seis corpos de prova, a resistência será a média entre os ensaios.

2.2.4.2 Determinação da massa específica da argamassa

A NBR 9778 (ABNT, 2009) define a massa específica seca da argamassa como a relação entre a massa do material seco e o volume total da amostra, incluindo os poros impermeáveis.

I. Materiais e equipamentos:

- Balança;
- Recipientes;
- Estufa.

II. Procedimento de execução do ensaio:

- Manter a amostra de argamassa em estufa à temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ por 72 h. Determinar a massa seca.
- Proceder à imersão da amostra em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, durante 72 h. Determinar a massa saturada.
- Após completar a saturação, proceder a pesagem da amostra submersa em água. Determinar a massa submersa.

III. Cálculo da massa específica seca:

A massa específica seca deve ser calculada com a Equação 1:

$$\gamma = \frac{M_s}{M_{\text{sat}} - M_{\text{sub}}} \quad (1)$$

Onde:

γ = massa específica seca da argamassa (kg/m^3)

M_s = massa seca da amostra (kg)

M_{sat} = massa saturada da amostra (kg)

M_{sub} = massa submersa da amostra (kg)

2.3 MATERIAIS PARA ARGAMASSA FLUIDA

As argamassas fluidas são produzidas com os mesmos componentes da argamassa convencional, diferenciando pelo uso de aditivo superplastificante, que aumenta a fluidez sem o aumento da quantidade de água; e pelo uso de materiais com menor módulo de finura, como a areia fina, o fíler e o pó de pedra.

2.3.1 Cimento Portland

Para a produção de argamassas fluidas, deve-se utilizar materiais que possuam grande finura, sendo uma das características do cimento. Quanto mais fino o cimento mais rápido acontece a sua hidratação, aumentando assim a sua resistência, principalmente a de primeira idade, diminui a exsudação e a segregação, aumenta a impermeabilidade, a trabalhabilidade e a coesão (OLIVEIRA, 2008).

Sendo assim o CP V ARI (Cimento Portland cinco de alta resistência inicial) seria o mais indicado, por possuir alto grau de finura e menor teor de fíler em sua composição.

2.3.2 Areia

As areias são classificadas como agregados miúdos, devido ao tamanho das suas partículas, são sedimentos geralmente de origem quartzosas. Os agregados miúdos podem ser subdivididos em três grupos conforme à sua granulometria: finos com faixa de 0,15 a 0,6 mm, médios com faixa de 0,6 a 2,4 mm e grossos com faixa de 2,4 a 4,75 mm (ALBUQUERQUE, 2008). Devendo ser avaliadas quanto à massa unitária e granulometria conforme NBR NM 45 (ABNT, 2006) e NBR NM 248 (ABNT, 2003), respectivamente.

2.3.2.1 Determinação da massa unitária

A NBR NM 45 (ABNT, 2006), define a massa unitária como a relação entre a massa do agregado lançado em um recipiente e volume ocupado, ou seja, o volume do recipiente. A norma estabelece os materiais que devem ser utilizados e como

devem ser realizados os ensaios para a determinação da massa unitária dos agregados.

I. Materiais e equipamentos:

- Balança;
- Recipiente cilíndrico, rígido e com alças;
- Pá ou concha;
- Espátula rígida.

II. Procedimento de execução do ensaio, conforme Item 8.4 da NBR NM 45 (ABNT, 2006):

- Determinar e registrar a massa do recipiente vazio.
- Calcular o volume do recipiente.
- Encher o recipiente até que o mesmo transborde, utilizando uma pá ou uma concha, despejando o agregado de uma altura que não supere 50 mm acima da borda superior do recipiente. Evitar ao máximo a segregação dos agregados que compõem a amostra.
- Nivelar a camada superficial do agregado com o auxílio de uma espátula rígida.
- Determinar e registrar a massa do recipiente mais seu conteúdo.

III. Cálculo da massa unitária

A massa unitária deve ser calculada pela Equação 2:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (2)$$

Onde:

ρ_{ap} é a massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico;

m_{ar} é a massa do recipiente mais o agregado, em quilogramas;

m_r é a massa do recipiente vazio, em quilogramas;

V é o volume do recipiente, em metros cúbicos.

A massa unitária do agregado é a média dos resultados individuais obtidos em pelo menos três determinações, dividindo-se a massa do agregado pelo volume do recipiente utilizado, expressa em quilogramas por metro cúbico.

2.3.2.2 Análise granulométrica

A granulometria é um método de análise que visa classificar as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes a cada tamanho. A composição granulométrica é a característica de um agregado de maior aplicação na prática (ITAMBÉ, 2011). Para a caracterização da granulometria da areia deve-se utilizar os procedimentos contidos na NBR NM 248 (ABNT, 2003).

I. Materiais e equipamentos:

- 600 g de areia;
- Balança;
- Estufa;
- Peneiras;
- Agitador mecânico;
- Bandejas;
- Escova ou pincel;
- Fundo avulso de peneira.

II. Procedimento de execução do ensaio, conforme NBR NM 248 (ABNT, 2003):

- Secar as amostras de ensaio em estufa, esfriar à temperatura ambiente e determinar sua massa.
- Encaixar as peneiras, previamente limpas de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo. Prover um fundo de peneiras adequado para o conjunto.
- Colocar a amostra sobre a peneira superior do conjunto, de modo a evitar a formação de uma camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras.

- Promover a agitação mecânica do conjunto, por um tempo razoável para permitir a separação e classificação prévia dos diferentes tamanhos de grão da amostra. Se não for possível a agitação mecânica do conjunto.
- Destacar e agitar manualmente a peneira superior do conjunto até que, após um minuto de agitação contínuo, a massa de material passante pela peneira seja inferior a 1% da massa do material retido. A agitação da peneira deve ser feita em movimentos laterais e circulares alternados, tanto no plano horizontal quanto inclinado.
- Remover o material retido na peneira para uma bandeja. Escovar a tela em ambos os lados para limpar a peneira.
- Proceder a verificação da próxima peneira, depois acrescentar o material na peneira superior, até que todas as peneiras do conjunto tenham sido verificadas.
- Determinar a massa total de material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto.
- Pesquisar outra amostra e realizar outro ensaio com o mesmo tipo de agregado.

2.3.3 Aditivo superplastificante

Para Tutikian e Dal Molin (2008) os aditivos superplastificantes à base de éter policarboxilatos são os mais utilizados em compostos autoadensáveis, como o concreto autoadensável, pois melhoram a dispersão das partículas de cimento. Por aumentarem a carga negativa do cimento, esse tipo de aditivo faz com que as partículas se dispersem por repulsão elétrica, diminuindo assim o consumo de água. Para as argamassas fluidas acontece o mesmo efeito.

A NBR 7681-1 (ABNT, 2013) cita que “a definição do emprego do aditivo deve ser procedida por ensaios em composições de calda com os cimentos disponíveis para aplicação, para a certificação de sua adequação e compatibilidade”.

Hartmann (2002) *apud* Fracalossi (2011), cita as principais finalidades dos aditivos superplastificantes:

- I. Reduzir o consumo de água para uma mesma consistência, aumentando a resistência e a durabilidade do concreto;
- II. Aumentar a fluidez sem alterar o consumo de água;

- III. Reduzir a quantidade de cimento do concreto, mantendo a consistência e a resistência à compressão, com o objetivo de reduzir custos e ainda reduzir a retração, fluência e tensões térmicas

Para se obter um traço de argamassa autonivelante ideal, utiliza-se aditivos superplastificantes para se obter uma mistura fluida sem adição excessiva de água, o que diminuiria a sua resistência e alteraria as suas propriedades.

2.3.4 Pó de pedra

No processo de britagem, além de se obter diversas dimensões de agregados graúdos, desde o rachão até o pedrisco, obtém-se também o pó de pedra, que é o conjunto das partículas que passam pela peneira de 2,4mm. O pó de pedra possui maior porcentagem de finos do que as areias, sendo que até 28% do seu total é menor que 0,075mm. (ALBUQUERQUE, 2008)

2.4 COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO

Quando é feito um estudo para definir um traço de argamassa fluida é preciso avaliar se o mesmo atende aos parâmetros de fluidez e resistência e se é viável financeiramente, sendo assim é preciso avaliar seu custo.

A TCPO (2012) define composição como o detalhamento de um determinado serviço que expressa a descrição, quantidades, produtividades e custos unitários dos materiais, mão de obra e equipamentos necessários à execução de uma unidade de medida desse serviço.

2.4.1 Determinação do consumo de cimento

Para realizar a composição de custo unitário das argamassas é necessário calcular o consumo de cimento para o traço, Helene (1992) apresenta a Equação 3 para fazer esse cálculo:

$$C_c = \frac{Y}{1+ar+p+a+ad} \quad (3)$$

Onde:

C_c = consumo de cimento por metro cúbico de argamassa (kg/m^3)

γ = massa específica da argamassa (kg/m^3)

ar = relação areia / cimento, em massa

p = relação pó de pedra / cimento, em massa

a = relação água / cimento

ad = relação aditivo / cimento

2.4.2 Determinação do consumo de agregados

Conhecido o consumo de cimento, é possível calcular o consumo de cada agregado para o traço, utilizando a Equação 4:

$$C_{agr} = \frac{(ag/c) \cdot C_c}{\rho_{ap}} \quad (4)$$

Onde:

C_{ag} = consumo de agregado por metro cúbico de argamassa (m^3)

ag/c = relação agregado / cimento

C_c = consumo de cimento por metro cúbico de argamassa (kg)

ρ_{ap} = massa unitária do agregado (kg/m^3)

2.4.3 Determinação do consumo de água

Após conhecer o consumo de cimento, é possível calcular também o consumo de água para o traço, utilizando a Equação 5:

$$C_a = \frac{(a/c) \cdot C_c}{\gamma_a} \quad (5)$$

Onde:

C_a = consumo de água por metro cúbico de argamassa (m^3)

a/c = relação água / cimento

C_c = consumo de cimento por metro cúbico de argamassa (kg)

γ_a = massa específica da água (kg/m³)

2.4.4 Determinação do consumo de aditivo

Após conhecer o consumo de cimento, é possível calcular o consumo de aditivo para a dosagem, utilizando a Equação 6:

$$C_{ad} = \frac{(ad/c) \cdot C_c}{\gamma_{ad}} \cdot \gamma_{ad} = (ad/c) \cdot C_c \quad (6)$$

Onde:

C_{ad} = consumo de aditivo por metro cúbico de argamassa (kg)

ad/c = relação aditivo / cimento

C_c = consumo de cimento por metro cúbico de argamassa (kg)

γ_{ad} = massa específica do aditivo (kg/m³)

2.5 ESTUDOS RECENTES

Atualmente não há muitos estudos na área de argamassas autoadensáveis, principalmente referentes à região oeste do Paraná, havendo uma reduzida quantidade de dados para comparação de resultados. No entanto, as pesquisas encontradas sobre o tema são de fundamental importância para a realização dessa pesquisa como de outras que possam ser feitas. A seguir são apresentadas pesquisas recentes encontradas na literatura.

