



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA - CT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
CIVIL

LUAN LUIZ FÉLIX DE MELO

DOSAGEM DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE PARA CONTRAPISO

**JOÃO PESSOA
2015**



LUAN LUIZ FÉLIX DE MELO

**DOSAGEM DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE PARA
CONTRAPISO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba.

Orientador(a): Prof. Givanildo Alves de Azeredo

JOÃO PESSOA

2015

FOLHA DE APROVAÇÃO

LUAN LUIZ FÉLIX DE MELO

USO DA ARGAMASSA AUTONIVELANTE PARA CONTRAPISO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 26/02/2015 perante a seguinte Comissão Julgadora.

Orientador: Prof. Dr. Givanildo Alves de Azeredo
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do
CT/UFPB

Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do
CT/UFPB

Prof. Dr. Paulo Germano Toscano
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do
CT/UFPB

Média: _____

Aprovado em: _____ de fevereiro de 2015

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil
Prof.^a Ana Cláudia F. Medeiros Braga

JOÃO PESSOA
2015

AGRADECIMENTOS

Na minha vida houve horas de desespero e incerteza quanto ao meu futuro, porém sempre tive pessoas que me incentivaram a persistir, batalhar e nunca perder o foco do meu objetivo: ser Engenheiro Civil. Por isso, quero agradecer primeiramente a Deus, por eu ter nascido com saúde e por Ele ter me dado a capacidade de enfrentar os obstáculos que enfrentei durante todo o curso; aos meus pais, Luiz e Giselda, por cada palavra e gesto de amor, nunca me deixando desanimar ou baixar a cabeça diante das dificuldades pelas quais passei; ao meu irmão, Albeny, pelos ensinamentos que me foram passados; à minha noiva linda, Jacyara, que compreendeu minhas ausências devido aos compromissos universitários e que nunca deixou de ser minha amiga e companheira e aos meus sogros que sempre me incentivaram; aos meus tios e primos, que acompanharam minha trajetória e sempre me guiaram para o caminho do bem; *in memoriam* aos meus avós, Albeny e Severina, que foram exemplos de vida para toda a família; enfim, a todos que foram essencial em minha formação profissional: professores, engenheiros, mestres de obra, colegas de trabalho e amigos da universidade, com os quais aprendi muito.

Agradeço ainda ao meu orientador professor Givanildo Alves de Azerêdo pela paciência e por cada ensinamento repassado a mim com plena certeza que todo o trabalho exercido iria ser concluído com sucesso. Ao mestrando Guilherme Urquiza que me ajudou a realizar os ensaios e com humildade repassou conhecimentos.

Deve ser ressaltado todo o apoio e aprendizado que tive através da empresa que trabalho Plane Nivelamento de Argamassa de forma a confiar nos serviços os quais me foram atribuídos.

RESUMO

A argamassa autonivelante é um material relativamente novo no mercado nacional e que vem sendo estudado há menos de 10 anos no país. Sendo assim, há poucos trabalhos voltados propriamente ditos a essa argamassa de modo que os pontos fundamentais são coesão, fluidez e resistência a segregação e exsudação através do estudo das pastas de cimento compostas por também adições, aditivos e água. O contrapiso produzido de maneira convencional é uma das etapas da obra que consome mais tempo e que “atrapalha” o andamento de outros serviços para edificações de grande porte pelo fato de necessitar de um volume alto de material e de rápido transporte deste. Com isso, a argamassa autonivelante vem de modo a dar velocidade a esta etapa de maneira que essa é usinada e bombeada necessitando de poucas pessoas para a execução. O estudo dos materiais componentes e da reologia é de essencial importância pela questão de que cada um confere propriedades diferentes a matriz, tendo que avaliar uma gama de dosagens para se chegar até a ideal. Nesse contexto, a pesquisa dá ênfase às pastas cimentícias com fíler e superplastificante buscando obter traços que dêem resultados ótimos através de ensaios com o *mini-slump* e o funil de Marsh para assim criar uma dosagem ótima de argamassa autonivelante analisando a capacidade de fluir e a resistência à segregação e exsudação com o *Slump Flow Test*. Também é abordado o processo executivo do contrapiso autonivelante mostrando em etapas cada serviço e dando recomendações que foram fornecidas pela empresa Plane Nivelamento de Argamassa. Dessa maneira, a pesquisa busca trazer conhecimentos específicos para trabalhos posteriores dando conceitos e fundamentos a respeito da argamassa autonivelante.

Palavras-chave: Argamassa autonivelante. Pasta cimentícia. Aditivo Superplastificante. Fíler Calcário. Dosagem. Segregação. Exsudação.

SUMÁRIO

1) INTRODUÇÃO	10
2) OBJETIVOS DO TRABALHO	13
2.1) Objetivo Geral	13
2.2) Objetivo Específico	13
3) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1) Justificativas	14
3.1.1) Justificativa Tecnológica	14
3.1.2) Justificativa Econômica	15
3.1.3) Justificativa Ambiental	16
3.2) Reologia.....	16
3.2.1) Viscosidade	17
3.2.2) Tipos de comportamento reológico e suas principais causas.....	18
3.2.3) Fatores que influenciam o comportamento reológico.....	20
3.3) Contrapiso de Argamassa Autonivelante	22
3.2.1) Reologia da Argamassa Autonivelante.....	23
3.3.2) Composição da Argamassa Autonivelante	24
3.3.2.1) Cimento	24
3.3.2.2) Água	25
3.3.2.3) Agregado miúdo.....	25
3.3.2.4) Adições.....	26
3.3.2.4.1) Fíler Calcário	26
3.3.2.5) Aditivos	27
3.3.2.5.1) Superplastificantes.....	28
3.3.3) Execução do Contrapiso Autonivelante.....	31
3.3.3.1) Logística.....	31
3.3.3.2) Preparação do substrato.....	33

3.3.3.3) Montagem dos equipamentos e emestramento.....	34
3.3.3.4) Lançamento e Acabamento	35
4) MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
4.1) Seleção dos Materiais	38
4.1.1) Cimento.....	38
4.1.2) Água.....	38
4.1.3) Agregado Miúdo	38
4.1.4) Fíler Calcário	39
4.1.5) Aditivo Superplastificante	39
4.2) Descrição dos Ensaios	40
4.2.1) Cone de Marsh	40
4.2.2) Mini-Slump.....	40
4.2.3) Materiais e métodos utilizados para o cone de Marsh e o <i>mini-slump</i>	42
4.2.4) <i>Slump Flow test</i> e <i>Slump Flow T50cm test</i>	44
4.2.5) Materiais e métodos para dosagem ideal de argamassa autonivelante	46
5) APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	48
5.1) Estudo em pasta.....	48
5.2) Análise do agregado miúdo	48
5.3) Dosagens de Argamassa Autonivelante	49
6) CONCLUSÃO	52
6.1) Sugestões para trabalhos futuros	53
REFERÊNCIAS	54
APÊNDICE A – ESTUDO DAS PASTAS.....	57
APÊNDICE B – DOSAGENS DE ARGAMASSA	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 – Formulação trazida pela empresa HOBIMIX da cidade de Valência ES	11
Figura 02 – Trabalho de correção no contrapiso que fissurou e fofou.....	12
Figura 03 – Representação esquemática para definição de viscosidade segundo modelo de Newton	17
Figura 04 – Representação esquemática para definição de viscosidade segundo modelo de Newton	19
Figura 05 – Reprodução esquemática indicando o efeito da perturbação causada pela presença de partículas esféricas sobre as linhas de fluxo de um fluxo submetido ao cisalhamento: (a) isento, (b) contendo partícula.	21
Figura 06 - Efeito do formato das partículas na viscosidade da mistura.	22
Figura 07 – Flocculação entre as partículas de cimento.....	29
Figura 08 – (a) Micrografia de partículas de cimentos em suspensão água-cimento; (b) micrografia do sistema com presença de aditivo.....	30
Figura 09 – Representação esquemática de uma pasta de cimento Portland-água com aditivo superplastificante.	30
Figura 10 – Lançamento de argamassa autonivelante para um pavimento.	32
Figura 11 – Bomba auxiliar.....	32
Figura 12 – Materiais para limpeza do substrato.....	33
Figura 13 – Divisões de áreas molhadas	34
Figura 14 – Mangueiras ou mangotes utilizadas para o bombeamento.....	34
Figura 15 – Nivelamento a laser.....	35
Figura 16 – Niveleta ou nivelete.	35
Figura 17 – Lançamento da argamassa.....	36
Figura 18 – Processo de acabamento.....	37
Figura 19 – Cone de Mini-slump.....	41
Figura 20 – Tendência à segregação representado pela espessura da pasta. (a) pasta com bordas espessas e coesas; (b) pasta com tendência a segregação.	41
Figura 21 – Tendência a segregação representado pela uniformidade da pasta.	42
Figura 22 – <i>Slump Flow Test</i> em argamassa autonivelante.....	45
Figura 23 – <i>Slump Flow T50cm Test</i>	45
Figura 24 – <i>Slump Flow Test do ensaio 1</i>	49
Figura 25 – Ensaio 7 da argamassa autonivelante ideal	51

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01 - Comparativo de Custos	16
Tabela 02 - Tabela do Programa Experimental	44
Tabela 03 - Tabela de Resultados do Programa Experimental.....	48
Tabela 04 - TUM utilizados	50
Tabela 05 – Traço em Massa e resultados dos ensaios <i>Sump Flow Test</i> e <i>Slump Flow T50cm Test</i>	50

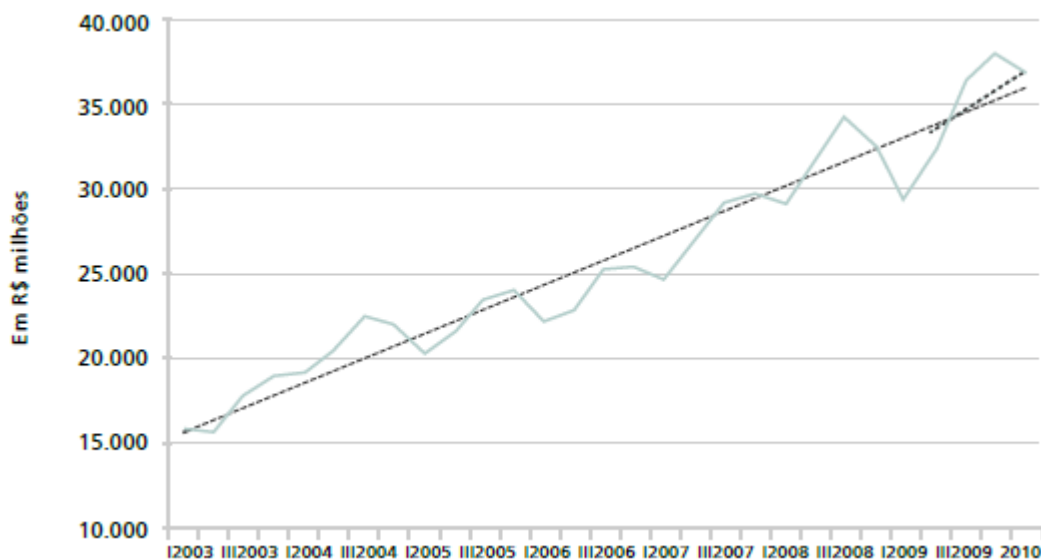
1) INTRODUÇÃO

O Brasil, após uma tentativa de implantar o Projeto Moradia – o qual foi formulado por um conjunto de técnicos da área de habitação e urbanismo, reunidos no Instituto Cidadania, uma ONG presidida por Lula –, durante a Ditadura Militar (1964-1984) passou por um processo de formulação de ideais no setor da construção civil quanto ao financiamento de habitações para a população da classe média e de baixa renda. (CARTA et. al, 2008)

Mais tardar, do ano de 2003 até os dias hodiernos, houve uma ascensão exorbitante da construção civil (Gráfico 01) na área da habitação populacional e de obras pesadas de infraestrutura por todo o país devido os investimentos no PAC e no financiamento de imóveis para as famílias de baixa e média renda. O que foi um marco do governo que assumiu por todo esse período. (CARTA et. al, 2008)

No fim de 2008 eclodiu a crise no setor da construção civil norte-americana de modo que causou pouco impacto sobre os planos de infraestrutura dos países em desenvolvimento. No terceiro trimestre de 2009 o governo brasileiro tomou medidas para a recuperação da economia como, por exemplo, desoneração tributária de alguns materiais de construção, a expansão do crédito para habitação, o programa Minha Casa, Minha Vida e o aumento dos recursos para o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). (FILHA et. al, 2010)

Gráfico 01 – Evolução trimestral da Construção Civil no Brasil

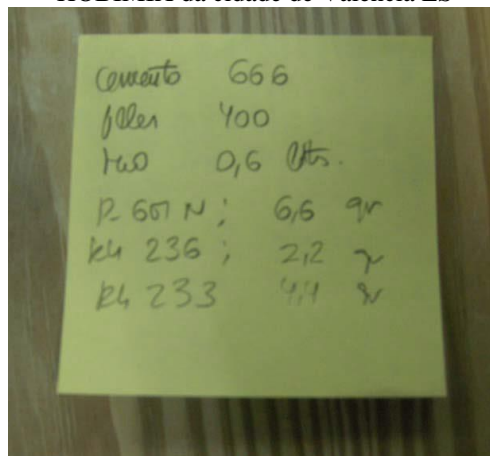


Fonte: IBGE apud FILHA et. al. (2010)

Durante esses períodos de alta no setor da construção muito capital estrangeiro e das grandes e pequenas empresas nacionais começaram a serem investidos no ramo de maneira acentuada. Devido à mão de obra qualificada não atender às necessidades do mercado, muitos métodos estavam sendo criados ou estudados para que houvesse facilidade de execução dos serviços concernentes às edificações e obras de infraestrutura para evitar retrabalhos e desperdícios de materiais.