2.5.1 Melo (2005)

O estudo desenvolvido por Melo (2005) é constituído de sete etapas:

- I. Seleção e caracterização dos materiais;
- II. Definição de faixas granulométricas ideais;
- III. Determinação da relação água/cimento;
- IV. Estudos em pasta;

- V. Estudos em argamassa;
- VI. Produção do concreto;
- VII. Otimização da dosagem do CAA.

Na etapa dos estudos em pasta, foram realizados ensaios para investigar a influência do teor de fíler em função da variação da relação água/cimento, determinou-se o teor de fíler, e encontrou-se o teor de saturação do aditivo pelo ensaio com o cone de Marsh e com o viscosímetro.

Em seguida na etapa de estudos em argamassa foram avaliadas argamassas com diferentes teores de agregado miúdo, determinando o volume ideal. Foram adotados três teores de agregado para definir o teor ideal em função dos ensaios de espalhamento e Funil-V. Para cada volume de agregado foi variada a quantidade de aditivo para analisar quais atendiam aos requisitos exigidos.

Após definir o teor de agregado miúdo, foram produzidas argamassas com diferentes teores de fíler, variando a quantidade de aditivo. Assim, foram obtidas argamassas ideais para cada relação água/cimento. As argamassas que atenderam os requisitos desejados foram ensaiadas em relação à resistência à compressão aos 7 e 28 dias, massa específica e teor de vazios.

Os principais resultados pertinentes ao desenvolvimento da presente pesquisa estão apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 - Resultados obtidos após a realização dos ensaios

Mistura	a/c	Fíler (%)	Aditivo (%)	Escoamento (s)	Res. Compressão (MPa)		Espalhamento (mm)	Massa específica (kg/m ³)
					7 dias	28 dias		
1	0,82	50	0,20	3,62	20,86	24,43	290	2178
2	0,82	55	0,25	3,75	19,75	24,92	280	2197
3	0,82	60	-	-	-	-	-	-
4	0,67	35	0,15	3,25	26,85	33,90	267	2174
5	0,67	40	0,15	3,35	27,47	31,71	237	2158
6	0,67	45	0,25	4,14	27,73	33,11	272	2202
7	0,55	25	0,15	5,10	35,72	43,52	275	2172
8	0,55	30	0,20	3,75	34,58	39,04	225	2173
9	0,55	35	0,25	4,86	38,35	41,89	290	2210

Fonte: Melo, 2005

2.5.2 Martins (2009)

O estudo desenvolvido por Martins (2009) tem seu programa experimental dividido em duas etapas. A primeira etapa é a de caracterização dos materiais a serem utilizados e a segunda de caracterização da pasta para argamassa autonivelante. Dentro do segundo item há mais três sub-divisões:

- I. Ensaio com a pasta-autonivelante, para ajustar os teores dos aditivos e para mapear os limites da relação água / materiais secos (a/ms);
- II. Ensaio com as pastas que apresentaram melhor desempenho na etapa I;
- III. Ensaio de viscosidade para as pastas da etapa II.

A esquematização da pesquisa pode ser melhor entendida com o auxílio da Figura 4:

Figura 4 - Esquema de metodologia empregada na pesquisa

Os ensaios para caracterização da pasta foram feitos com o cilindro espanhol (Figura 5), equipamento desenvolvido por pesquisadores em Valência na Espanha. O procedimento realizado para esse ensaio consiste no preenchimento do cilindro com a amostra de pasta cimentícia e com a ajuda de um cronometro é medido o tempo de escoamento do material. O diâmetro medido em dois sentidos da pasta escoada e o tempo para esse escoamento são os parâmetros a serem analisados.

O ensaio tem o objetivo de avaliar a tendência de fluidez e de segregação da pasta. Este ensaio ainda não foi normalizado, sendo assim segue as orientações dos desenvolvedores do equipamento.

Figura 5 - Cilindro espanhol

Fonte: Martins, 2009

Após realizar os ensaios de caracterização dos materiais a serem utilizados bem como os ensaios da etapa I, Martins (2009) conseguiu fazer uma seleção dos traços que mostraram os melhores resultados. Dessa forma foram definidos os parâmetros fixos, as variáveis dependentes e independentes e realizou novos ensaios combinando esses parâmetros, obtendo os resultados mostrados na Tabela 4.

- Parâmetros fixos:

Aditivo superplastificante (SP): 0,5%

- Variáveis independentes:

Relação água/materiais secos (a/ms): 0,80 e 0,75

Sílica ativa: 10, 12 e 15%

Aditivo modificador de viscosidade (VMA): 0,0; 1,3 e 3%

- Variáveis dependentes:

Espalhamento (cm)

Análise visual: borda uniforme ou desuniforme, com ou sem segregação

Tabela 4 - Resultados do espalhamento e da análise visual das pastas formuladas na etapa II da pesquisa

FOR	a/ms	CP V	SÍLICA ATIVA		ÁGUA (g)	SP		VMA		ESP. Média	ANÁLISE VISUAL			
			(g)	%		(g)	%	(g)	%		BORDA	SEGREGAÇÃO		
		(g)	(g)	%	(g)	(g)	%	(g)	%		U	D	SS	CS
73	0,80	500	50	10	440	2,5	0,5	0,0	0	29,5	X		X	
74	0,80	490	60	12	440	2,5	0,5	0,0	0	28,0	X		X	
75	0,80	475	75	15	440	2,5	0,5	0,0	0	24,7	X		X	
76	0,75	500	50	10	412,5	2,5	0,5	0,0	0	26,5	X		X	
77	0,75	490	60	12	412,5	2,5	0,5	0,0	0	26,0	X		X	
78	0,75	475	75	15	412,5	2,5	0,5	0,0	0	23,0	X		X	
79	0,80	500	0,0	0	400	2,5	0,5	8,0	1,6	31,5		X		X
80	0,75	500	0,0	0	375	2,5	0,5	8,0	1,6	32,5		X		X
81	0,80	500	0,0	0	400	2,5	0,5	15,0	3,0	32,5		X		X
82	0,75	500	0,0	0	375	2,5	0,5	15,0	3,0	33,0		X		X

Legenda: FOR = Formulação; a/ms = relação água/materiais secos; CP V = cimento Portland V; SP = aditivo superplastificante; VMA = aditivo modificador de viscosidade; ESP = espalhamento U = borda uniforme; D = borda desuniforme; SS = sem segregação; CS = com segregação

Fonte: MARTINS, 2009

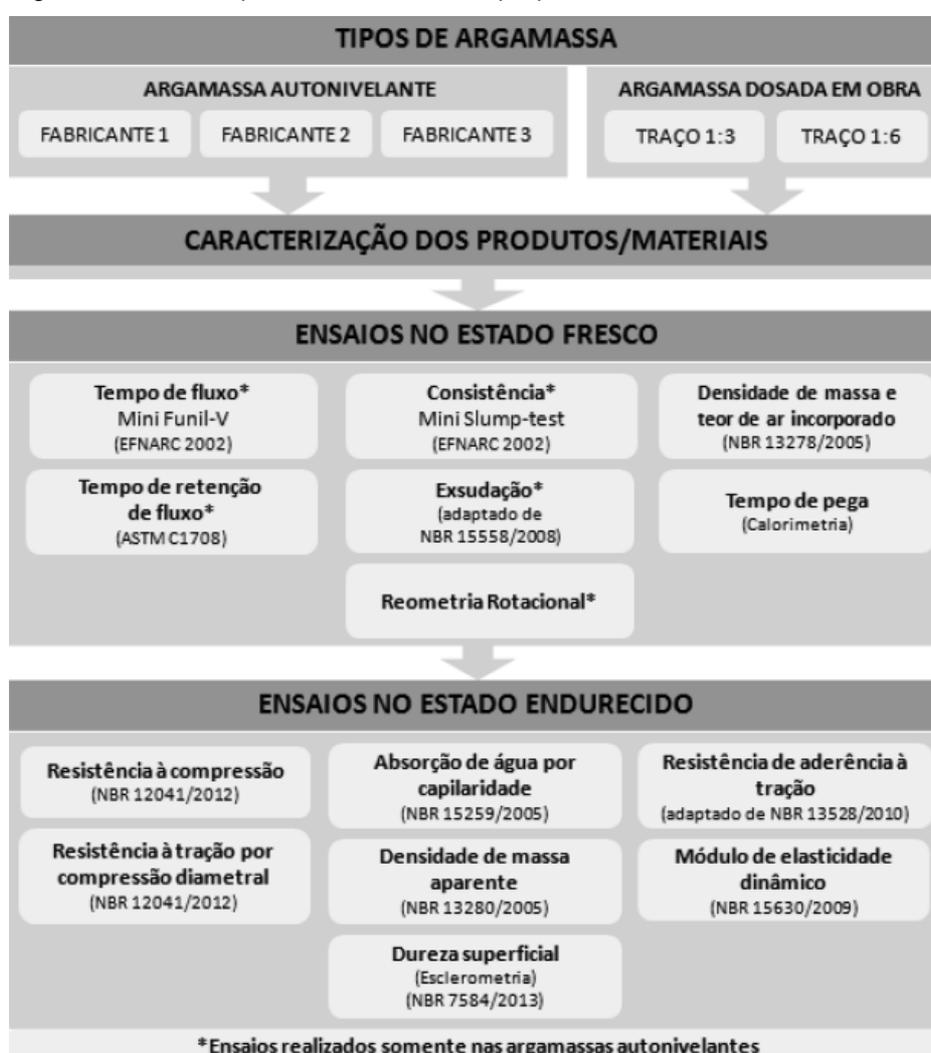
Com este trabalho foi possível observar dentre as 72 dosagens feitas que para teores muito altos de aditivo SP (0,8% e 1,0%) e muito baixos de VMA (0,2% a 0,65%) resultam numa fluidez da pasta acima do indicado e com segregação. As pastas com teor de 0,9% de VMA resultaram em pastas consideradas ideais, com fluidez e sem segregação, já com 1,1% a pasta perde a fluidez, utilizando para ambos os teores 0,5% de SP.

As pastas ensaiadas com SP, VMA e sílica ativa mostraram redução na fluidez proporcional ao aumento da adição, tanto para os ensaios de espalhamento, como para os ensaios com o viscosímetro. As pastas com sílica ativa apresentaram menor segregação e maior viscosidade. O diâmetro de espalhamento com o acréscimo de sílica ativa foi consideravelmente menor em comparação com o VMA, mostrando que a sílica ativa pode apresentar melhores resultados sem o acréscimo do VMA.

2.5.3 Rubin (2015)

No trabalho desenvolvido por Rubin (2015) foram analisados cinco tipos de argamassa, sendo duas dosadas em obra com traço 1:3 e 1:6, e três argamassas industrializadas, identificadas como fabricante 1, 2 e 3. Uma matriz experimental foi elaborada para relacionar o tipo de argamassa com a caracterização dos materiais, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Matriz experimental do estudo proposto



Fonte: RUBIN, 2015

Para avaliar as argamassas a autora escolheu sete ensaios para o estado fresco e sete para o estado endurecido, sendo os mais pertinentes ao presente trabalho tempo de fluxo e mini *slump-test*, no estado fresco e resistência à compressão e à tração por compressão diametral, no estado endurecido.

Após caracterizar o cimento, o agregado miúdo e as argamassas autonivelantes industrializadas e realizar os ensaios previstos no desenvolvimento da dissertação, a autora reuniu os resultados em uma tabela simplificada com as características obtidas para cada tipo de argamassa, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Tabela geral dos resultados obtidos em todos os ensaios realizados

PROPRIEDADES	ARGAMASSA				
	1:3	1:6	F1	F2	F3
	ESTADO FRESCO				
Relação a/ms	0,137	0,142	0,210	0,210	0,225
Relação a/c	0,55	0,99	-	-	-
Tempo de fluxo (s)	-	-	17,44	2,85	13,62
Consistência (cm)	-	-	18,03	36,31	29,83
	ESTADO ENDURECIDO				
Resistência à compressão uniaxial (MPa) – 28 dias	26,99	6,77	17,72	14,36	10,04

Legenda: a/ms = relação água/materiais secos; a/c = relação água/cimento

Fonte: RUBIN, 2015

Com este trabalho foi possível concluir que a argamassa com traço 1:3 foi a que apresentou os melhores resultados no estado endurecido, com a maior resistência tanto à compressão uniaxial como à tração por compressão diametral, porém não apresentou características de argamassa fluida, não tendo valores para tempo de fluxo nem consistência. O traço 1:6 sugerido pela NBR 13753 (ABNT, 1996) para contrapiso apresentou valores menores de resistência, e assim como o traço 1:3, não apresentou características de argamassa fluida.

As argamassas autonivelantes obtiveram valores intermediários de resistência em relação as argamassas produzidas em obra. Já no estado fresco as três argamassas apresentaram resultado nos ensaios de escoamento pelo funil e no mini *slump-test*, destacando-se a do fabricante F2, a qual obteve a maior consistência, com o menor tempo de fluxo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

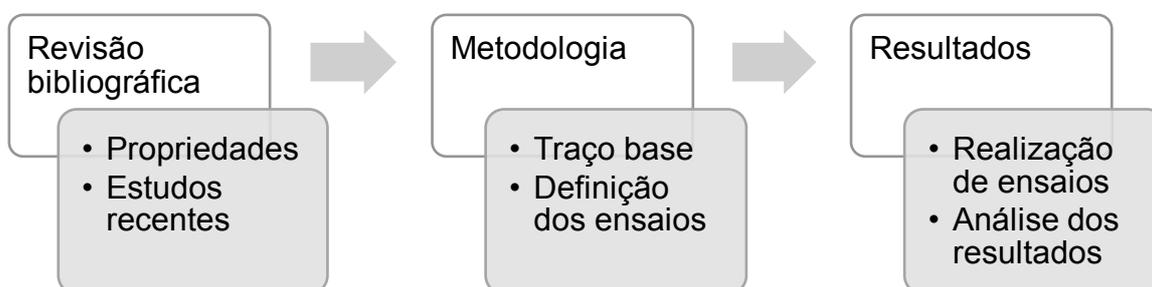
A pesquisa realizada foi baseada em dosagens iniciais obtidas por outros pesquisadores, sendo avaliadas e adaptadas para utilização dos materiais disponíveis na região oeste do Paraná. Pode ser classificada quanto ao seu método como bibliográfica e experimental.

Para Marconi e Lakatos (2010) e Gil (2010) a pesquisa bibliográfica pode ser definida como aquela feita com base em bibliografias que já foram publicadas, podendo ser material impresso, meios audiovisuais, material cartográfico e publicações. Dentre os materiais mais utilizados estão os livros, revistas, jornais, teses, dissertações e anais de eventos científicos.

A pesquisa experimental em laboratório é um conjunto de procedimentos que descrevem e analisam o comportamento de determinados materiais em situações controladas, obtendo assim resultados mais precisos. Esse tipo de pesquisa é baseado em quatro parâmetros: objeto a ser analisado, objetivo da análise, instrumentos e técnicas utilizados para a realização dos experimentos (MARCONI e LAKATOS, 2010).

Essa pesquisa é estruturada conforme mostra a Figura 7:

Figura 7 - Desenvolvimento de pesquisa



3.2 DEFINIÇÕES

Antes de iniciar os ensaios é preciso apresentar algumas definições para a pesquisa, para que a mesma seja direcionada ao seu objetivo:

- A argamassa dosada neste trabalho é classificada como: hidráulica, simples de cimento, fluida, rica, produzida em laboratório e utilizada para regularização de superfícies horizontais.
- Apesar da inexistência de normas específicas foram realizados ensaios de caracterização da argamassa fluida para avaliação da fluidez, avaliando o espalhamento da pasta, seu tempo de escoamento e se há segregação. Esses ensaios foram realizados com base em normas utilizadas para argamassas convencionais sendo a NBR 7215 (ABNT, 1997), norma de determinação do índice de consistência e a NBR 7681 (ABNT, 2013), norma de calda de cimento para injeção.
- Os traços ensaiados foram misturados em argamassadeiras disponíveis no laboratório.

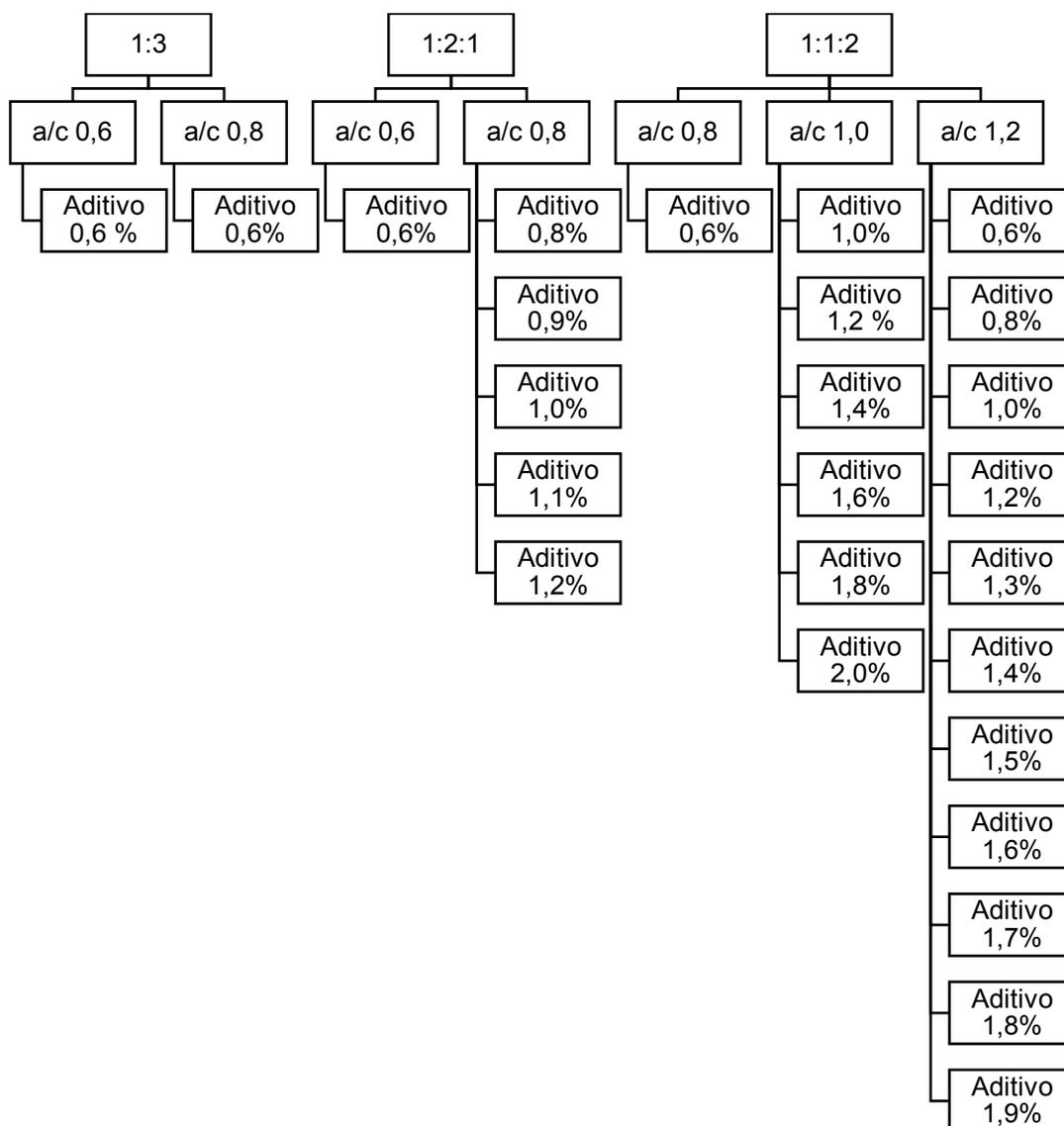
3.3 TRAÇO BASE

O traço inicial adotado foi o mais comumente utilizado para argamassas de 1:3, sendo o peso da areia três vezes maior que o do cimento. A partir desse traço foram feitas alterações na relação água cimento, bem como foram realizados ensaios com diferentes porcentagens de aditivo superplastificante.