Dessa forma, um dos materiais dos subsetores no ramo da construção de edificações, o contrapiso, que foi implantado no Brasil para facilitar e agilizar o processo de execução foi a chamada argamassa autonivelante. Segundo Martins (2009), a argamassa autonivelante começou a ser estudada por empresas e pesquisadores no ano de 2008 no Brasil, sendo que suas primeiras formulações utilizadas no país foram vindas da Europa. A Figura 02 representa um dos traços trazidos através da empresa brasileira HOBIMIX para aprimoramentos e estudos para os materiais existentes no país.

Figura 01 – Formulação trazida pela empresa HOBIMIX da cidade de Valência ES



Cimento	666
Areia	400
Água	0,6 lts.
P. 601 N;	6,6 gr
K4 236;	2,2 gr
K4 233	4,4 gr

Fonte: HOBIMIX (2008)

Os materiais utilizados para a obtenção da argamassa em questão visa uma fluidez necessária sem que haja a segregação do material. O alvo da utilização do material é segundo Martins (2009) “permitir uma moldagem adequada, isenta de defeitos oriundos da falha de aplicação ou de técnica inadequada de moldagem, sem uma grande exigência na qualificação do operário.” Tendo este conceito quanto ao uso da argamassa autonivelante a dosagem ideal visa acabar com os retrabalhos oriundos das falhas do material, como por exemplo, mostrado na Figura 2 na qual se teve que escarear o contrapiso em locais que houve fissura e estava em estado “fofo”, apresentando descolamento, para ser implantado um novo contrapiso (Figura 02).

Figura 02 – Trabalho de correção no contrapiso que fissurou e fofou.



Fonte: Arquivo Pessoal (2014)

2) OBJETIVOS DO TRABALHO

2.1) Objetivo Geral

O objetivo principal do trabalho é obter uma dosagem de argamassa autonivelante através do estudo de pastas cimentícias.

2.2) Objetivo Específico

- a) Analisar a influência do SP e do fíler calcário no controle da exsudação e segregação da pasta e da argamassa;
- b) Espalhamento da pasta e da argamassa;
- c) Perda de abatimento da pasta ao decorrer do tempo.

3) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A argamassa pode ser conceituada como um material constituído essencialmente de materiais inertes de baixa granulometria (agregados miúdos) e de uma pasta com propriedades aglomerantes, composta por minerais e água (materiais ativos), podendo ser composto por aditivos. (SABBATINI, 1986)

O estudo sobre a argamassa autonivelante teve seu início na década de 70, porém somente em 1999 algumas empresas Espanholas começaram a testar materiais e métodos para a confecção desse novo material. (ORTEGA, 2003)

A argamassa autonivelante, também conhecida como autoadensável, ou até mesmo autoescoante, é um material relativamente novo no Brasil, e que começou a ser estudada por empresas de construção civil e pesquisadores no início de 2008 no país. (Martins, 2009)

No Brasil, as primeiras utilizações do produto datam de 1990 e, na Europa, onde foi criado, o método data da década de 1980. Atualmente, empreendimentos comerciais, industriais e projetos de equipamentos urbanos - como o estádio do Maracanã - estão utilizando a solução. Mas apesar de seu uso em obras expressivas, o desconhecimento da tecnologia ainda é o maior fator impeditivo para a análise criteriosa do seu custo-benefício. (CICHINELLI, 2012)

Com base científica, eis que serão esclarecidas justificativas a fim de desmistificar a argamassa autonivelante, de modo que venha a contribuir para futuras propostas de empresas do segmento para construtoras que ainda não conhecem o produto ou que possuem pouco conhecimento a respeito.

3.1) Justificativas

A argamassa autonivelante ainda causa muita desconfiança por meio das empresas quanto às suas características. Com isso, dar-se-ão justificativas de modo a esclarecer a credibilidade desse novo material que vem entrando aos poucos no mercado nacional.

3.1.1) Justificativa Tecnológica

O estudo da argamassa autonivelante é de alta significância para futuras normas e aplicações pelo fato de ser um material relativamente novo no mercado e que ainda deixa

muitos clientes duvidosos em relação à sua durabilidade, capacidade de aderência à laje, a fixação posterior do piso sobre o contrapiso e também quanto a prováveis patologias.

Segundo Martins (2009), para apresentar um pouco das vantagens da utilização da argamassa autonivelante, NAKAKURA (1997) e TUTIKIAN et. al. (2008) citam algumas, como por exemplo:

- A espessura do piso/contrapiso pode ser reduzida a apenas 5,0 mm a 10 mm, o que significa uma ótima redução no peso próprio e no consumo de cimento (diferente do que as empresas locais costumam utilizar como espessura mínima, que é de 25mm);
- A tendência à fissuração também é reduzida praticamente a zero, com o acréscimo de aditivos químicos retentores de água e fibras orgânicas;
- As ondulações ficam restringidas apenas às que podem ocorrer na superfície de um líquido viscoso e, pela ação da gravidade sobre um líquido, a horizontalidade e a redução significativa de patologias ficam plenamente garantidas;
- Na questão de produtividade, a argamassa autonivelante também tem vantagem sobre a argamassa convencional, já que o material é considerado fluido e sua aplicação consiste em literalmente “esguichar” esse material sobre o substrato ou a lona plástica sem a necessidade de desempenar e ainda garantindo a total horizontalidade do contrapiso;
- O tempo para a execução do piso/contrapiso também tem uma redução significativa e pode decorrer a um ritmo de 50 a 100 m²/h por homem;
- Torna o local de trabalho mais seguro, já que há uma diminuição considerável no número de trabalhadores;
- A cura da argamassa autonivelante é extremamente rápida, causada pelo tipo de cimento (CP V ARI-RS) e a combinação de aditivos e adições, sendo que após decorridos 2 a 3 horas da sua aplicação já é possível pisar em sua superfície;
- A textura também é extremamente fina, já que a argamassa autonivelante contém uma grande quantidade de agregados com dimensões máximas características inferiores a 0,60mm, inserida numa matriz rica em cimento, dispensando até alguns tipos de selantes adicionais.

3.1.2) Justificativa Econômica

Quando se fala na implementação de um produto novo no mercado, seu preço deve entrar neste de forma competitiva não deixando de prezar pela qualidade final. De maneira a demonstrar a eficiência econômica do material, Ortega (2003) fez um estudo comparativo entre métodos tradicionais e a argamassa autonivelante para o contrapiso. Através deste, o autor fez uma média dos custos envolvidos entre os dois e avaliou como consta na Tabela 1.

Tabela 01 - Comparativo de Custos

DESCRIÇÃO	CUSTOS (R\$/m ²)	
	MÉDIA DOS TRÊS MÉTODOS	AUTO-NIVELANTE
Mão de Obra	16,13	3,00
Argamassa	6,12	16,57
Argamassa Cola	0,39	1,16
Cama de Areia	0,74	0,48
Junta Perimetral	0,39	1,46
Gabaritos	1,78	0,53
Custos Indiretos	2,85	1,87
TOTAL	28,39	25,07

Fonte: Martins (2009) *apud* Ortega (2003)

Como apresentado na tabela acima, vê-se uma economia em torno de 12% por metro quadrado acabado dando uma margem boa de lucratividade quanto ao serviço aplicado.

3.1.3) Justificativa Ambiental

Algumas empresas que trabalham com a argamassa autonivelante utilizam resíduos industriais como adições, de forma a melhorar as características da pasta e reduzir o consumo de cimento, que são a sílica ativa, cinza volante, escória de forno, cinza de casca de arroz etc. Assim, dessa maneira, pode-se aliar um melhoramento da argamassa com a sustentabilidade ambiental.

3.2) Reologia

A palavra reologia vem do grego (*rheo* = fluxo, e *logos* = estudo), sendo sugerida pela primeira vez por Bingham e Crawford em 1928, para descrever o fluxo, no caso de materiais líquidos, e deformação no caso de materiais sólidos.

A reologia estuda as deformações e o fluxo dos materiais quando submetido a tensões em determinadas condições termodinâmicas durante um intervalo de tempo, além das propriedades dos materiais quanto à sua elasticidade, viscosidade e plasticidade.

Pelo fato dos materiais constituintes dos fluidos apresentarem divergentes formas geométricas, características diversas de ligação e tamanhos variados, cada um terá comportamento distinto. Dessa forma, a reologia confere o estudo do escoamento e deformação da matéria.

Assim, a reologia tem sua importância no dimensionamento de equipamentos como bombas e tubulações, agitadores, trocadores de calor, homogeneizadores etc. e também no controle de qualidade do produto (intermediário e final) e na verificação do prazo de validade (alimentos, cosméticos).

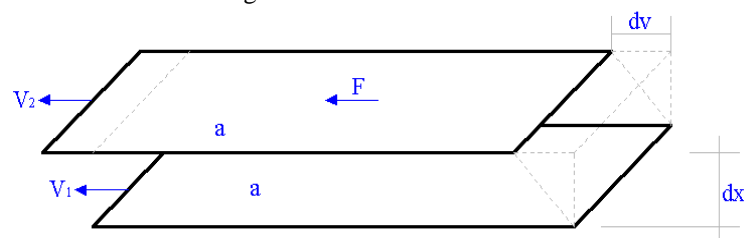
Pelo fato de necessitar de um maior detalhamento a respeito do conteúdo, que diz respeito à reologia, será explicitado um pouco dos fluidos existentes para que haja uma maior compreensão do comportamento destes e assim enquadrar a argamassa autonivelante numa determinada classificação buscando obter mais *know-how* a respeito do material abordado neste trabalho.

3.2.1) Viscosidade

Isaac Newton no ano de 1667 quem deu o primeiro conceito de viscosidade. (MACKOSKO, 1982) Desse modo, Oliveira et. al. (2000) descreveu este da seguinte maneira:

Composto por duas lâminas paralelas de fluidos (Figura 03) com área igual a "a", separadas por uma distância muito pequena denominada "dx", e movidas na mesma direção com velocidades diferentes denominadas "V1" e "V2", sob a ação de uma força externa "F" a uma das lâminas de fluido. Em virtude dessa diferença de velocidade (dv), o volume de fluido contido entre as lâminas é submetido a uma solitação de cisalhamento simples, onde a taxa de deformação equivale ao gradiente de velocidade ao longo da distância "dx" e é conhecida como taxa de cisalhamento ($\gamma = dv/dx$).

Figura 03 – Representação esquemática para definição de viscosidade segundo modelo de Newton



Fonte: OLIVEIRA et. al, 2000.p.11.

Assim, surge uma tensão (τ) sobre cada placa que pelos conceitos básicos da física é a força aplicada sobre uma respectiva área de um dado material. Sendo esta a tensão de cisalhamento que é composta por forças aplicadas com direções iguais sobre uma área de um corpo material, sendo estas tangenciais a superfície.

A tensão de cisalhamento é definida pela equação de Newton (Equação 01)

$$\tau = \frac{F}{a} = \eta \times \frac{dv}{dx} = \eta\gamma \quad (\text{Equação 01})$$

τ - Tensão de Cisalhamento (N/m² = Pa);

F - Força (N);

a - Área (m²);

η - Viscosidade (Pa.s);

γ - Taxa de Cisalhamento (s⁻¹);

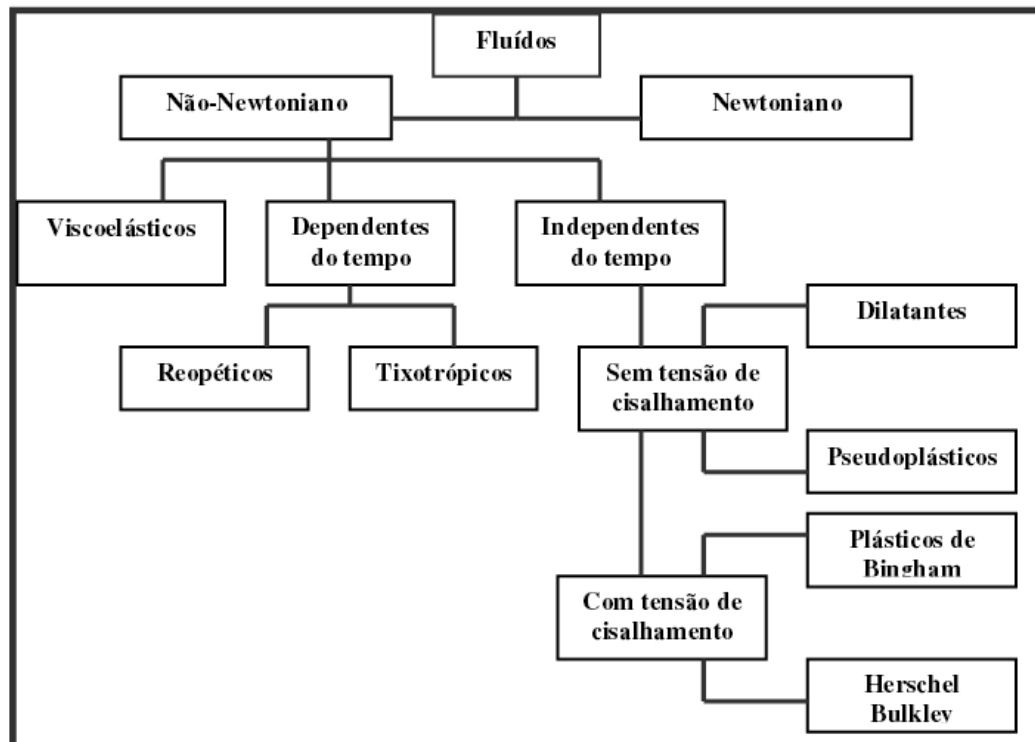
dv - Diferença de velocidade (m/s).

Sabe-se que quanto maior a viscosidade de um fluido maior é a resistência deste ao deslocamento. Com isso, dá-se o conceito de viscosidade a resistência ao movimento pelo fluido quando uma camada deste se move em relação a uma subjacente, de forma que se pode dizer que é a propriedade que determina o valor de sua resistência ao cisalhamento.

3.2.2) Tipos de comportamento reológico e suas principais causas

Os fluidos, segundo Newton, foram caracterizados de maneira que os deslocamentos destes apresentam comportamento linear com a tensão aplicada, não dependendo da taxa de cisalhamento. São exemplos desses fluidos os líquidos puros, soluções diluídas e suspensões diluídas com líquidos newtonianos. Todavia, a grande parte não se comporta de tal maneira, de forma que a viscosidade depende da taxa de cisalhamento, podendo aumentar ou diminuir, ou ainda, no caso da taxa de cisalhamento constante, variar com o tempo. Estes são denominados fluidos não-newtonianos. (SILVA, 2003)

Figura 04 – Representação esquemática para definição de viscosidade segundo modelo de Newton



Fonte: STEFFE, 1996

Os fluidos não-newtonianos, como apresentados na Figura 04, são classificados em viscoelásticos, dependentes do tempo e independentes do tempo de cisalhamento. Abaixo serão apresentadas as definições de cada um desses e dos subgrupos de modo a explicitar de modo sucinto as suas características.

Os fluidos viscoelásticos são os que apresentam comportamento de sólido por ter elasticidade e de líquido de modo a mostrar viscosidade, ou seja, retornam parcialmente ao seu formato original quando a tensão exercida é removida.

Fluidos dependentes do tempo têm comportamentos que oscilam com o tempo de aplicação da tensão de cisalhamento. Classificam-se em:

- i. Tixotrópicos: a viscosidade diminui com o tempo de aplicação da tensão de cisalhamento, ficando mais viscosos com quando esta cessa.
- ii. Reopéticos: a viscosidade aumenta com o tempo de aplicação da tensão, retornando à viscosidade inicial quando esta força é anulada.

Fluidos independentes do tempo são os que não têm seu comportamento variado a maneira que se aplica a tensão de cisalhamento. São eles:

- i. Sem tensão de cisalhamento inicial: são fluidos que não necessitam de tensão de cisalhamento para que haja escoamento. Subdivide-se em dilatantes e pseudoplásticos.

Dilatantes: apresentam um aumento de viscosidade aparente (é aquela medida em um único ponto e com cisalhamento constante) com aumento da taxa de cisalhamento.

Pseudoplásticos: viscosidade decresce com o aumento da taxa de cisalhamento em escoamentos cisalhantes estacionários.

- ii. Com tensão de cisalhamento inicial: necessita de aplicação de uma certa tensão de cisalhamento para que haja deformação pelo fato de possuir uma estrutura interna que impede a movimentação.

Herschel-Bulkley: assim que a tensão de cisalhamento é atingida, para que haja o escoamento, esse fluido não apresenta uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação.

Plásticos de Bingham: segundo Martins (2009) são os fluidos que “quando as forças externas são suficientemente fortes para superar as forças de ligação entre as partículas é que a estrutura entra em colapso, ocorrendo uma mudança de posição irreversível, isto é, o sólido modifica-se em um líquido”.

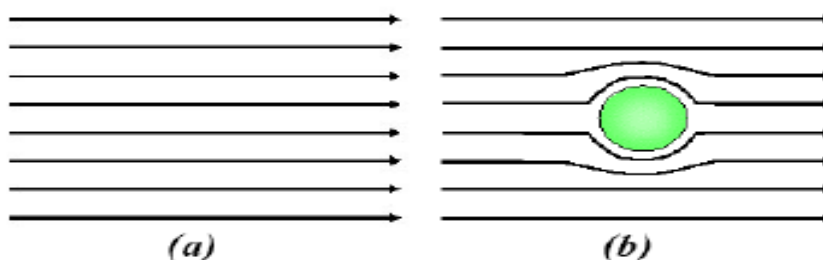
3.2.3) Fatores que influenciam o comportamento reológico

As argamassas autonivelantes são constituídas de cimento, areia, aditivos, adições e água. Desse modo, pode-se considerar que os agregados ficam em suspensão em pasta de cimento mesmo que, segundo Castro (2007), a pasta de cimento não seja considerada como um líquido homogêneo.

Segundo OLIVEIRA et. al. (2000, p.13), as suspensões de partículas são "*misturas do tipo sólido/ líquido formadas por um conjunto de partículas distribuídas de forma relativamente uniforme através de um meio líquido, sem que haja dissolução significativa do material particulado em função do tempo*".

As suspensões dos agregados, em um dado fluxo de um líquido, ocasionam em perturbações deste dificultando o caminho natural ao qual o líquido faria. Assim, a concentração de sólidos influenciará no comportamento relativo a viscosidade do material em questão (Figura 05).

Figura 05 – Reprodução esquemática indicando o efeito da perturbação causada pela presença de partículas esféricas sobre as linhas de fluxo de um fluxo submetido ao cisalhamento: (a) isento, (b) contendo partícula.



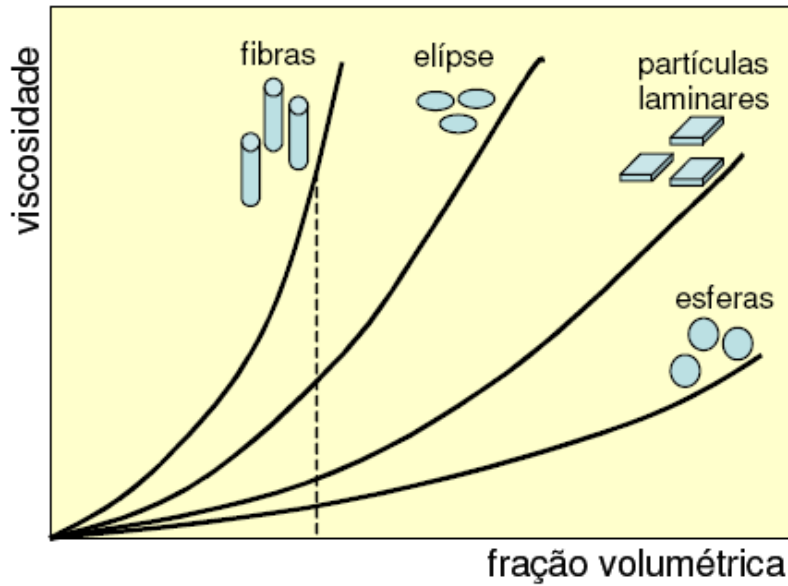
Fonte: OLIVEIRA et. al. 2000,p.13

Uma concentração inferior a 5% de agregados em suspensão fará com que as partículas sólidas tenham pouco atrito, fazendo com que a viscosidade seja constante em relação a taxa de cisalhamento, agindo como um fluido newtoniano. Como em argamassas autonivelantes tem-se uma alta concentração de agregados, as partículas sólidas se colidirão com alta frequência e interagirão entre si dependendo de características físicas das partículas (granulometria, densidade, área específica) e de interação (atração e repulsão). (Martins 2009 *apud* Oliveira et. al. 2000)

A granulometria, área superficial e a morfologia das partículas da argamassa influenciam diretamente no escoamento. Quanto mais finas as partículas, tem-se uma área superficial alta, fazendo com que as argamassas tendam a possuir um aumento da tensão de escoamento e da viscosidade. Segundo Pileggi (2001), quanto maior a irregularidade das partículas maior será a viscosidade. Partículas com formato arredondado e pouco alongado são benéficas para o fluxo das suspensões.

A Figura 06 apresenta curvas que relacionam a fração volumétrica e a viscosidade de uma mistura quanto à morfologia das partículas. A partir dessa, nota-se que para a matriz da argamassa autonivelante as partículas arredondadas são as que se enquadram no propósito da utilização do material.

Figura 06 - Efeito do formato das partículas na viscosidade da mistura.



Fonte: Silva (2006)

Outros componentes que estão diretamente relacionados ao escoamento da argamassa autonivelante são os aditivos que proporcionam uma maior ou menor fluidez dependendo de qual aditivo e a proporção que serão utilizados na suspensão.

3.3) Contrapiso de Argamassa Autonivelante

Na construção de edificações, geralmente não se dá atenção adequada para subsistemas construtivos, desde a não elaboração de projetos quanto a uma fiscalização da execução destes como há em estruturas. Alvenarias, revestimentos, construção do canteiro de obras e elaboração de traços de argamassas e concretos *in loco* para usos gerais são exemplos de serviços que não recebem a atenção devida.

Uma das atividades que se encaixa no que foi especificado anteriormente é o contrapiso. Segundo Barros (1991) é “encarada como uma atividade secundária, não é contemplada como um projeto específico e é deixada ao domínio do operário que na maioria das vezes não considera nenhuma das variáveis intervenientes no processo de produção de um contrapiso, como por exemplo: suas funções, o tipo de revestimento que irá receber, os materiais disponíveis para sua execução, a base sobre a qual será executado e as solicitações de uso”.

Pelo fato de haver uma ascensão exorbitante na construção civil nas duas últimas décadas e essas questões do não acompanhamento de vários serviços, pelo fato de se seguir

cronogramas com rigor, várias tecnologias são desenvolvidas ou aprimoradas de maneira que agilizam bastante cada subsistema construtivo.

O contrapiso feito com argamassa autonivelante surgiu com o intuito de deixar o serviço de maneira prática, ágil e evitando ao máximo desperdício de mão-de-obra e de tempo, pois ao invés de utilizar vários funcionários de diversos setores de uma construção de edifícios, como guincheiro, betoneiro, ter disponibilidade para estocagem de material, evitar perdas de material ou roubo deste e minimizar o risco de acidentes, além de todo o processo de execução, esse tipo de tecnologia funciona com uma equipe enxuta.

A argamassa autonivelante é um material que tem sua característica principal a alta capacidade de fluir com coesão entre os seus materiais constituintes e se modelar de acordo com o substrato ao qual será assentado, diferenciando-se da argamassa convencional que deve ser trabalhada para se adequar à forma desejada que se pretende chegar.

3.2.1) Reologia da Argamassa Autonivelante

A argamassa autonivelante é composto por material sólido (cimento e agregados) e líquido (água e aditivos). Quando esses compostos são misturados formam uma mistura de pasta de cimento (líquido) com os agregados (partículas sólidas). Sendo assim, como a argamassa autonivelante é um material que apresenta um fluxo quando submetido a tensão de cisalhamento, cabe-se a este o estudo da reologia que é de fundamental importância para a compreensão do comportamento desse material.

A argamassa apresentada é uma suspensão de partículas de modo que seu comportamento quanto à viscosidade depende diretamente dos agregados que estão na sua composição tanto na sua proporção adicionada quanto às suas formas e granulometria. Como já explicitado, quanto maior a quantidade de agregado no traço maior serão os choques entre as partículas dos agregados aumentando a resistência ao escoamento, sendo da mesma forma quando tiver uma granulometria bem graduada e partículas não arredondadas.

A água é adicionada de modo a distanciar as partículas dos agregados para permitir que haja escoamento e diminuição da viscosidade conferindo a característica da argamassa. Da mesma maneira acontece com os aditivos quando adicionados à argamassa distanciando as partículas de cimento através da repulsão estérica e eletrostática que será abordada em um item posterior.

Vale salientar ainda que fatores como temperatura, características físicas das partículas, tipo de interação entre as partículas, tipo de aditivo e adição influenciam

diretamente na maneira da argamassa autonivelante se comportar. Segundo Martins (2009), as argamassas autonivelantes podem ser consideradas como plásticos de Bingham.

3.3.2) Composição da Argamassa Autonivelante

A argamassa autonivelante além dos componentes convencionais das argamassas como, por exemplo, água, cimento e areia, devem conter aditivos e adições que conferem fluidez e coesão ao material no estado fresco. Através de estudos a respeito de empresas nacionais que utilizam tal material foi constatado que os aditivos geralmente utilizados são superplastificantes e a adição comumente usada é o fíler calcário.

Deste modo, de maneira geral serão apresentadas as características que irão definir o funcionamento dos componentes presentes na formulação da argamassa autonivelante para ter conhecimento do porquê, ao se adicionar os devidos produtos à argamassa, irá se comportar de uma devida forma quanto à resistência ao escoamento.

3.3.2.1) Cimento

Segundo Metha e Monteiro (2008) A ASTM (*American Society for Testing and Materials*) C 150 define cimento Portland como um “cimento hidráulico produzido pela moagem de clínqueres constituídos essencialmente por silicatos de cálcio hidráulicos e uma pequena quantidade de uma ou mais formas de sulfato de cálcio.”