Para avaliar a utilização do pó de pedra foram realizados ensaios fazendo substituição parcial da areia, com um terço e dois terços, criando assim os traços 1:2:1 e 1:1:2, sendo os pesos de cimento, areia e pó de pedra sucessivamente.

As variações na relação água/cimento e na porcentagem de aditivo foram feitas após breve análise dos resultados dos ensaios anteriores, avaliando se a quantidade de água e de aditivo foram suficientes ou insuficientes para obter a fluidez, resultando nos traços apresentados no Figura 8.

Figura 8 - Desenvolvimento de pesquisa



3.4 MATERIAIS EMPREGADOS

O cimento utilizado para a realização dos ensaios com argamassa foi o CP II-F-32, da Itambé, que atende aos parâmetros exigidos pela ABNT, com especificações técnicas fornecidas pelo fabricante, conforme Tabela 6:

Tabela 6 - Resumo das especificações da ABNT para o Cimento Portland CP II - F - 32

Parâmetro	Especificação
Tempo de início de pega (horas)	≥ 1
Resistência à compressão – 3 dias (MPa)	≥ 10,0
Resistência à compressão – 7 dias (MPa)	≥ 20,0
Resistência à compressão – 28 dias (MPa)	≥ 32,0
Massa específica média (g/cm ³)	3,08
Adição permitida de Escória (%)	0
Adição permitida de Fíler Calcário (%)	6 a 10
Adição permitida de Material Pozolânico (%)	0

Fonte: ITAMBÉ, 2016

A areia utilizada para os ensaios de dosagem é de origem natural, obtida na região oeste do Paraná. A mesma foi caracterizada pela determinação da sua massa unitária no estado solto, realizando ensaio conforme especificado na NBR NM 45 (ABNT, 2006) e pela sua granulometria, conforme especificado na NBR NM 248 (ABNT, 2003).

O pó de pedra antes de ser utilizado foi peneirado em peneira de 150 µm para que ficasse mais fino que a areia utilizada. A determinação da massa unitária em estado solto do pó de pedra foi realizada conforme a NBR NM 45 (ABNT, 2006).

O aditivo utilizado para a realização dos ensaios foi o TEC FLOW 8000, da empresa multinacional *Grace Construction Products*, que é um aditivo superplastificante que atende a NBR 11768 (ABNT, 2011), com características fornecidas pelo fabricante, conforme descrito na Tabela 7:

Tabela 7 - Principais características do aditivo TEC FLOW 8000

Produto	Descrição	Aspecto / cor	Dosagem recomendada (% SPC)	Massa específica g/cm³ (NBR 10908)
Tec-Flow 8000	Aditivo de elevada tecnologia, desenvolvido para a obtenção de concretos de alto desempenho, autoadensáveis, para pré-moldados e para artefatos de cimento – proporciona manutenção da trabalhabilidade por elevados períodos e obtenção de elevadas resistências iniciais e finais. Possibilita atingir excelente custo benefício, devido sua funcionalidade em baixas dosagens	Líquido alaranjado	0,3 a 2,0 %	1,080 – 1,120

Fonte: GRACE, 2015

3.5 ENSAIOS DE ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

Partindo do traço inicial 1:3, foram realizados os ensaios para caracterização da argamassa no seu estado fresco, avaliando o espalhamento e o tempo de escoamento de cada argamassa.

O ensaio de espalhamento, que consiste no posicionado do molde tronco cônico sobre uma superfície plana, o qual é preenchido com uma única camada de argamassa e em seguida retira-se o molde verticalmente, obtendo-se assim o diâmetro de espalhamento obtido, foi realizado para todas as dosagens. Este ensaio determinou se a argamassa flui e qual é o diâmetro de abertura do espalhamento do material.

Ainda no estado fresco, foram realizados os ensaios de escoamento pelo funil de Marsh, que consiste inicialmente na obstrução do bico do funil e posteriormente na colocação de aproximadamente 1800 cm³ de argamassa no mesmo. Para determinar o tempo de escoamento é preciso cronometrar o tempo que a argamassa leva desde o momento em que a argamassa atinge o fundo da proveta graduada até o momento em que atinge a marca de 1000 cm³.

Os ensaios de escoamento foram realizados apenas para os traços que apresentaram resultados satisfatórios no ensaio de espalhamento.

3.6 ENSAIOS DE ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

Com os traços que apresentaram bons resultados nos ensaios no estado fresco foram moldados corpos-de-prova cilíndricos com diâmetro interno de 50 mm e altura de 100 mm, para a determinação da resistência à compressão uniaxial.

Os ensaios foram realizados apenas para os traços que obtiverem resultados satisfatórios no ensaio de escoamento pelo funil e conseqüentemente pelo espalhamento.

Foram utilizados seis corpos-de-prova cilíndricos, sendo três para cada dosagem para realizar os ensaios de massa específica da argamassa, ensaio que consiste na pesagem do corpo de prova seco, saturado e submerso e em seguida calculada a massa específica, conforme NBR 9778 (ABNT, 2009).

3.7 AVALIAÇÃO DO CUSTO DAS DOSAGENS

Conhecidas a massa específica da argamassa e as relações areia / cimento, pó de pedra / cimento, água / cimento e aditivo / cimento foi possível calcular o consumo de cimento para cada metro cúbico de argamassa, utilizando a Equação 3 conforme Helene (1992). Posteriormente foram calculados os consumos dos outros insumos.

Conhecendo o consumo de cada insumo passou-se a pesquisar o custo unitário de cada um. Os custos da areia, do aditivo, do cimento e do pó de pedra foram retirados da tabela do SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (2016) publicada no mês de Setembro/2016. O custo da água foi obtido junto à SANEPAR com data base no mesmo mês.

Os dados obtidos para o consumo e o custo unitário de cada insumo foram colocados em uma tabela baseada nas tabelas de composição de custo unitário da TCPO (2012), obtendo o custo de cada dosagem por metro cúbico de argamassa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS

4.1.1 Massa unitária da areia no estado solto

Para determinar a massa unitária da areia no seu estado solto foi realizado um ensaio com três amostras conforme a Figura 9, obtendo os resultados apresentados na Tabela 8.

Figura 9 - Determinação da massa unitária da areia no estado solto

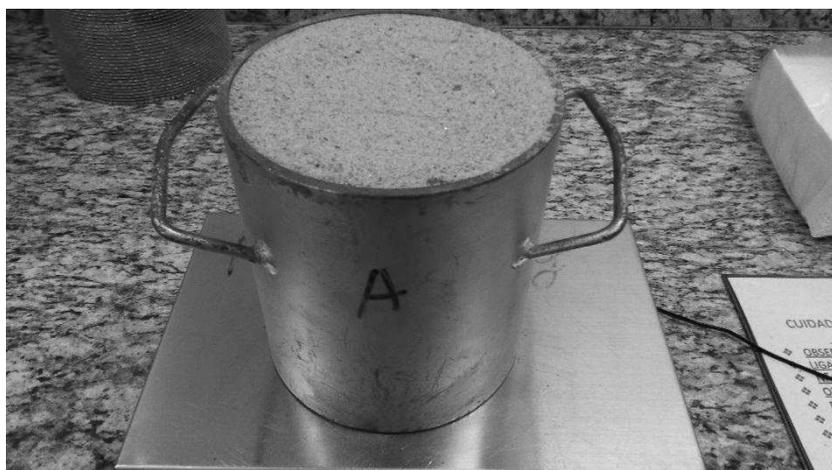


Tabela 8 - Determinação da massa unitária da areia

Amostra	M_{ar} (kg)	M_r (kg)	V (m ³)	ρ_{ap} (kg/m ³)
Amostra 1	8,9883			1499,13
Amostra 2	9,0012	4,4513	0,003026	1503,39
Amostra 3	8,9956			1501,54
Média (kg/m ³)				1501,35
Desvio padrão (kg/m ³)				2,14
Coef. Variação (%)				0,14

Legenda: ρ_{ap} é a massa unitária do agregado; m_{ar} é a massa do recipiente mais o agregado; m_r é a massa do recipiente vazio; V é o volume do recipiente.

4.1.2 Granulometria da areia

Foi realizado um ensaio de granulometria com duas amostras, como especificado na NBR NM 248 (ABNT, 2003) conforme a Figura 10. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 9 e representados na Figura 11.