A escolha do cimento interfere nas propriedades da argamassa no estado fresco pelo fato deste apresentar divergências quanto à sua composição e finura, tendo de fato autores que expõem que esta segunda se relaciona mais com a capacidade de fluência apresentando maior coesão para cimentos mais finos. Fiorentin (2011) *apud* Tutikian e Dal Molin (2008) explicita que quanto mais fino for o cimento maior o consumo de água e como consequência esses fatores diminuem a tensão de escoamento e aumentam a coesão da mistura.

A área específica do cimento, que também está relacionada a finura, definirá a quantidade de aditivo ao qual será empregado no traço. Assim, a medida que se aumenta a área específica do cimento será acrescido um teor a mais de aditivo.

Por existirem poucos trabalhos relativos a dosagens para argamassa autonivelante por metro cúbico – pois esta é encomendada em caminhões betoneiras dosada em usinas –, para o concreto auto adensável através de várias fontes constatou-se que o consumo de cimento é de 350 a 550 kg/m³. (KHAYAT, HU e MONTY, 1999; ERNARC e GOMES, 2002; WESTERHOLM, 2003; LISBOA, 2004) Segundo Gomes e Silva (2009) *apud* Paumgarten

(2010) esse consumo varia, de acordo com a adição, de 200 a 450 kg/m³ tendo cuidados maiores com a retração em caso desse valor exceder 500 kg/m³.

3.3.2.2) Água

A relação a/c é o que define a quantidade de água em concretos, argamassas e pastas. A diminuição da viscosidade e da tensão limite de escoamento é dada a partir de um acréscimo de água a um desses materiais citados, de forma que a partir de certa quantidade de água na mistura esta vai perdendo coesão levando a segregação. Por isso, são utilizados os aditivos redutores de água para obtenção de uma argamassa ideal.

A água não necessariamente deve ser própria para o consumo humano, até pelo fato de que várias localidades do mundo há uma insuficiência desse bem tão valioso. O que é recomendado para a avaliação quanto ao uso da água de amassamento de uma fonte desconhecida é comparar o tempo de pega do cimento e a resistência de corpos-de-prova de argamassa com o uso da água limpa. Outra questão relevante é que a qualidade da água de amassamento não é um fator expressivo para dar a resistência do concreto. (Mehta e Monteiro, 2008)

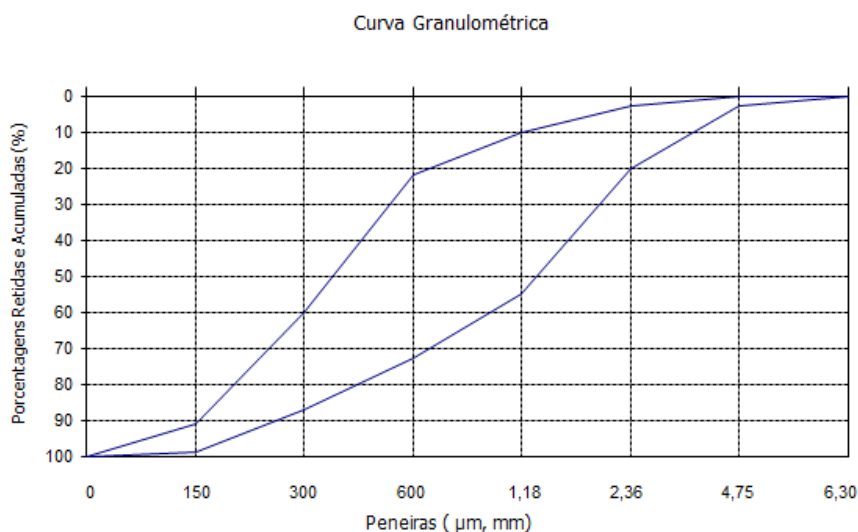
3.3.2.3) Agregado miúdo

Para a obtenção de uma fluidez adequada de modo que a argamassa tenha coesão suficiente para ser utilizada, recomenda-se por autores que os agregados miúdos sejam retirados de fontes naturais por apresentarem formas mais arredondadas e mais lisas do que os agregados industriais, pois estes últimos por terem uma granulometria descontínua vai haver a necessidade de um volume maior de matriz cimentícia, o que acarreta num aumento de custo. (Fiorentin, 2011)

Além disso, deve-se fazer uma análise quanto ao módulo de finura da areia de modo que quando este supera o valor numérico 3 indica que esse agregado deve ser evitado, pois a mistura pode apresentar segregação facilmente pela má distribuição granulométrica. Para ressaltar, módulo de finura é a soma das percentagens acumuladas retidas, nas peneiras normais (0,15/ 0,30/ 0,60/ 1,20/ 2,40/ 4,80/ 9,50/ 19,0/ 38,0/ 76,0), dividida por 100.

Melo (2005) indica faixas de agregado miúdo através das curvas granulométricas apresentada no Gráfico 02 para ser empregadas em CAA. Ainda, o autor explicita que as composições adequadas, para o agregado a que se refere, são tais que se disponha de 20% de areia fina e 80% de areia média.

Gráfico 02 – Faixa ótima para agregados miúdo para o CAA.



Fonte: Melo (2005)

3.3.2.4) Adições

As adições minerais são materiais finamente moídos subprodutos de alguns ramos industriais que são incorporados ao cimento Portland composto ou a traços de concretos e argamassas para se obter características melhoradas destes no estado fresco e no estado endurecido. Segundo Mehta e Monteiro (2008), geralmente são adicionados numa percentagem de 20 a 70% por massa do material cimentício total.

São classificadas em predominantemente reativas (A.P.R.) e predominantemente inertes (A.P.I.), sendo as primeiras que ajudam a formação de hidratos: pozolanas, cinza volante, cinza da casca de arroz, cinzas da caldeira da queima do bagaço da cana de açúcar, sílica ativa e metacaulim. As inertes agem de maneira física dando maior compacidade à estrutura, como por exemplo o fíler calcário.

Empresas que trabalham com argamassa autonivelante geralmente utilizam adições de fíler calcário no traço, de forma que nessa pesquisa dar-se-á ênfase ao estudo desse material e terá no próximo subitem um maior detalhamento do seu funcionamento na composição da argamassa.

3.3.2.4.1) Fíler Calcário

O fíler calcário é proveniente da rocha calcária podendo ser calcítica ou dolomítica, de modo que há a moagem dessas para se chegar a finura do material em questão. A diferença entre cada uma é na composição química, tendo a rocha calcítica predominantemente o mineral chamado calcita que é composto simplesmente por carbonato de cálcio (CaCO_3) e na

rocha dolomítica parte do cálcio é substituído por magnésio que forma o mineral dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). (DANA, 1993 *apud* Fiorentin, 2011)

Apesar da maioria dos autores considerarem que o fíler calcário é inerte, ele tem efeito químico na mistura fazendo com que haja a aceleração do processo de hidratação dos minerais do clínquer, como, por exemplo, o C_3S de modo que haja um aumento da resistência nas primeiras idades do concreto. Já o efeito físico que o fíler calcário tem na argamassa é a diminuição do teor de vazios. (Fiorentin 2011)

Estudos em pastas com o uso do fíler, entre 25% a 50% em relação à massa do cimento, afirmam que quanto maior a quantidade de fíler incrementada menor o espalhamento ou deformabilidade. Outras pesquisas constataam que a adição de fíler calcário aumenta em grande potencial a resistência a segregação e a exsudação. (Melo, 2005)

A finura do fíler irá influenciar diretamente na quantidade de água a ser utilizada no traço, pois quanto mais fino for o material, maior o volume de água para a obtenção de uma boa deformabilidade. Outra característica que determinará a resistência ao escoamento é a morfologia da partícula, porque o fíler possui superfície dotada de estrias e tem seu formato próximo ao retangular e essas questões também acarretam em variâncias na demanda de água e na porosidade da mistura. Caso o fíler tenha a forma mais próxima da retangular menor será a demanda de água e a porosidade da pasta. (Moosberg-Bustnes, 2003; Sheinn et. al, 2003 *apud* Melo 2005)

3.3.2.5) Aditivos

A ASTM C 125 conceitua aditivo/adição (em inglês apenas “*admixture*” ou *chemical and mineral admixture*, respectivamente) como qualquer material – que não seja água, agregados, cimentos hidráulicos ou fibras – usado como ingrediente do concreto ou argamassa e adicionado à massa imediatamente antes ou durante a mistura.

O emprego dos aditivos em argamassas e concretos são tão antigos quanto o uso do cimento ou outros aglomerantes hidráulicos. Segundo Coutinho (1997), os romanos adicionavam clara de ovo, sangue, banha ou leite aos concretos e argamassas rudimentares utilizados em suas construções para melhorar a trabalhabilidade das misturas.

São, geralmente, usados no concreto para melhorar a trabalhabilidade, acelerar ou retardar o tempo de pega, controlar o desenvolvimento da resistência e intensificar a resistência à ação do congelamento, fissuração térmica, expansão álcali-agregado, ataque por sulfato e corrosão da armadura. (Mehta e Monteiro, 2008)

O uso dos aditivos é destinado para garantir elevada fluidez e estabilidade adequada às misturas, evitando a segregação ou exsudação, efeitos indesejáveis decorrentes do emprego de elevadas dosagens de aditivos superplastificantes (MEIRELES, 2009).

Em consonância a Mehta e Monteiro (2008), nos últimos 50 anos a indústria dos aditivos e adições teve um forte crescimento de modo que em alguns países cerca de 70 a 80% dos concretos têm o uso destes na sua composição. Assim, ressalta-se a importância pelos responsáveis técnicos na construção civil adquirir conhecimento dos inúmeros produtos existentes no mercado.

Os aditivos, segundo a NBR 11768/1992, para concretos de cimento Portland são classificados em:

- a) Tipo P – Aditivo Plasificante;
- b) Tipo R – Aditivo Retardador;
- c) Tipo A – Aditivo Acelerador;
- d) Tipo PR – Aditivo plastificante Retardador;
- e) Tipo PA – Aditivo Plastificante Acelerador
- f) Tipo IAR – Aditivo Incorporador de ar;
- g) Tipo SP – Aditivo Superplastificante;
- h) Tipo SPR – Aditivo Superplastificante Retardador;
- i) Tipo SPA – Aditivo Superplastificante Acelerador.

Como na argamassa autonivelante haverá a utilização de superplastificantes (SP) serão abordadas as caracterizações desse material quanto às suas propriedades. Como os superplastificantes são otimizados, ou mesmo de alta eficiência, dar-se-á uma explicação detalhada a respeito de cada um dos dois.

3.3.2.5.1) Superplastificantes

Uma mistura de concreto ao tornar plástica utilizando sais solúveis e polímeros, agentes tensoativos e outros consegue-se aumentar a viscosidade sem acrescentar água e até diminuir o consumo de água com manutenção da consistência. Desse modo, nos EUA, os aditivos plastificantes são sinônimos de aditivos redutores de água. (Mehta e Monteiro, 2008)

Os superplastificantes são divididos em três categorias que são definidas pela capacidade de redução de água devida as suas composições químicas. Os lignosulfonatos são

os plastificantes de primeira geração e tem a capacidade de reduzir de 8 a 12% a quantidade de água da mistura. Se estes forem utilizados em grandes dosagens podem causar retardo de pega e incorporação de uma excessiva quantidade de ar. (HARTAMANN e HELENE *apud* AİTCIN, 2003)

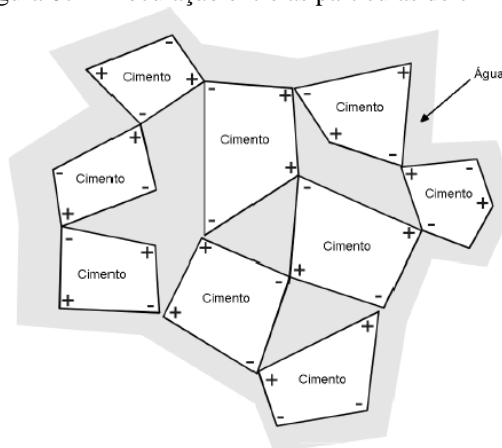
No Japão e na Alemanha, no início dos anos 60, introduziram-se comercialmente aditivos superplastificantes de segunda geração à base de melamina e naftaleno, até os dias atuais têm sido utilizados em grande escala pela indústria do concreto. (Malhotra, 1989) Esses aditivos garantem uma eficiência quanto à redução de água de até 25%. (Hsu, et al., 1992)

Já os SP a base de policarboxilatos, conhecidos também como superplastificantes de terceira geração, são os mais eficientes até o momento pelo fato de reduzirem em mais de 40% a quantidade de água da mistura de uma argamassa ou concreto. (AİTCIN, 2000)

Essas reduções de água são devidas a capacidade das partículas de cimento adsorverem o aditivo, de modo que entre essas haja repulsão estérica e também eletrostática. Quando adicionada a água de amassamento na mistura, o cimento tende a se flocular através das forças de Van der Waals (Figura 07) pelo fato de haver cargas positivas e negativas em cada partícula.

Ao se flocularem, as partículas deixam a pasta mais coesa e por consequência com uma maior viscosidade e menor fluidez, de modo que a pasta irá absorver a água que serviria para dar o escoamento e hidratação das partículas de cimento.

Figura 07 – Floculação entre as partículas de cimento

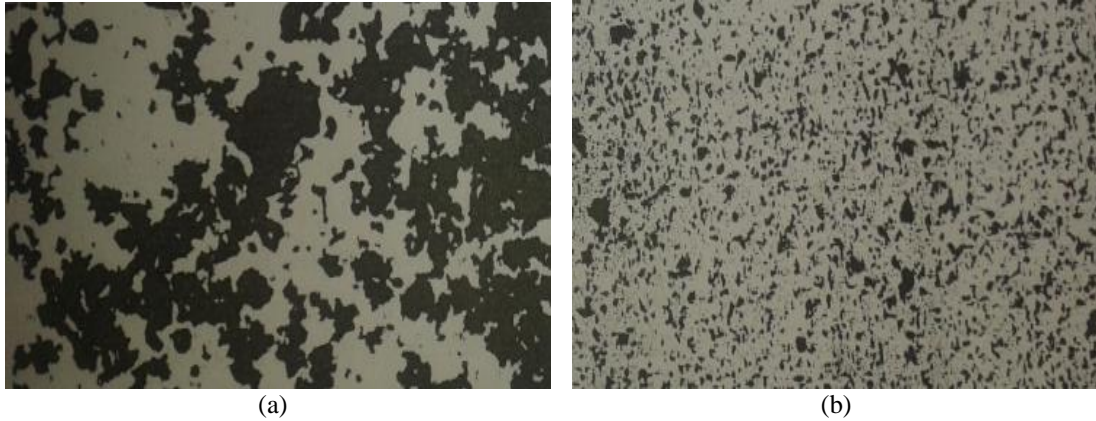


Fonte: MONTE *apud* AİTCIN (1994)

Os aditivos SP à base de policarboxilatos quando adicionados à matriz cimentícia são adsorvidos pelas partículas de cimento deixando-as distantes umas das outras por forças de repulsão estérica somadas às de repulsão eletrostática. O aditivo forma uma capa protetora ao

redor de cada partícula de modo a impedir o entrelaçamento dessas e dar uma melhor trabalhabilidade ao concreto ou à argamassa.

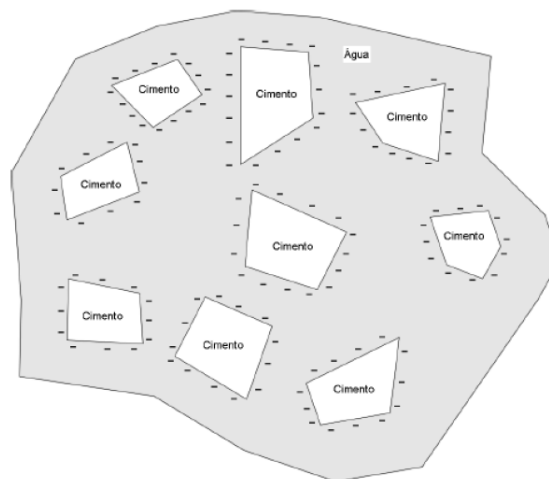
Figura 08 – (a) Micrografia de partículas de cimentos em suspensão água-cimento; (b) micrografia do sistema com presença de aditivo



(a) (b)
Fonte: Mehta e Monteiro (2008) *apud* M. Collepardi, Enco, Itália.

Através da Figura 08 percebe-se o quanto o aditivo superplastificante à base de policarboxilato consegue afastar as partículas de cimento Portland umas das outras de modo a demonstrar o que causa a fluência da pasta. Com isso, através da Figura 09, uma ilustração de como o aditivo age na presença do cimento e da água quando colocado na matriz.

Figura 09 – Representação esquemática de uma pasta de cimento Portland-água com aditivo superplastificante.



Fonte: MONTE *apud* AÏTCIN (1994)

O monômero do policarboxilato possui cadeias laterais longas ligadas à cadeia central do polímero do policarboxilato. Por isso, é formada uma capa protetora ao redor das

partículas de cimento, de forma que essas cadeias laterais não se entrelaçam entre si fazendo com que estas tenham o poder de dispersar essas partículas uma das outras.

3.3.3) Execução do Contrapiso Autonivelante

O contrapiso autonivelante é executado em um bom andamento caso haja informações precedentes da empresa terceirizada contratada para o serviço de contrapiso para a que a contratou, pois se não houver uma interação entre ambas as partes pode ser que não se tenha a garantia de que se tenha um cronograma fiel ao que foi pré-estabelecido.

Sendo assim, para que se tenha uma detalhada explicação de funcionamento do serviço é adequado um passo a passo para que não ocorram falhas que possam acarretar em perdas e desperdício de tempo e assim comprometer não só o serviço, mas a confiabilidade das empresas da construção civil com esse novo tipo de tecnologia implantada no Brasil. Esse último fato relatado deve-se ao fato de que empresas geralmente buscam através de empresas que já contrataram tal serviço se este realmente atende as necessidades e ainda supre o custo-benefício.

3.3.3.1) Logística

Para dar início ao processo é importante que haja uma prévia avaliação entre o encarregado da equipe que fará o serviço e o responsável da obra onde serão instalados os equipamentos e materiais necessários para o desenvolvimento dos trabalhos. Dessa maneira, deve-se tomar cuidado onde a máquina bombeadora ficará localizada, pois o caminhão betoneira quando chegar *in loco* não pode interromper o funcionamento da via a qual se encontra (Figura 10). Lógico que se a obra tiver espaço suficiente para adequar a esses requisitos não precisa se preocupar com tal questão e sim com a logística interna de materiais da obra.

Duas empresas que atendem a localidade a qual é feito o contrapiso autonivelante permitem com que seus encarregados entrem em contato com as concreteiras para fazer os pedidos de caminhões betoneiras com o material. Por consequência, a empresa contratante não se responsabiliza se houver desperdício de material ou perda caso a argamassa tenha dado o tempo de pega.

Figura 10 – Lançamento de argamassa autonivelante para um pavimento.



Fonte: Arquivo Pessoal (2014)

As máquinas bombeadoras, como qualquer outra, possuem limites de bombeamento até certa altura sendo necessária em algumas situações uma bomba auxiliar (Figura 11) para dar suporte no transporte da argamassa até certo pavimento. Essas bombas têm como fonte de energia a eletricidade sendo necessário que a obra tenha um quadro de distribuição com disjuntor com capacidade para suprir a potência dessas e pontos de tomadas trifásicas que suporte 380V.

Figura 11 – Bomba auxiliar



Fonte: Arquivo Pessoal (2015)

Requer também atenção onde serão instaladas as mangueiras, pois como a pressão dentro destas é muito elevada pode ser que haja o rompimento a qualquer momento sujando algum serviço de pintura ou algo do tipo e deve ser alertado aos trabalhadores evitar transitar no local onde estejam executando o contrapiso de forma a evitar acidentes de trabalho.

3.3.3.2) Preparação do substrato

O substrato ao qual será lançada a argamassa autonivelante deve ser previamente limpo de modo a remover quaisquer resquícios que levem à má aderência do contrapiso à laje levando com pouco tempo a percepção de que o contrapiso se apresenta em estado fofo. Para saber se o mesmo se encontra nesse estado, simplesmente basta bater com algum material metálico num local que o contrapiso se fixou corretamente de forma a se ouvir um som metálico e quando ouvir um som que difere do metálico (como se tivesse algo oco por dentro) indica que essa zona está fofo, ou seja, não houve a fixação adequada do substrato a argamassa.

Os materiais utilizados para limpeza do substrato são vassourões e talhadeiras (também chamadas em obra de ponteiras) para remover partículas finas proveniente da concretagem, argamassa de assentamento despejada na laje, gesso e qualquer material que impeça a ligação da argamassa autonivelante ao substrato, assim como está ilustrado na Figura 12.

Figura 12 – Materiais para limpeza do substrato.



Fonte: Cavalcante (2014) e Arquivo pessoal (2015)

Atualmente, uma das empresas da localidade indica para que áreas molhadas sejam feitas com contrapiso de argamassa convencional, pelo fato de que nem sempre se consegue o caimento que se quer, pois a argamassa fica muito fluida e não fica moldável. Com isso, isolam-se com madeira ou tijolo e argamassa de assentamento as áreas onde não se vai fazer o contrapiso ou que possa haver o vazamento da argamassa (Figura 13).

Figura 13 – Divisões de áreas molhadas



Fonte: Arquivo Pessoal (2014)

Uma questão importante também que se recomenda é que sejam feitas as instalações de gás antes do lançamento do contrapiso, pois fazendo esse serviço evita-se desperdício de mão-de-obra, de material e de tempo deixando ainda mais viável todo o procedimento e ainda podendo adiantar o cronograma executivo e financeiro.

3.3.3.3) Montagem dos equipamentos e emestramento

Após todas as precauções tomadas, se faz a instalação dos equipamentos e mangueiras ou mangotes (Figura 14) e posteriormente lança água para verificar algum vazamento e também para lubrificar toda a tubulação evitando que haja algum entupimento.

Figura 14 – Mangueiras ou mangotes utilizadas para o bombeamento.



Fonte: Arquivo Pessoal (2014)

Assim que o material vai sendo montado, o profissional habilitado a fazer o nivelamento a laser vai conferindo os pontos através das niveletas ou mesmo de uma trena até achar o mais alto e assim utilizar esse como referência (também chamado de mestra) para as demais localidades do substrato (Figura 15). Não foram referidos outros tipos de nivelamento

pelo fato das empresas que trabalham com a argamassa autonivelante não utilizarem outros métodos.

Figura 15 – Nivelamento a laser.



Fonte: Arquivo Pessoal (2014)

A niveleta (Figura 16) é constituída basicamente por um tripé metálico que dá apoio para ficar na vertical em relação ao substrato e uma haste central ajustável manualmente por uma garra acoplada ao tripé como ilustra a Figura 16. O número de niveletas confere uma precisão maior ao nivelamento de modo que ficam distanciadas uma das outras em torno de 1,5m, pois o nivelador com sua experiência não faz uma medição exata de distanciamento entre as niveletas.

Figura 16 – Niveleta ou nivelete.



Fonte: Arquivo Pessoal (2014)

3.3.3.4) Lançamento e Acabamento

Quando as niveletas estiverem todas preparadas referenciadas a partir do ponto mais alto da laje somado a 2,5 cm, que é a menor espessura aceitável para que haja um bom funcionamento segundo as empresas responsáveis pelo serviço do contrapiso, então se pode iniciar o lançamento da massa.

A argamassa deve ser lançada ininterruptamente para que haja um bom andamento e velocidade de execução da mistura e não haja entupimento dos mangotes, o que pode levar em torno de uma hora para que estes sejam desentupidos o que pode acarretar no vencimento e perda do material. Porém, pode ser que seja necessário interromper o lançamento no caso de aumentar ou diminuir o número mangueiras para lançar em níveis superiores ou inferiores ao substrato que esteja finalizado ou outros casos a parte.

No caso de trocas de caminhões betoneiras, quando há o término da argamassa de um destes, procurar fazer com que a massa não fique parada na tubulação por muito tempo – algo em torno de cinco – pelo fato já explicitado no parágrafo anterior. Se passar do tempo estimado recomenda-se retornar para o cocho da bomba esvaziando este pelo extravasor e assim lançando água para lubrificação e limpeza das mangueiras de maneira a não entupi-las.

Figura 17 – Lançamento da argamassa.



Fonte: Arquivo Pessoal (2014)

Ao decorrer do lançamento (Figura 17), a maneira que se preenche quatro niveletes ou mais, numa região retangular, a superfície não fica totalmente nivelada e regularizada (o que é contraditório ao comportamento da argamassa autonivelante) sendo estritamente necessário que seja feito um acabamento. Esse trabalho é realizado por um operário (Figura 18) com um equipamento chamado membreta que é formada por duas hastes metálicas cilíndricas perpendiculares soldadas uma a outra, semelhante a estrutura de um rodo. A membreta é utilizada com movimentos para cima e para baixo em duas direções, supondo que quatro niveletas compusessem o primeiro quadrante do eixo x e y, de modo que seria membretado no sentido de x e em seguida de y. Esses movimentos são feitos sobre a lâmina de argamassa lançada para regularizar e adensar a superfície deixando toda a área trabalhada de maneira uniforme como se pode observar na Figura 22.

Figura 18 – Processo de acabamento



Fonte: Arquivo Pessoal (2014)

Para realização do assentamento do piso, posteriormente recomenda-se uma limpeza com vassourões e água para retirada de uma lâmina de finos da camada superior do contrapiso, o que pode ser um empecilho para que haja uma boa aderência entre o contrapiso e a argamassa colante.

4) MATERIAIS E MÉTODOS

A argamassa autonivelante utilizada para contrapiso é um material que no Brasil se conhece muito pouco e não possui normas que possam guiar um raciocínio a respeito de execução de serviço, ensaios de resistência a compressão, a aderência e a abrasão sempre tendo que relacionar com normas internacionais ou de materiais que tem características semelhantes a essa.

Os ensaios realizados se referem à elaboração de pastas que tenham características semelhantes ao de empresas que trabalham na localidade. Pelo fato das empresas não fornecerem os traços das argamassas, através de visitas a campo foi iniciado um trabalho de elaboração de traços para aumentar um pouco mais a gama de pesquisas relacionadas ao estudo do material em questão.