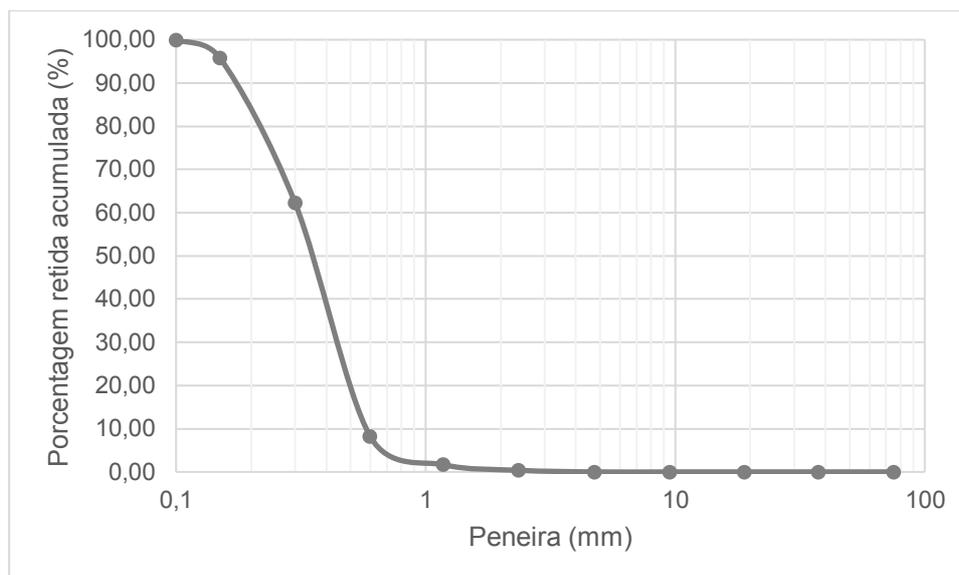
Figura 10 - Análise granulométrica da areia



Tabela 9 - Dados coletados a partir do ensaio de granulometria da areia

Peneira	Massa retida amostra 1 (g)	Massa retida amostra 2 (g)	Massa retida média (g)	% retida	% acumulada
75 mm	0	0	0,00	0,00	0,00
37,5 mm	0	0	0,00	0,00	0,00
19 mm	0	0	0,00	0,00	0,00
9,5 mm	0	0	0,00	0,00	0,00
4,75 mm	0	0	0,00	0,00	0,00
2,36 mm	1,07	1,13	1,10	0,37	0,37
1,18 mm	4,01	3,78	3,90	1,30	1,67
600 µm	19,58	19,52	19,55	6,53	8,20
300 µm	163,28	160,23	161,76	54,02	62,21
150 µm	99,69	101,13	100,41	33,53	95,74
Fundo	12,3	13,2	12,75	4,26	100,00
Total	299,93	298,99	299,46		268,19
			Módulo de finura		1,682

Figura 11 - Granulometria da areia



Albuquerque (2008) apresenta os limites inferiores e superiores para cada faixa granulométrica do agregado miúdo, conforme o Quadro 1:

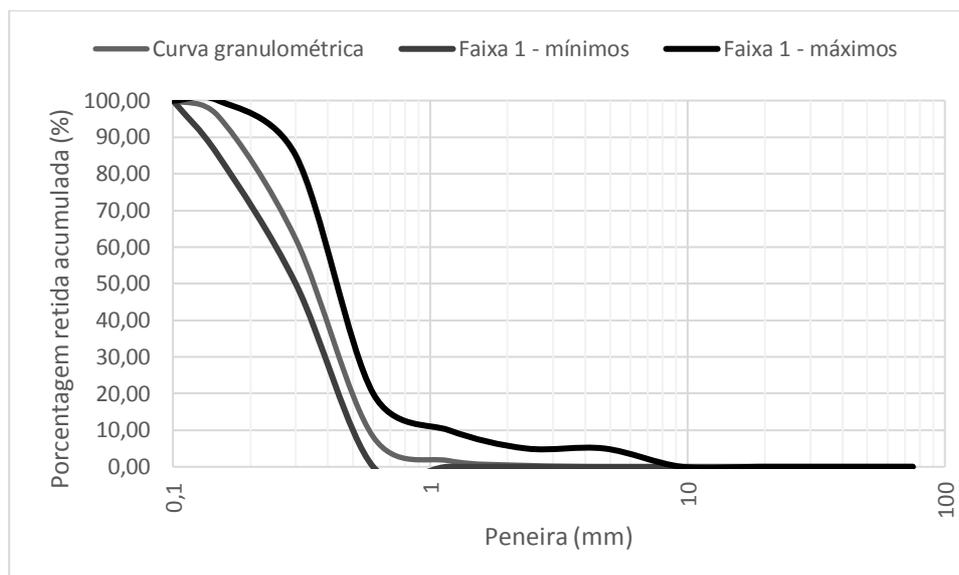
Quadro 1 - Faixas granulométricas do agregado miúdo

Peneiras (mm)	Porcentagens Retidas			
	Faixa 1 (muito fina)	Faixa 2 (fina)	Faixa 3 (média)	Faixa 4 (grossa)
6,3	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8	0 a 5	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4	0 a 5	0 a 15	0 a 25	5 a 40
1,2	0 a 10	0 a 25	10 a 45	30 a 70
0,6	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,3	50 a 85	60 a 88	70 a 92	80 a 95
0,15	85 a 100	90 a 100	90 a 100	90 a 100

Fonte: Albuquerque (2008)

Comparando as percentagens retidas das faixas granulométricas com as percentagens retidas médias das amostras é possível observar que a curva granulométrica se enquadra na Faixa 1, de areia muito fina, conforme mostra a Figura 12.

Figura 12 - Faixa granulométrica da areia



Albuquerque (2008) apresenta também os módulos de finura equivalentes para cada faixa granulométrica, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Módulo de finura correspondente à faixa granulométrica

Classificação	Faixa	Módulo de finura
Muito fina	Faixa 1	1,35 a 2,25
Fina	Faixa 2	1,71 a 2,85
Média	Faixa 3	2,11 a 3,38
Grossa	Faixa 4	2,71 a 4,02

Fonte: Albuquerque (2008)

Apesar da curva granulométrica se encaixar na Faixa 1, correspondente a uma areia muito fina, seu módulo de finura de 2,682 se enquadra na Faixa 2, correspondente a uma areia fina, sendo assim a classificação de areia é de muito fina a fina.

4.1.3 Massa unitária do pó de pedra no estado solto

Para determinar a massa unitária do pó de pedra no seu estado solto foi realizado um ensaio com três amostras conforme a Figura 13, obtendo os resultados apresentados na Tabela 10.

Figura 13 - Determinação da massa unitária do pó de pedra no estado solto

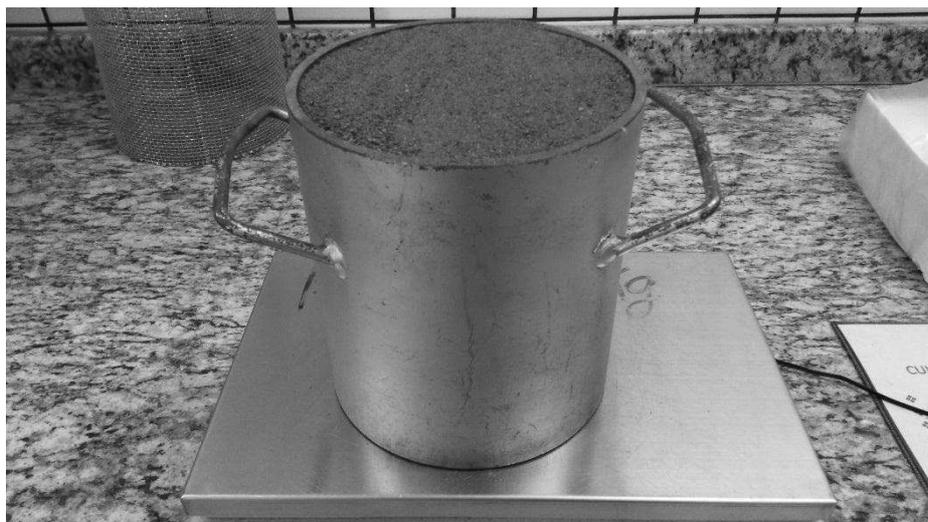


Tabela 10 - Determinação da massa unitária do pó de pedra

Amostra	Mar (kg)	Mr (kg)	V (m ³)	ρ_{ap} (kg/m ³)
Amostra 1	8,3225			1279,13
Amostra 2	8,2916	4,4513	0,003026	1268,92
Amostra 3	8,3375			1284,09
Média (kg/m ³)				1277,38
Desvio padrão (kg/m ³)				7,73
Coef. Variação (%)				0,61

Legenda: ρ_{ap} é a massa unitária do agregado; m_{ar} é a massa do recipiente mais o agregado; m_r é a massa do recipiente vazio; V é o volume do recipiente.

4.2 ENSAIOS PARA ARGAMASSA

4.2.1 Espalhamento

Todos os traços analisados com as respectivas quantidades de material utilizado, bem como os resultados obtidos em cada ensaio de espalhamento estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados dos ensaios de espalhamento

Dosagem	Traço	Cimento (g)	Areia (g)	Pó de pedra (g)	Água		Aditivo		Esp. (cm)	OBS
					a/c	(g)	%	(g)		
TRAÇO 1:3										
1	1:3	300	900	0	0,8	240	0,6	1,8	-	Falta de coesão
2	1:3	300	900	0	0,6	180	0,6	1,8	-	-
TRAÇO 1:2:1										
3	1:2:1	300	600	300	0,6	180	0,6	1,8	-	Falta de água
4	1:2:1	300	600	300	0,8	240	0,8	2,4	-	-
5	1:2:1	300	600	300	0,8	240	0,9	2,7	22 x 22	-
6	1:2:1	300	600	300	0,8	240	1	3	26 x 26	-
7	1:2:1	300	600	300	0,8	240	1,1	3,3	30 x 30	-
8	1:2:1	300	600	300	0,8	240	1,2	3,6	32 x 32	Exsudou
TRAÇO 1:1:2										
9	1:1:2	300	300	600	0,8	240	0,6	1,8	-	Falta de água
10	1:1:2	300	300	600	1	300	1	3	-	-
11	1:1:2	300	300	600	1	300	1,2	3,6	-	-
12	1:1:2	300	300	600	1	300	1,4	4,2	-	-
13	1:1:2	300	300	600	1	300	1,6	4,8	-	-
14	1:1:2	300	300	600	1	300	1,8	5,4	-	-
15	1:1:2	300	300	600	1	300	2	6	-	Limite aditivo
16	1:1:2	300	300	600	1,2	360	0,6	1,8	-	-
17	1:1:2	300	300	600	1,2	360	0,8	2,4	-	-
18	1:1:2	300	300	600	1,2	360	1	3	-	-
19	1:1:2	300	300	600	1,2	360	1,2	3,6	22x23	-
20	1:1:2	300	300	600	1,2	360	1,3	3,9	25x25	-
21	1:1:2	300	300	600	1,2	360	1,4	4,2	26x26	-
22	1:1:2	300	300	600	1,2	360	1,5	4,5	28x28	-
23	1:1:2	300	300	600	1,2	360	1,6	4,8	29x29	-
24	1:1:2	300	300	600	1,2	360	1,7	5,1	30x30	-
25	1:1:2	300	300	600	1,2	360	1,8	5,4	31x31	-
26	1:1:2	300	300	600	1,2	360	1,9	5,7	35x36	Exsudou

Legenda: Esp. - espalhamento

Conforme os dados apresentados na Tabela 11 é possível observar que foram realizados ensaios com duas amostras do traço 1:3, seis amostras para o traço 1:2:1 e 18 amostras para o traço 1:1:2, para que fosse possível obter duas dosagens diferentes.