A metodologia utilizada para elaboração dos traços iniciou-se com o estudo de pastas cimentícias com fíler e aditivo superplastificante de modo a realizar ensaios com o mini-slump e o cone de Marsh para determinar proporções ideais de cada material pela avaliação e características intrínsecas já discutidas de cada um. Em seguida, com proporções ideais faz-se o estudo da argamassa autonivelante de modo a fazer ensaios *Slump Flow Test* e *Slump Flow T50cm Test*.

4.1) Seleção dos Materiais

4.1.1) Cimento

O cimento utilizado foi o CPV ARI RS empregado devido à sua alta resistência inicial e finura, que contribuem para uma adequada fluidez e poder de coesão entre as partículas, e também pelo fato das concreteiras da localidade usarem, o que permite uma maior facilidade de obtenção. Para o estudo das pastas foi definida uma massa de 700g do cimento, pelo fato do volume total ficar em torno de 600 ml, de forma que essa define as massas dos posteriores materiais.

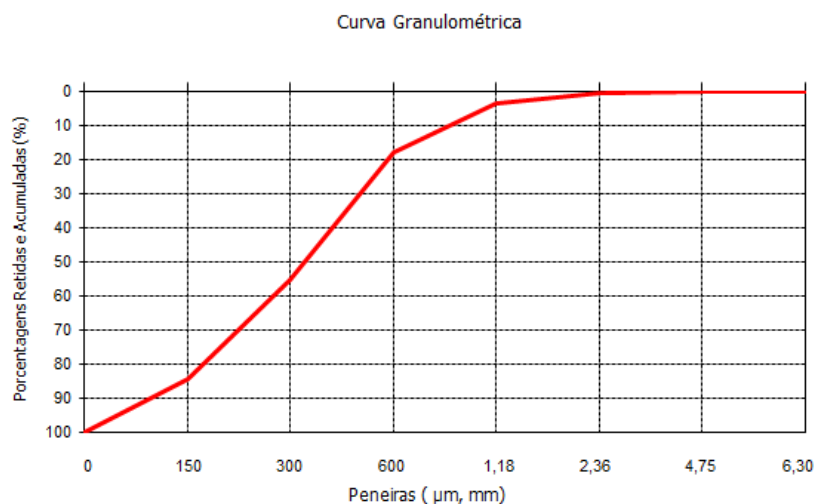
4.1.2) Água

A água utilizada para a matriz cimentícia foi a fornecida pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA). A relação $a/c = 0,5$ foi definida devido as argamassas autonivelantes que as empresas locais trabalham apresentarem alta fluidez e ter aparentemente uma relação alta de a/c .

4.1.3) Agregado Miúdo

Para caracterizar a areia utilizada foram feitos os ensaios de granulometria (NBR NM 248), massa específica e massa unitária (NBR NM 52). Com isso, tem-se que o agregado miúdo utilizado segue as características apresentadas abaixo.

Gráfico 03 – Curva granulométrica do agregado miúdo.



Módulo de Finura: 1,63

Dimensão Máxima característica (mm): 1,18

Massa específica: 1,61 g/m³

Massa unitária: 2,63 kg/dm³

Os traços recomendados de cimento : areia por empresas, artigos e revistas técnicas variam de 1:4 a 1:7 para argamassas de piso de regularização do tipo farofa. Então, para o estudo de dosagens de argamassa serão empregados os traços de 1:4 e 1:5. Vale ressaltar que Tutikian (2008) indica que a quantidade de fíler substitui parte de areia, por essa também ser inerte.

4.1.4) Fíler Calcário

O objetivo do fíler calcário na mistura é conseguir uma maior coesão favorecendo uma ótima resistência a segregação devido à compacidade das partículas, por ter uma finura aproximadamente igual a do cimento. Segundo estudos, a eficiência do fíler se dá quando esse tiver valores de massa entre 10 a 40% em relação à massa do cimento, dessa forma esse intervalo foi o escolhido para os ensaios sendo aumentados de 10 em 10%. O fíler utilizado foi o da empresa Dolomil e especificado com #325 de finura.

4.1.5) Aditivo Superplastificante

A Grace Construction Products forneceu o aditivo superplastificante à base de policarboxilato que tem por nome comercial ADVA 525, tendo recomendações através do manual técnico do produto uma dosagem de 0,15% a 0,80% em relação à massa de cimento. A margem de utilização do aditivo foi de 0,2%, 0,3%, 0,4% e 0,5% em relação à massa de cimento pelo fato da concreteira dosar o traço apenas com cimento, água e fíler e em obra o engenheiro se responsabiliza por adicionar o aditivo. Assim, o transporte de muito aditivo se torna dispendioso porque este é vendido em tambores de 220 kg e contentores de 1000 kg, já que em uma produção alta de contrapiso será utilizada uma grande quantidade se a relação sp/c for superior a 0,5%. Valor superior de SP foi utilizado, porém será discutido posteriormente nos resultados já que tal incremento veio de sua análise.

4.2) Descrição dos Ensaios

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas (LABEME) no Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

4.2.1) Cone de Marsh

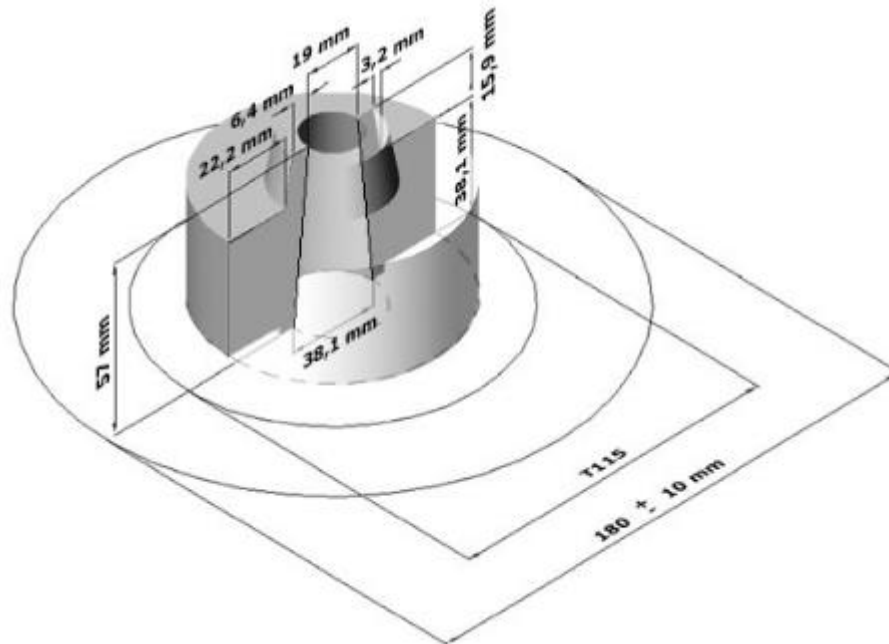
Embora o cone de Marsh seja utilizado para avaliação de compatibilidade entre o aditivo SP e o cimento e seu ponto de saturação, nesse trabalho, foi utilizado para avaliar o efeito do aditivo superplastificante e do fíler calcário na pasta cimentícia sobre a resistência ao escoamento. Então serão aferidos os tempos de escoamento até preencher uma proveta em 500 ml sem que seja colocado um litro de matriz no cone, o que vai depender da quantidade da pasta, que será em torno de 600 ml para evitar desperdício de materiais.

4.2.2) Mini-Slump

O Mini-slump ou ensaio de mini-abatimento criado por Kantro (1980) *apud* Cavalcante (2014) avalia as características da pasta quanto a resistência a segregação e tendência dessa a exsudação. O ponto positivo do ensaio é que não necessita da elaboração de uma quantidade grande de pasta para que se obtenham tais propriedades. Segundo Castro (2007), o mini-abatimento demonstra a influência dos aditivos e adições na fluidez e compatibilidade do cimento com aditivo superplastificante.

O ensaio tem simples e rápida execução de maneira que com a pasta pronta adiciona-se esta dentro do cone, representado na Figura 19, que estará centralizado numa placa de vidro referenciada com os diâmetros mínimos e máximos sendo estes 115 mm (T_{115}) e 180 mm respectivamente, e em seguida puxa-o para cima (90°) sem esquecer-se de antes nivelar a placa de vidro. Gomes (2009) recomenda que a relação fíler/cimento ótima, no estudo da pasta para o concreto auto adensável, dá-se com um T_{115} de 2 a 3,5 segundos alcançando um espalhamento final de (180 ± 10) mm.

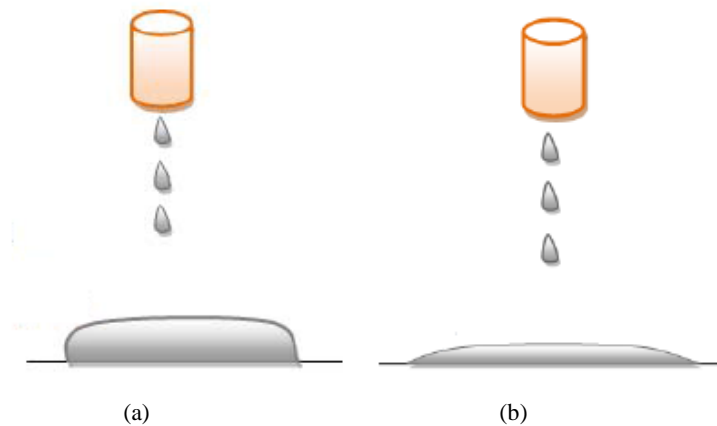
Figura 19 – Cone de Mini-slump



Fonte: Gomes (2009)

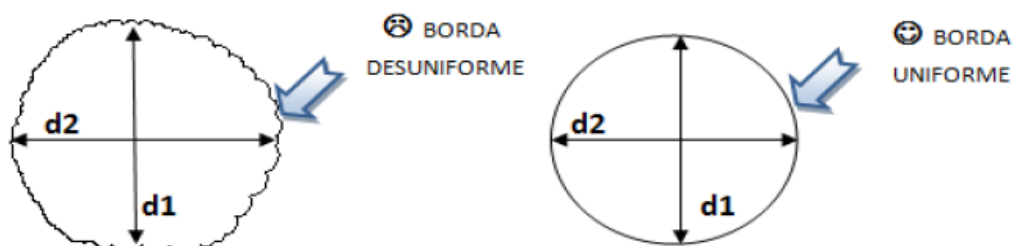
Para Martins (2009), avalia-se ainda a pasta em aspecto visual quanto à uniformidade (Figura 21) e espessura das bordas (Figura 20), de forma que estas características definirão também a resistência à segregação e à exsudação. Apresentando bordas uniformes e espessas, as pastas não tenderão a segregar e indicarão que possuem uma forte coesão entre os materiais que as compõem.

Figura 20 – Tendência à segregação representado pela espessura da pasta. (a) pasta com bordas espessas e coesas; (b) pasta com tendência a segregação.



Fonte: Adaptado de Martins (2009)

Figura 21 – Tendência a segregação representado pela uniformidade da pasta.



Fonte: Martins (2009)

Esses parâmetros indicados pelos autores são para os CAA levando em consideração que serão bombeados por bombas de concreto. Porém, uma das grandes dificuldades de fazer pastas e argamassas ideais, com bordas espessas e uniformes, é que as bombas utilizadas para as argamassas autonivelantes não conseguem alcançar uma elevada altura manométrica, comparadas às bombas de concreto, caso essas forem muito viscosas. Sendo assim, os resultados esperados para as pastas é que essas tenham um máximo espalhamento apresentando uma boa uniformidade e coesão.

Foram feitas três medições de diâmetros, ao invés de duas, e repetido o ensaio com cada traço três vezes para obter a perda de abatimento em decorrer do tempo. Essa repetição ocorria em torno de dois a três minutos por motivo de limpeza e arrumação dos materiais utilizados para o ensaio, porém tentando deixar homogênea a matriz cimentícia.

4.2.3) Materiais e métodos utilizados para o cone de Marsh e o *mini-slump*

Os materiais utilizados para realização dos ensaios do cone de Marsh e *mini-slump* foram:

- Balança de precisão 0,1g;
- Bacias;
- Copo plástico;
- Provetas de 500 e 1000ml;
- Espátulas;
- Nível de bolha;
- Câmera semi-profissional e tripé;

- Placa de vidro de (25x25) cm com marcações das circunferências referentes ao mini-cone, T115 e diâmetro máximo de 180mm;
- Trena de fita de aço de 1m;

Os ensaios iniciais tiveram a seguinte sequência:

1. Nivelamento da balança de precisão 0,1g;
2. Tara da bacia sem material para em seguida pesar um dos materiais (cimento e fíler), fazer isso para o outro logo em seguida;
3. Tara do copo plástico seco para em seguida pesar o SP;
4. Mistura manual com espátula do cimento e fíler em uma bacia;
5. Adicionar água estimada a proveta de 500ml;
6. Adição de cerca de 70% da água da proveta a mistura do cimento e fíler e mistura;
7. Dilui-se o aditivo no restante da água e mistura até homogeneizar a pasta por completa;
8. Preparar o tripé e a câmera para filmar o enchimento da proveta de 1000ml;
9. Coloca-se a pasta no cone de Marsh com o dedo no fundo e retira o dedo assim que tiver a certeza que foi colocada a câmera para filmar;
10. Nivelase com o nível de bolha a placa de vidro em duas direções, passando este pelo centro da placa;
11. Preparar o tripé e a câmera para filmar o T115 e registrar o momento de estagnação da fluidez da pasta para análise de uniformidade e espessura da borda;
12. Colocar o mini-cone no centro da marcação pré-definida na placa, preenche-o com a pasta e sobe verticalmente assim que a câmera for posta para filmar;
13. Limpeza dos materiais para fazer os outros ensaios;

Recomenda-se realizar os ensaios com duas pessoas. Foi montado um Programa experimental de dosagens para ser seguido com base em recomendações de empresas e artigos para as limitações dos materiais.

Tabela 02 - Tabela do Programa Experimental

Ensaio	a/c	a/mf	c			FC		água		SP		esp 1 (cm)	T ₁₁₅ (1)	esp 2 (cm)	T ₁₁₅ (2)	esp 3 (cm)	T ₁₁₅ (3)	Bordas		Separação de materiais		Cone de Marsh
			(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	média	(s)	média	(s)	média	(s)	U	D	SS	CS	(s)	
1	0,5	0,45	700	70	10%	350	0,50%	3,5														
2	0,5	0,42	700	140	20%	350	0,50%	3,5														
3	0,5	0,38	700	210	30%	350	0,50%	3,5														
4	0,5	0,36	700	280	40%	350	0,50%	3,5														
5	0,5	0,45	700	70	10%	350	0,40%	2,8														
6	0,5	0,42	700	140	20%	350	0,40%	2,8														
7	0,5	0,38	700	210	30%	350	0,40%	2,8														
8	0,5	0,36	700	280	40%	350	0,40%	2,8														
9	0,5	0,45	700	70	10%	350	0,30%	2,1														
10	0,5	0,42	700	140	20%	350	0,30%	2,1														
11	0,5	0,38	700	210	30%	350	0,30%	2,1														
12	0,5	0,36	700	280	40%	350	0,30%	2,1														
13	0,5	0,45	700	70	10%	350	0,20%	1,4														
14	0,5	0,42	700	140	20%	350	0,20%	1,4														
15	0,5	0,38	700	210	30%	350	0,20%	1,4														
16	0,5	0,36	700	280	40%	350	0,20%	1,4														

Para a Tabela 02, a coluna “Bordas” é subdividida em U (Uniforme) e D (Desuniforme) e a “Separação de Materiais” SS (Sem Segregação) e CS (Com Segregação).

4.2.4) Slump Flow test e Slump Flow T_{50cm} test

Desenvolvido no Japão para estudo de concretos submersos, o *slump flow test* tem como objetivo avaliar a capacidade do CAA fluir sem segregar. O diâmetro médio final é o que vai discriminar a fluência do material. Tutikian (2008) afirma que esse ensaio é uma adaptação dos ensaios de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (NBR NM 67) e espalhamento na mesa de *Graff* (NBR NM 68).

Desse modo, a avaliação para argamassa autonivelante será viável de modo que o que se pretende é avaliar a alta fluência com a resistência a segregação e exsudação. Caso a argamassa apresente bordas uniformes, espessas (mesmo critério para as pastas), não tenha uma exsudação excessiva e não formar uma pilha central de argamassa com um aspecto de que não se vê uma boa liga entre a pasta e a areia, essa representa a argamassa ideal (Figura 22). Para que haja um bom bombeamento evitando entupimentos um espalhamento adequado é de (75 ± 5) cm, sendo esta a meta da dosagem na pesquisa.

Figura 22 – *Slump Flow Test* em argamassa autonivelante

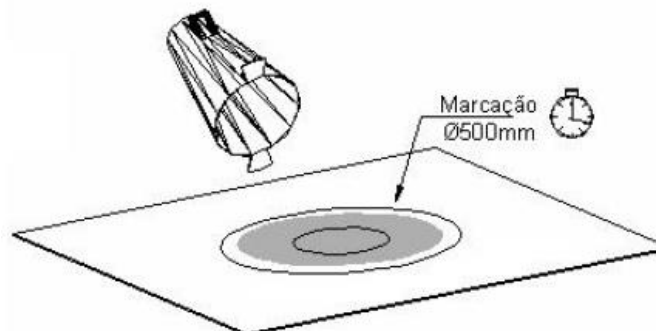


Fonte: Arquivo Pessoal (2014)

Os procedimentos, critérios e materiais para o *slump flow test* são os mesmos utilizados para o ensaio de abatimento do tronco de cone (NBR NM 67), sendo que a base utilizada deve possuir uma dimensão de 1000 mm x 1000 mm. Deve-se fazer uma marcação circular central na base da chapa com diâmetro de 200 mm – que é a dimensão da base do cone de Abrams. A chapa de base deve ser constituída de um material que não absorva água e que não faça atrito com a argamassa.

Para avaliação do *slump flow T_{50cm} test* (Figura 23) faz-se um círculo de 500 mm concêntrico ao de 200 mm na chapa de base e assim que fizer o ensaio *slump flow test* outra pessoa deve cronometrar o tempo que a argamassa chega aos 50 cm ou então se grava o ensaio e depois analisa esse tempo com mais precisão. A norma NBR 15823/2010 indica parâmetros de avaliação quanto à faixa de diâmetro a ser atingido e o t_{500} (= T_{50cm}) para o CAA de modo a utilizar esse em diferentes elementos estruturais.

Figura 23 – *Slump Flow T_{50cm} Test*



Fonte: ABNT NBR 15823/2010

4.2.5) Materiais e métodos para dosagem ideal de argamassa autonivelante

Os materiais utilizados para dosagem e realização dos ensaios do *slump flow test* e *slump flow T50cm test*:

- Betoneira;
- Balanças de precisão de 5g e 0,1g;
- Baldes e bacias;
- Pá e concha para concreto;
- Proveta de 1000 mL e vasilhame;
- Copos descartáveis;
- Nível de bolha;
- Colher de pedreiro;
- Câmera com tripé;
- Trena de fita de aço;
- Placa de madeira naval;

A argamassa autonivelante é um material sensível a alterações na dosagem de qualquer um dos materiais, sendo difícil chegar num ponto ideal. Sendo assim, através das pastas se deu o estudo inicial da argamassa autonivelante de modo que a pasta do ensaio 1 foi a que deu mais espalhamento e demonstrou um bom aspecto visual. Em caso que a quantidade de água fosse insuficiente para dar consistência era adicionado 0,1 a mais da relação a/c até dar um aspecto visual adequado na betoneira para assim fazer os ensaios. Dessa maneira, têm-se o primeiro traço unitário em massa – cimento: areia (areia – fíler) : f/c : sp/c : a/c – utilizado para teste:

1 : 4,9 : 0,1 : 0,005 : 0,5

O traço em massa [kg] foi o respectivo

6 : 29,4 : 0,6 : 0,03 : 3

Os ensaios iniciais tiveram a sequência:

1. Coloca-se em torno de 60 kg de areia (uma lâmina) num local fechado para secar por um tempo em torno de 24h;
2. Pesa-se cada material, sendo os materiais com mais quantidade (cimento e areia) na balança de precisão de 5g e os outros (fíler e superplastificante) na balança de 0,1g;
3. Umedece-se a parte interior da betoneira;
4. Adicionam-se os materiais à betoneira ligada na seguinte sequência: areia, cimento mais fíler e superplastificante diluído na água até homogeneizar todo o material;
5. Coloca-se uma relação a/c igual a 0,1 a mais em caso de os materiais se mostrem em estado seco;
6. Quando a argamassa parecer um pouco mais fluida põe-se o material num balde para fazer os ensaios *slump flow test* e *slump flow T50cm test*;
7. Antes de fazer os ensaios deve-se umedecer a chapa de base.
8. Em caso de não se obter o espalhamento necessário coloca-se o material de volta na betoneira e adiciona ou aditivo ou água e repete os ensaios;
9. Todos os ensaios devem ser filmados para análise do T50cm.

5) APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1) Estudo em pasta

Os ensaios do mini-slump e do cone de Marsh foram tabelados (Tabela 03) para que os dados sejam computados e avaliados por vídeos e imagens, sendo todos os tempos rigorosamente registrados conferindo esses utilizando cronômetro. O aspecto visual como já foi determinado por autores será discriminado na tabela para dar mais eficiência à dosagem da argamassa.

Tabela 03 - Tabela de Resultados do Programa Experimental

Ensaio	a/c	a/mf	c		FC		água	SP		esp 1		esp 2		esp 3		Bordas		Separação de materiais		Cone de Marsh
			(g)	(g)	(g)	(g)		(g)	(g)	média	(s)	média	(s)	média	(s)	U	D	SS	CS	
1	0,5	0,45	700	70	10%	350	0,50%	3,5	18,70	0,47	18,77	0,35	18,33	0,38	X		X			21
2	0,5	0,42	700	140	20%	350	0,50%	3,5	17,73	0,75	17,60	0,78	17,40	0,71	X		X			41
3	0,5	0,38	700	210	30%	350	0,50%	3,5	16,47	1,50	15,97	1,70	15,63	1,67	X		X			71
4	0,5	0,36	700	280	40%	350	0,50%	3,5	14,23	2,90	12,70	4,43	12,13	6,63	X		X			145
5	0,5	0,45	700	70	10%	350	0,40%	2,8	15,70	0,55	15,60	0,51	15,33	0,68	X		X			26
6	0,5	0,42	700	140	20%	350	0,40%	2,8	15,17	1,37	14,53	1,43	14,50	1,76	X		X			56
7	0,5	0,38	700	210	30%	350	0,40%	2,8	12,67	2,73	11,3	-	11,30	-	X		X			94
8	0,5	0,36	700	280	40%	350	0,40%	2,8	-	-	-	-	-	-	NÃO HÁ ESCOAMENTO					
9	0,5	0,45	700	70	10%	350	0,30%	2,1	11,43	-	11,00	-	10,57	-	X		X			-
10	0,5	0,42	700	140	20%	350	0,30%	2,1	-	-	-	-	-	-	NÃO HÁ ESCOAMENTO					
11	0,5	0,38	700	210	30%	350	0,30%	2,1	-	-	-	-	-	-						
12	0,5	0,36	700	280	40%	350	0,30%	2,1	-	-	-	-	-	-						
13	0,5	0,45	700	70	10%	350	0,20%	1,4	-	-	-	-	-	-						
14	0,5	0,42	700	140	20%	350	0,20%	1,4	-	-	-	-	-	-						
15	0,5	0,38	700	210	30%	350	0,20%	1,4	-	-	-	-	-	-						
16	0,5	0,36	700	280	40%	350	0,20%	1,4	-	-	-	-	-	-						
17	0,5	0,42	700	140	20%	350	0,80%	5,6	19,27	0,35	19,17	0,42	19,03	0,43		X		X		37
18	0,5	0,42	700	140	20%	350	0,80%	5,6	18,40	0,55	18,00	0,49	18,13	0,58	X		X			41
19	0,5	0,38	700	210	30%	350	0,80%	5,6	18,10	0,87	17,97	0,86	17,90	0,94	X		X			49
20	0,5	0,36	700	280	40%	350	0,80%	5,6	16,47	1,47	16,93	1,45	16,90	1,18	X		X			69

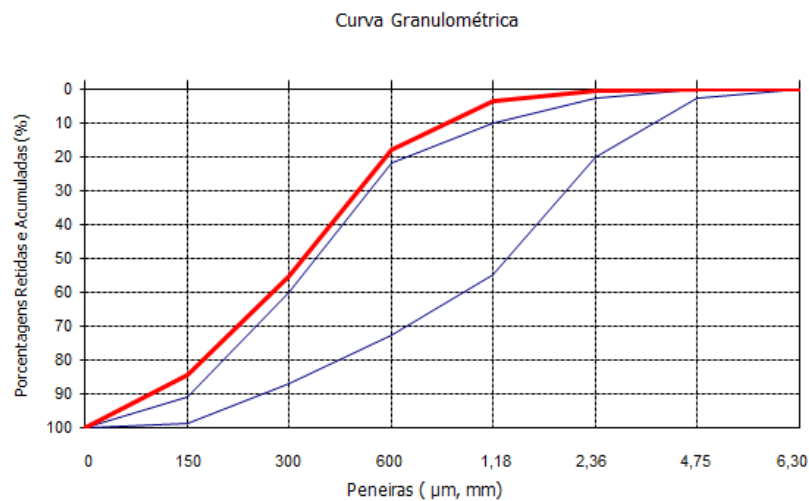
Ao decorrer dos ensaios viu-se que seria inviável fazer os de número 8, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 pelo fato de que o ensaio 8 não apresentou ser uma pasta com características autonivelante e esses terem uma percentagem menor de aditivo. O ensaio 7-2, 7-3 e 9 não conseguiu chegar a 115mm de diâmetro, o que leva à mesma conclusão.

Percebe-se que com as repetições dos ensaios de *mini-slump* os tempos t_{115} e o diâmetro máximo alcançado são inversamente proporcionais de modo que o t_{115} aumenta e o espalhamento final diminui, demonstrando que o cimento CPV ARI RS utilizado faz com que haja um rápido ganho de viscosidade e consequentemente resistência ao escoamento.

5.2) Análise do agregado miúdo

Quando se comparou o agregado miúdo utilizado ao indicado por Melo (2005) para CAA viu-se que saiu um pouco das faixas recomendadas pelo autor (Gráfico 03) e a composição da areia ficou com 44,37% de areia fina e 54,83% de média. O módulo de finura com 1,63 indica que o material apresenta uma boa graduação das partículas de areia. Com a massa unitária e específica encontrada tem-se que a areia especificada tem um índice de vazios de 0,388, que em percentagem indica quanto de pasta deve ter para envolver todas as partículas do agregado miúdo.