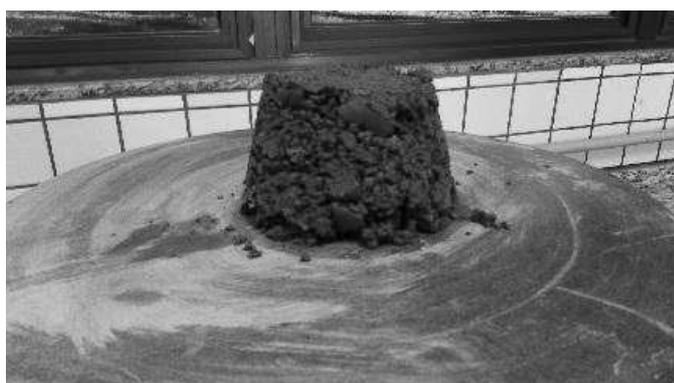
A dosagem 1 apresentou falta de coesão em sua composição, conforme a Figura 14 mostra.

Figura 14 - Dosagem 1



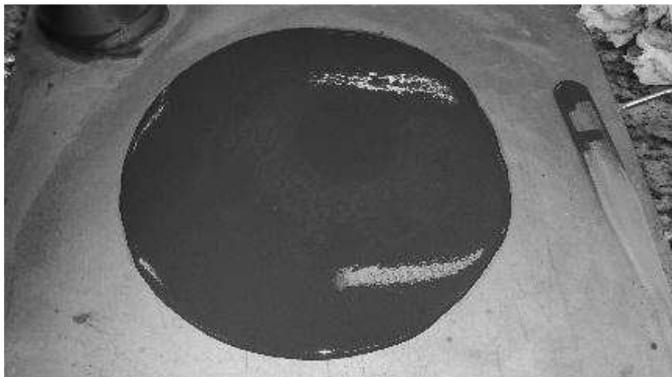
As dosagens 3 e 9, porém apresentaram falta de água, obtendo assim uma argamassa muito seca, conforme Figura 15.

Figura 15 - Dosagem 3



As dosagens 5, 6 e 7 do traço 1:2:1 e as dosagens 19, 20, 21, 22, 23, 24 e 25 do traço 1:1:2 apresentaram espalhamento, com diâmetros variando de 22 a 32 cm, conforme Figura 16.

Figura 16 - Dosagem 24



As dosagens 8 e 26 também apresentaram espalhamento, porém as argamassas exsudaram por excesso de aditivo, conforme mostra a Figura 17.

Figura 17 - Dosagem 26



As demais dosagens não apresentaram excesso nem falta de água, bem como não obtiveram espalhamento, conforme mostra a Figura 18.

Figura 18-Dosagem 15 - 1:1:2



Após a análise dos resultados obtidos, optou-se por realizar os ensaios posteriores com o traço 7, com proporção 1:2:1, devido ao fato de se conseguir maior abertura, sem segregação. Já para a proporção 1:1:2 optou-se pelo traço 24, o qual obteve a mesma abertura do traço 7, sem que houvesse segregação.

4.2.2 Escoamento pelo funil

Foram realizados dois ensaios de escoamento pelo funil de Marsh, conforme mostra a Figura 19, sendo um ensaio para cada traço, utilizando três amostras cada, obtendo assim a média de tempo de escoamento. Os resultados estão apresentados na Tabela 12.

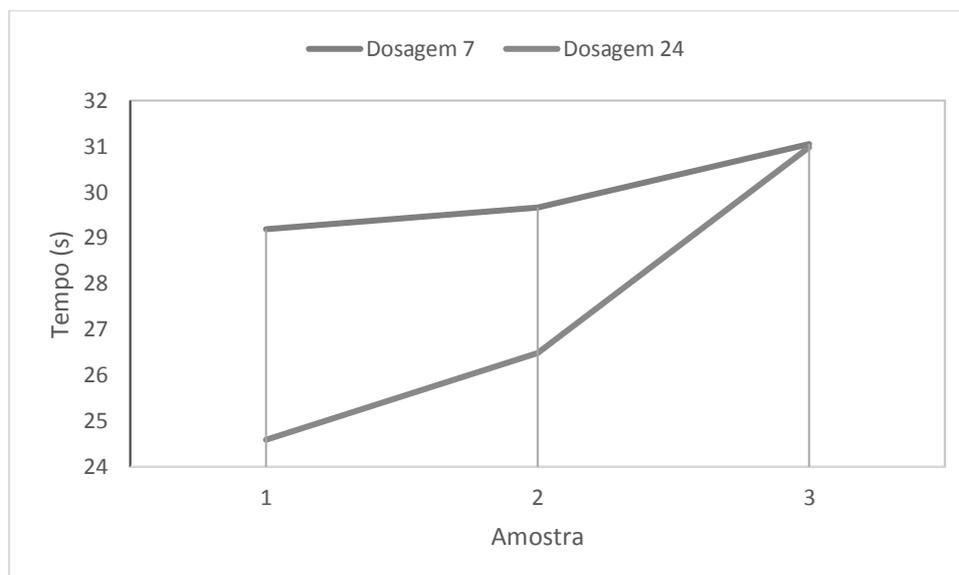
Figura 19 - Escoamento pelo Funil de Marsh



Tabela 12 - Tempo de escoamento pelo funil de Marsh para as dosagens 7 e 24

Amostra	Dosagem 7	Dosagem 24
Amostra 1 (s)	29,19	24,59
Amostra 2 (s)	29,66	26,49
Amostra 3 (s)	31,05	30,98
Média (s)	29,97	27,35
Desvio padrão (s)	0,97	3,28
Coef. Variação (%)	3,23	12,00

Figura 20 - Tempo de escoamento para as Dosagens 7 e 24



Os valores obtidos para os dois ensaios mostram que há aumento do tempo de escoamento com o passar do tempo. Isso ocorre devido a perda do efeito do aditivo ao longo do tempo.

Os resultados obtidos para o tempo de escoamento são considerados satisfatórios se comparados aos resultados obtidos por Melo (2005), que foi em média 4 segundos de escoamento, para um quinto do volume.

O desvio padrão e o coeficiente de variação da primeira dosagem foram menores que os obtidos para a segunda, porém o tempo médio de escoamento foi 10% maior.

4.2.3 Resistência à compressão uniaxial

Foram realizados ensaios de resistência à compressão uniaxial com seis corpos-de-prova por dosagem, nas idades de 24 horas, 3, 7 e 28 dias, conforme especificado na norma NBR 12041 (ABNT, 2012) conforme mostra a Figura 20. Os resultados obtidos estão apresentados nas Tabelas 13 e 14 e representado nas Figuras 21, 22, 23 e 24.

Figura 21 - Resistência à compressão uniaxial



Tabela 13 - Resistência à compressão uniaxial da dosagem 7

Corpo-de-prova	Resistência à compressão uniaxial (MPa)			
	24 h	3 dias	7 dias	28 dias
CP 01	2,71	5,85	7,50	6,87
CP 02	2,39	5,57	6,93	7,45
CP 03	2,29	6,00	7,64	8,23
CP 04	1,98	4,55	7,67	8,31
CP 05	3,28	5,67	7,45	9,54
CP 06	2,27	7,37	6,07	10,40
Média	2,49	5,83	7,21	8,46
Desvio padrão	0,45	0,91	0,62	1,31
Coeficiente de variação (%)	18,30	15,59	8,58	15,45
Mínimo	1,98	4,55	6,07	6,87
Máximo	3,28	7,37	7,67	10,40

Figura 22 - Resistência à compressão média e desvio padrão da dosagem 7

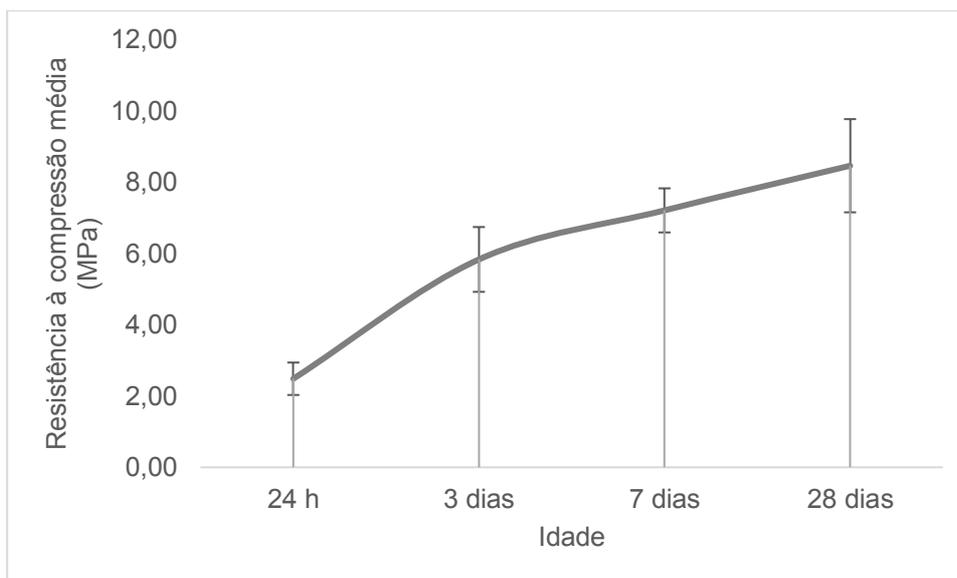


Figura 23 - Resistência à compressão média, mínima e máxima da dosagem 7

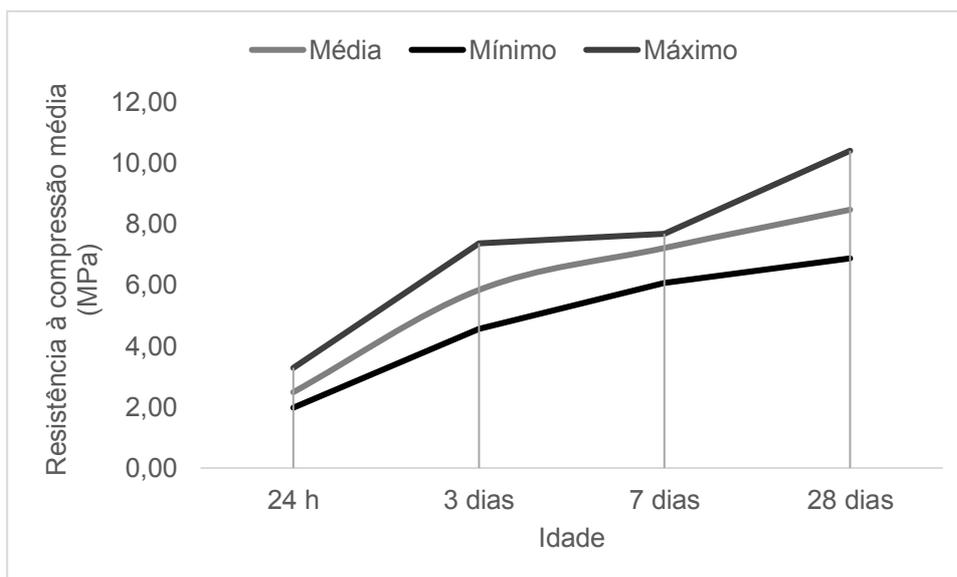


Tabela 14 - Resistência à compressão uniaxial do traço 24

Corpo-de-prova	Resistência à compressão uniaxial (MPa)			
	24 h	3 dias	7 dias	28 dias
CP 01	1,04	1,05	2,44	6,07
CP 02	0,95	1,15	1,45	4,16
CP 03	0,80	1,20	2,10	2,46
CP 04	0,69	1,40	2,94	4,82
CP 05	0,84	1,36	1,77	4,10
CP 06	1,05	2,31	2,61	3,58
Média	0,89	1,41	2,22	4,20
Desvio padrão	0,13	0,42	0,51	1,10
Coeficiente de variação (%)	14,40	29,64	22,83	26,29
Mínimo	0,69	1,05	1,45	2,46
Máximo	1,05	2,31	2,94	6,07

Figura 24 - Resistência à compressão média e desvio padrão da dosagem 24

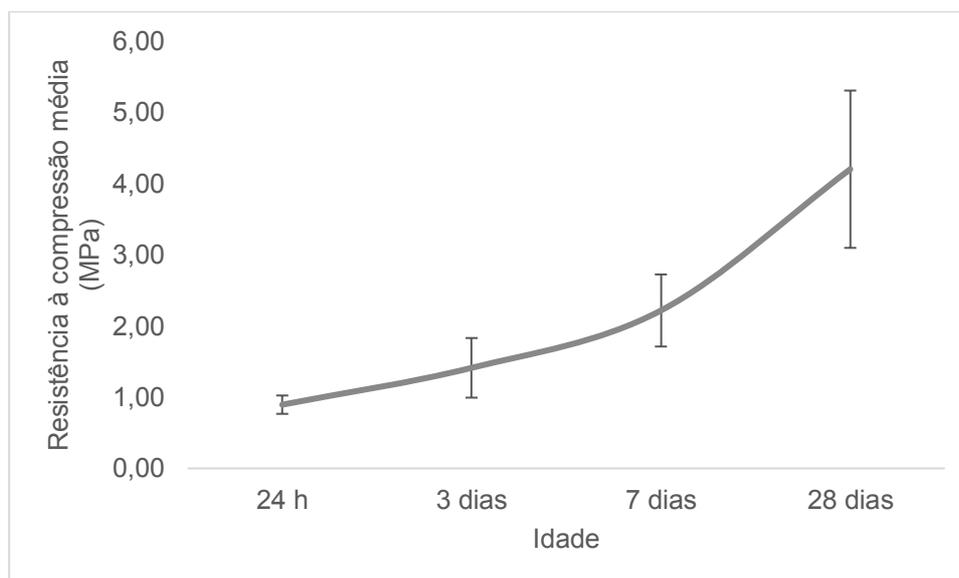
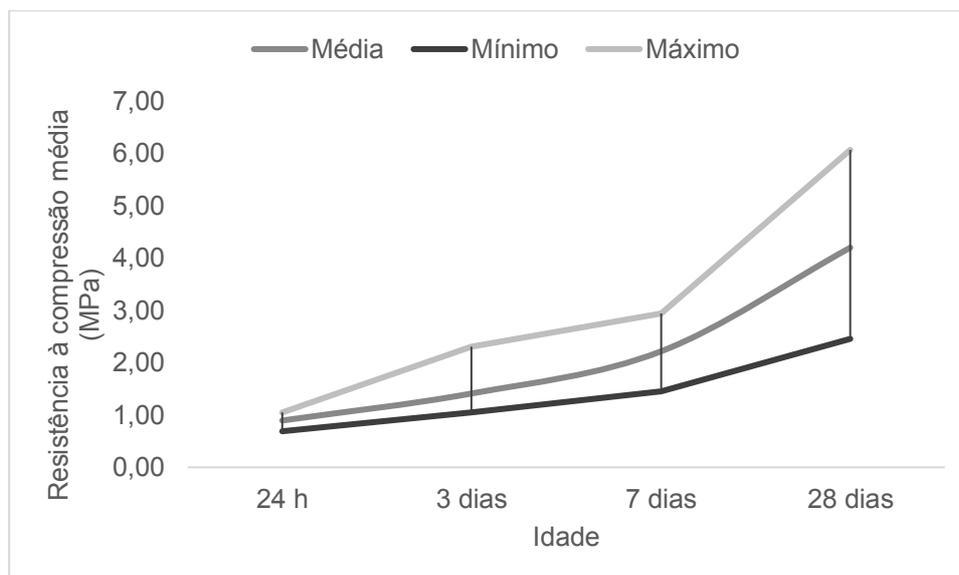


Figura 25 - Resistência à compressão média, mínima e máxima da dosagem 24



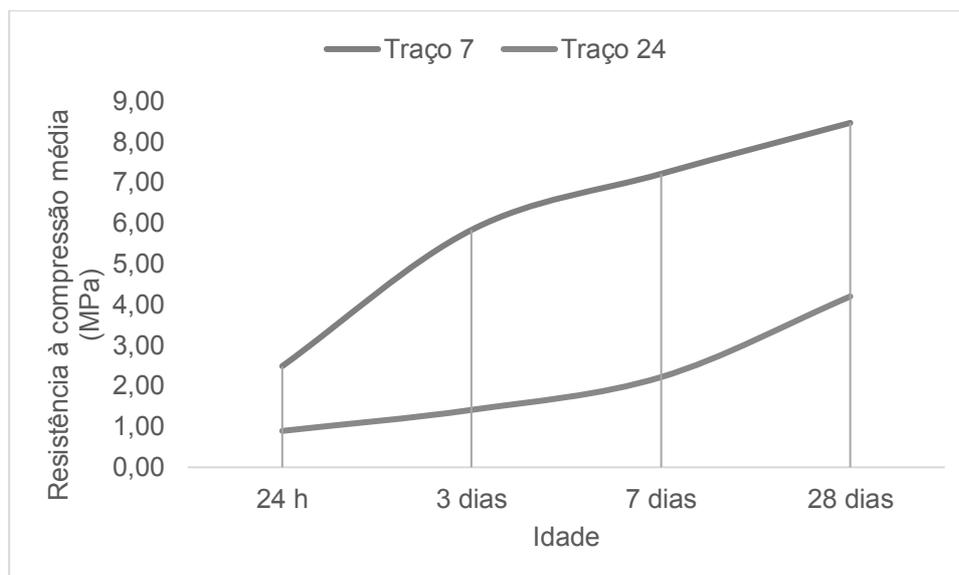
Ao analisar os valores médios obtidos para a compressão uniaxial da dosagem 7 é possível observar que em 24h a argamassa atingiu 29,4% da resistência aos 28 dias, aos 3 dias atingiu 68,9% e aos 7 dias chegou a 85,2%, mostrando que houve aumento progressivo com as idades.

Para a dosagem 24 a argamassa atingiu 21,2% da resistência aos 28 dias em 24 h, aos 3 dias atingiu 33,6% e aos 7 dias chegou a 52,9%, mostrando que houve aumento progressivo com as idades, porém em menores proporções que a dosagem 7.

É possível observar que as resistências médias do traço 7 foram maiores que as do traço 24 em todas as idades, conforme demonstrado na Figura 25, isso ocorreu porque na dosagem 7 a relação água cimento foi de 0,8, já na dosagem 24 foi de 1,2.

A dosagem 24, que possui maior quantidade de pó de pedra em seu traço apresentou resistência média menor que a dosagem 7, que possui cerca de 30% menos de pó de pedra.

Figura 26 - Resistência à compressão uniaxial das dosagens 7 e 24



4.2.4 Determinação da massa específica da argamassa

Nas Tabelas 15 e 16 são apresentados os resultados dos ensaios de massa específica das argamassas estudadas.

Tabela 15 - Determinação da massa específica da argamassa para o traço 7

Corpo-de-prova	M_s (g)	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	γ_{seca} (kg/m³)
CP 1	311,82	365,34	196,80	1850,12
CP 2	315,41	365,49	196,90	1870,87
CP 3	287,36	335,60	177,80	1821,04
Média (kg/m ³)				1847,34
Desvio padrão (kg/m ³)				25,03
Coef. Variação (%)				1,35

Legenda: γ_{seca} = massa específica seca da argamassa; M_s = massa seca da amostra; M_{sat} = massa saturada da amostra; M_{sub} = massa submersa da amostra

Tabela 16 - Determinação da massa específica da argamassa para o traço 24

Corpo-de-prova	M_s (g)	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	Y_{seca} (kg/m³)
CP 1	322,55	377,98	200,50	1817,39
CP 2	281,25	349,84	176,00	1617,87
CP 3	285,84	355,40	180,50	1634,31
Média (kg/m ³)				1689,85
Desvio padrão (kg/m ³)				110,75
Coef. Variação (%)				6,55

Legenda: γ_{seca} = massa específica seca da argamassa; M_s = massa seca da amostra; M_{sat} = massa saturada da amostra; M_{sub} = massa submersa da amostra

Os valores obtidos para a dosagem 7 apresentaram desvio padrão e coeficiente de variação baixos. A dosagem 24 apesar de apresentar valores maiores, ainda podem ser considerados valores baixos, o que transmite maior confiabilidade aos resultados.

O valor médio de massa específica da dosagem 7 é aproximadamente 10% maior que o valor médio da dosagem 24, sendo que ambos ficaram abaixo dos valores obtidos por Melo (2005). Isso pode ser justificado pelo fato da massa unitária da areia ser aproximadamente 15% maior que a do pó de pedra, sendo a dosagem 7 com 67% de areia e 33% de pó de pedra.

4.3 COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO

O custo unitário da água foi obtido junto à SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná, empresa responsável pela distribuição de água no Estado do Paraná. O custo unitário é de R\$ 3,37 por metro cúbico de água.

Os custos unitários dos outros insumos foram retirados da tabela do SINAPI (2016) para o Paraná, que utiliza como referência a cidade de Curitiba, para o mês de Setembro/2016, conforme a Tabela 17.

Tabela 17 - Preço Referência de Insumos PR 092016 Não Desonerado

Código	Descrição do insumo	Unid.	Origem de Preço	Preço Mediano (R\$)
00000369	Areia fina - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	m ³	C	54,000
00013408	Aditivo superplastificante de pega normal para concreto (tambor 200 kg)	kg	CR	8,677
00001379	Cimento Portland composto CP II-32	kg	CR	0,480
00004741	Pó de pedra (posto pedreira/fornecedor, sem frete)	m ³	CR	40,090

Legenda: C – para preço coletado pelo IBGE; CR – para preço obtido por meio do coeficiente de representatividade do insumo.

Fonte: SINAPI (2016)

O consumo de cada material para cada traço da argamassa foi calculado conforme o item 2.4, obtendo os resultados apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Consumo dos insumos para argamassa

Dosagem	Cimento (kg)	Areia (m³)	Pó de pedra (m³)	Água (m³)	Aditivo (kg)
7	383,98	0,512	0,301	0,307	4,224
24	323,91	0,216	0,507	0,389	5,507

A composição de custo unitário foi feita baseada no modelo da TCPO, porém sem os custos com máquinas e equipamentos e sem a mão de obra, avaliando apenas os custos dos insumos, como mostram as Tabelas 19 e 20.

Tabela 19 - Composição de custo unitário da dosagem 7

Insumos	Unidade	Consumo	Custo Unitário (R\$/un)	Custo (R\$)
Aditivo	kg	4,224	8,677	36,651
Água	m ³	0,307	3,374	1,036
Areia	m ³	0,512	54,000	27,622
Cimento	kg	383,984	0,480	184,312
Pó de pedra	m ³	0,301	40,090	12,051
			Total (R\$/m ³)	225,02

Tabela 20 - Composição de custo unitário da dosagem 24

Insumos	Unidade	Consumo	Custo Unitário (R\$/un)	Custo (R\$)
Aditivo	kg	5,507	8,677	47,781
Água	m ³	0,389	3,374	1,311
Areia	m ³	0,216	54,000	11,650
Cimento	kg	323,913	0,480	155,478
Pó de pedra	m ³	0,507	40,090	20,332
			Total (R\$/m ³)	188,77

O custo por metro cúbico de argamassa da dosagem 7 é aproximadamente 20% maior que o custo da dosagem 24. Isso acontece pelo fato da primeira ter seu consumo de cimento 19% maior que a segunda, além de consumir mais areia, insumo com custo unitário maior que o pó de pedra.

5 CONCLUSÕES

Após a realização dos ensaios para caracterização da areia que foi utilizada para o desenvolvimento dos ensaios para argamassa fluida foi possível concluir que a mesma pode ser classificada de muito fina, pela sua curva granulométrica, a fina, pelo seu módulo de finura. Sendo assim, há grande quantidade de material fino, o que é muito importante para argamassas fluidas.

Ao realizar os ensaios de espalhamento observou-se que uma argamassa que possua somente cimento, areia, água e aditivo não flui nas proporções ensaiadas. Nos ensaios em que foram feitas as substituições de areia por pó de pedra foi possível notar que utilizando uma maior quantidade de material mais fino há fluidez da argamassa.

Nos traços onde a substituição da areia por pó de pedra foi de um terço, obteve-se uma dosagem para argamassa fluida com relação água/cimento 0,8 e 1,1% de aditivo sem que houvesse segregação, com uma abertura de 30 x 30 cm, sendo nomeada como dosagem 7. Porém para os traços em que a substituição foi de dois terços foi necessária uma relação água/cimento 1,2 e 1,7% de aditivo para uma mesma abertura, mostrando que o pó de pedra absorve mais água de amassamento, dosagem nomeada como 24.

Após a realização dos ensaios de espalhamento, foram realizados dois ensaios de escoamento pelo funil de Marsh, obtendo o tempo de 29,97 s para a dosagem 7 e 27,35 s para a dosagem 24. O tempo médio de escoamento da dosagem 7 foi 10% maior que o tempo de escoamento da dosagem 24.

Para os ensaios de resistência à compressão, os resultados obtidos entre as duas argamassas foram bem diferentes, apresentando melhores resultados a dosagem 7, com menor relação água/cimento, relação que é inversamente proporcional à resistência, ou seja, quanto menor a relação água/cimento maior a resistência.

Os resultados obtidos para a resistência das argamassas não foram satisfatórios e não apresentaram confiabilidade, pois os valores de desvio padrão e de coeficiente de variação foram elevados. Além disso, os valores médios de resistência foram baixos, comparados às referências.

O custo por metro cúbico de argamassa obtido para a da dosagem 7 foi de R\$ 225,02, e para a dosagem 24 de R\$ 188,77, aproximadamente 20% menor, devido

a dosagem 7 consumir maior quantidade de cimento, material com valor mais significativo no custo.

Com a realização de todos os ensaios foi possível obter dois traços para argamassa fluida, cumprindo assim com o objetivo geral do trabalho. Os materiais utilizados foram analisados e pode-se dizer que são satisfatórios para argamassas fluidas. Porém os ensaios de resistência à compressão uniaxial deveriam ser refeitos conforme estabelece a NBR 12.041 (ABNT, 2012) para avaliar novamente os resultados obtidos.

Como sugestão para trabalhos futuros poderiam ser realizados novos ensaios com as mesmas dosagens para ver as variações dos resultados, analisando principalmente os resultados de resistência à compressão uniaxial. Há também a possibilidade de utilizar o presente trabalho como base para obter novas dosagens, com diferentes variações dos seus materiais.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997

_____. **NBR 7681-1**: Calda de cimento para injeção – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2013

_____. **NBR 7681-2**: Calda de cimento para injeção – Parte 2: Determinação do índice de fluidez e da vida útil – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009

_____. **NBR 12041**: Argamassa de alta resistência mecânica para pisos – Determinação da resistência à compressão uniaxial e tração por compressão diametral. Rio de Janeiro, 2012

_____. **NBR 13530**: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995

_____. **NBR 13753**: Revestimentos de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento. Rio de Janeiro, 1996

_____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2003

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

ALBUQUERQUE, Alexandre Serpa. **Materiais de construção**: novos materiais para construção civil. Capítulo 4. 5ª edição revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2008

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1708/C1708M-12**. Standard test methods for self-leveling mortars containing hydraulics ciments. West Conshohocken, 2012

CARASEK, Helena. **Materiais de construção civil**. Capítulo 26. 2ª Edição. São Paulo: IBRACON, 2010

CICHINELLI, Gisele. **Execução de contrapiso autonivelante industrial**. Técnica. São Paulo. Edição 192. Março, 2012

EFNARC (European Federation For Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems). **Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete**. Norflok, 2002

FRACALOSSO, Romulo Augusto Rigon. **Aditivos à base de policarboxilatos: influência nos tempos de pega e na manutenção do abatimento em pastas de**

cimento Portland. 2011. 70 f. Trabalho de Diplomação (Bacharelado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre

GRACE CONSTRUCTION PRODUCTS. **Tec flow: aditivo superplastificante para concreto**. Sorocaba, 2015

HARTMANN, Carine Toso. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland**. 2002. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo

HELENE, Paulo R. L.; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992

ITAMBÉ. **Apostila de ensaios de concretos e agregados**. 3ª Edição. Curitiba, 2011

ITAMBÉ. **Resumo das especificações da ABNT para o Cimento Portland**. Curitiba, 09/2016

MARTINS, Eliziane Jubanski. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa autonivelante**. 2009. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná. Curitiba

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

OLIVEIRA, Hélio Martins de. **Materiais de construção: novos materiais para construção civil**. Capítulo 3. 5ª edição revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2008

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo argamassa**. 2ª edição. Rio Grande do Sul: EDIPUCRS, 2012

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

SINAPI. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – Preço Referência de Insumos PR 092016 Não Desonerado**. Paraná: 09/2016

TCPO. **Tabelas de Composições de Preço para Orçamentos**. 14ª Edição. São Paulo: PINI, 2012

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