Gráfico 03 – Comparação da faixa ótima do agregado miúdo para o CAA com a granulometria da areia utilizada na pesquisa (em vermelho).



5.3) Dosagens de Argamassa Autonivelante

O ensaio 1 (Figura 24), como teste, teve um aspecto visual das bordas alcançado, porém formou uma pequena pilha central de argamassa mostrando segregação na região (Figura 27) e também o espalhamento desejado não foi atingido dando numa média de 53 cm de diâmetro.

Figura 24 – *Slump Flow Test* do ensaio 1



Fonte: Arquivo Pessoal (2015)

Como foi prevista a adição de água de 0,1 em relação ao cimento, em caso de não alcançar um bom aspecto visual na betoneira, nas primeiras tentativas deram exsudação e segregação pelo fato de se adicionar uma relação alta de a/c. O fato de se tentar adicionar água foi devido a esta ser mais barata para elaboração dos traços e do aditivo superplastificante ser relativamente oneroso para um consumo constante pelas empresas que executam o contrapiso.

Os traços elaborados seguem na Tabela 04 e Tabela 05 demonstrando a dificuldade da elaboração de um ideal. Com isso, ao obter um espalhamento de 71 cm no ensaio 7, o qual está no intervalo (75 ± 5) cm, foram finalizados os ensaios. Para as dosagens da argamassa autonivelante foi analisada também a relação da água e SP com os materiais finos (mf). Todas as imagens dos ensaios estão apresentadas no Apêndice B nas últimas páginas do trabalho.

Tabela 04 - TUM utilizados

Traço Unitário em Massa						
Cimento	Areia	a/c	sp/c	f/c	a/mf	sp/mf
1	4,9	1	0,005	0,1	0,91	0,0045
1	4,8	0,9	0,008	0,2	0,75	0,0067
1	4,8	0,8	0,015	0,2	0,67	0,0125
1	4,75	0,825	0,013	0,25	0,66	0,0104
1	3,7	0,52	0,01105	0,3	0,40	0,0085
1	3,7	0,5825	0,01235	0,3	0,45	0,0095
1	3,7	0,5925	0,01495	0,3	0,46	0,0115

Tabela 05 – Traço em Massa e resultados dos ensaios *Sump Flow Test* e *Slump Flow T_{50cm} Test*

Traço em Massa							
Ensaio	CIMENTO	AREIA	ÁGUA	SP	FÍLER	Esp.	VS
n	[kg]	[kg]	[L]	[g]	[kg]	[cm]	t ₅₀₀ [s]
1	6	29,4	6	30	0,6	53,5	0,38
2	5	24	4,5	40	1	Segregou e exsudou em excesso	
3	5	24	4	75	1		
4	4	19,4	3,3	52	1		
5	4	14,8	2,08	44,2	1,2	46	-
6	4	14,8	2,33	49,4	1,2	56,5	6,46
7	4	14,8	2,37	59,8	1,2	71	2,47

O ensaio 5 demonstrou uma boa coesão e a partir dele foi adicionando aditivo SP em doses de 0,1 e 0,2 em sp/mf e pequenas porções de água até parecer mais fluida na betoneira para se chegar ao traço 6 e o ideal de número 7 (Figura 25). Os experimentos demandam muito tempo e, por consequência, auxílio de uma ou mais pessoas para que torne o trabalho viável de executar, motivo pelo qual não foram feitos mais traços.

Figura 25 – Ensaio 7 da argamassa autonivelante ideal



Fonte: Arquivo Pessoal (2015)

Com a redução da relação a/mf e o aumento do f/c e sp/mf conseguiu-se obter uma ótima resistência a segregação e exsudação demonstrando a sensibilidade das alterações dos materiais. Porém, o ponto chave foi que a relação cimento:areia sofreu modificação para 1:4 fazendo com que a pasta cimentícia tivesse mais influência no comportamento da argamassa. Fez-se o ensaio de resistência a compressão (NBR 5739/2007) para a argamassa 7 em dois corpos de prova (5x10) cm para 3 dias e dois para 7 dias, obtendo 15,55MPa e 17,26MPa e 23,34 MPa e 19,37 Mpa, respectivamente. O segundo corpo de prova, para os sete dias, teve algumas imperfeições quando foi desmoldado influenciando no ensaio a compressão.

6) CONCLUSÃO

A argamassa autonivelante por ser um material novo no mercado nacional faz com que haja poucos estudos na área acadêmica e empresarial, com isso cada procedimento adotado na pesquisa serve para aumentar ainda mais o leque de informações nesse ramo da construção civil.

O superplastificante a base de policarboxilato com sua alta eficiência demonstrou através dos ensaios em pasta a capacidade de dar elevada fluidez com resistência a segregação evitando o aumento de água. E para alcançar forte coesão, entre as partículas por ação física de empacotamento, o fíler calcário mostrou que quanto maior fosse a sua percentagem em massa relativa ao cimento a matriz aumenta a resistência ao escoamento.

Através das repetições dos ensaios do mini-cone avaliando o T115 e o diâmetro médio com as mesmas pastas percebeu-se uma perda rápida de abatimento pela questão de que no cimento CPV ARI RS acontece de forma rápida as reações de hidratação.

Esse ensaio e o do cone de Marsh também demonstra a influência do aditivo e do fíler no estudo das pastas, pelos mesmos motivos já apresentados.

As primeiras dosagens para a argamassa autonivelante tiveram como ponto de partida as pastas ensaiadas, porém não houve êxito nessa proposição pelo fato de apresentar segregação e exsudação em excesso. Mesmo assim, foi importante esse estudo para avaliar o potencial das adições e aditivos usados para ter ideia das proporções a serem utilizadas.

A argamassa autonivelante ideal teve êxito devido aos estudos relativos ao comportamento de cada material e observando ao decorrer dos experimentos o que poderia ser melhorado. O procedimento de ensaio necessita de muito material, de fazer a limpeza dos materiais e muitas outras coisas que só vai se saber em caso de tentar executar cada etapa. Pelo fato de estar muito próximo da data de apresentação do trabalho de conclusão de curso e também por necessitar da ajuda de duas ou mais pessoas para realização dos ensaios, assim que se conseguiu bater a meta da dosagem deu-se como concluída a pesquisa.

Os ensaios de *slump flow test* e *slump flow T50cm test* traz resultados eficazes para posteriores estudos. A placa de base de madeira naval pode ter causado atrito com a argamassa ou influenciado um pouco nos resultados devendo ser estudada com outro material de base em caso que se queira utilizar tal traço para empresa ou pesquisa.

Cada etapa do trabalho apresenta benefícios a comunidade acadêmica, pois apresenta fontes confiáveis e resultados esclarecedores de fidelidade ao que realmente aconteceu. Desse

modo, a argamassa autonivelante obtida expõe sucesso quanto ao que se tinha se objetivado inicialmente que era de buscar uma dosagem do devido material.

6.1) Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos posteriores sugere-se que:

- Estudem-se pastas com outros materiais, como por exemplo, cimentos com finura, composições ou marcas diferentes e outras adições (cinza volante, metacaulim, microssílica, etc) e aditivos (polifuncionais, incorporadores de ar, modificadores de viscosidades etc);
- Utilize-se chapa metálica ou de material semelhante para o estudo da argamassa autonivelante igual a dosagem encontrada na pesquisa;
- Faça os ensaios de funil V, Caixa L, caixa U e *U-shaped pipe test* para avaliação da argamassa no estado fresco;
- Tente-se alcançar dosagens econômicas com quantidades menores de SP, fíler e relação maior de cimento:areia;
- Estude-se o comportamento da argamassa autonivelante no estado endurecido com ensaios de determinação da tração na flexão e à compressão (NBR 13279/2005), determinação da resistência de aderência a tração (NBR 13528/1998) e outros que caracterizem melhor o material;
- Avalie-se através de ensaios a retração do material.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15823-1:2010: **Concreto auto-adensável Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. ABNT NBR 15823-2:2010: **Concreto auto-adensável Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone de Abrams.** Rio de Janeiro, 2010.

_____. ABNT NBR 11768: **Aditivos para Concreto de Cimento Portland**. Rio de Janeiro, 1992.

_____. ABNT NBR NM 248: **Agregados – Determinação da Composição Granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. ABNT NBR NM 52: **Agregado Miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. ABNT NBR 5739: **Concreto – Ensaio de Compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

AÏTCIN, P.C; **High performance concrete**. London: E&FN SPON, 1998, 569p.

AÏTCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. Tradução de Geraldo G. Serra. São Paulo: PINI, 2000.

BARROS, MERCIA M. S. BOTTURA DE. **Tecnologia de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais**. São Paulo: EPUSP, 1991. 26p. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil.

CARTA, Mino et. al. **O PAC e sua história**. Retrato do Brasil. São Paulo. Editora Manifesto SA, Dez/2007 a Jan/2008.

CASTRO, Alexandre Lorenzetti de. **Aplicação de Conceitos Reológicos na Tecnologia dos Concretos de Alto Desempenho**. 2007. 302 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos/instituto de Física de São Carlos/instituto de Química de São Carlos, São Carlos, 2007.

CAVALCANTE, R. C. C. **Uso da Argamassa Autonivelante para Contrapiso**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2010.

CICHINELLI, Gisele. **Execução de contrapiso autonivelante industrial**. Revista Techné. ed. 192, São Paulo: PINI, 2012.

COUTINHO, A. de S., **Fabrico e Propriedades do Betão**. Lisboa: LNEC editora. v. 1. 1997; 610p.

DAL MOLIN, D.C.C. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adição de microssilica.** São Paulo, 1995. 286p. Tese de Doutorado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

FILHA, Dulce. COSTA, Ana. FALEIROS, João. NUNES, Bernardo. **Perspectivas de Investimento 2010-2013.** Disponível em:
http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/liv_perspectivas/09_Perspectivas_do_Investimento_2010_13_CONSTRUCAO_CIVIL.pdf. Acesso em 17/02/2015.

HARTMANN, Carine T. HELENE, Paulo R. L. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento portland.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

MACKOSKO, C. W., **Rheology: Principles, Measurements and Applications.** Nova York: Academic Press, 1982, 220p.

MALHOTRA, V.M. **Superplasticizers: A global review with emphasis on durability and innovative concretes.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUPERPLASTICIZERS AND OTHER CHEMICAL ADMIXTURES IN CONCRETE. 3. Proceedings. Ottawa, Canada; V.M. Malhotra Editor., 1989. P. 1-18

MARTINS, E. J.. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa auto-nivelante.** Dissertação de Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Paraná, 2009. 139f.

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL. **Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais ed. G. C. Isaia.** – São Paulo: IBRACON, 2007. 2v

MEIRELES, Dinah et al. **Avaliação das propriedades do concreto auto-adensável contendo aditivos modificadores de viscosidade no estado fresco.** Curitiba: Congresso Brasileiro do Concreto, 2009.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 1.ed. São Paulo: PINI, 2008.

MELO, Karoline A. **Contribuição a dosagem de concreto auto adensável com adição de fíler calcário.** 2005. Dissertação – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

MOOSBERG-BUSTNES, H. **Characterization of filler.** Edição: O. Wallevik; Nielsson In: International Rilem Symposium on self-compacting concrete, 3rd, 2003, Reykjavik. Proceedings... France: RILEM Publications, 2003. P. 540-550.

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

OLIVEIRA, Ivone Regina de; STUDART, André Rocha; PILEGGI, Rafael Giuliano; PANDOLFELLI, Victor Carlos. **Dispersão e empacotamento de partículas.** 18. ed. São Paulo: Fazendo Arte Editorial, 2000.

ORTEGA, F. S.; Pandolfelli, V. C.; Rodríguez, J. A.; Souza, D. P. F. De – “**Aspectos da Reologia e da Estabilidade de Suspensões Cerâmicas. Parte I: Fundamentos**”, Cerâmica, 43, 279, 5-10, 1997.

ORTEGA, A. G. **Mortero Autonivelante**. III Jornadas Iberoamericano de Materiales de Construcción. San Juan, 2003.

PAUMGARTTEN, M. D. von. **Concreto Auto-adensável com materiais encontrados na região de Belém**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade da Amazônia para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil. Belém, 2010.

PILEGGI, R. G. **Ferramentas para o estudo e desenvolvimento de concretos refratários**. São Carlos, 2001. 187p. Tese de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos.

RIXOM, R.; MAILVAGANAM, N. **Chemical admixtures for concrete**. London: E&FN SPON, 3rd edition. 1999. 437p.

SABBATINI, F. H. **Patologia das argamassas de revestimentos – aspectos físicos**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, 3., 1986, São Paulo. Anais... São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986, p. 69-76.

SHEINN, D.; HO, D. W. S.; TAM, C. T. **Effect of particle shape on paste rheology of SCC**. Edição: O. Wallevik; I. Nielsson. In: International Rilem Symposium On Self-Compacting Concrete, 3rd, 2003, Reykjavik. Proceedings... France: Rilem Publications, 2003. P. 232-239.

SILVA, JOSÉ GERALDO DA. **Reologia e microestrutura na estabilização de suspensões concentradas Al₂O₃**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em engenharia de Materiais da Rede Temática em Engenharia de Materiais. Belo Horizonte, 2003.

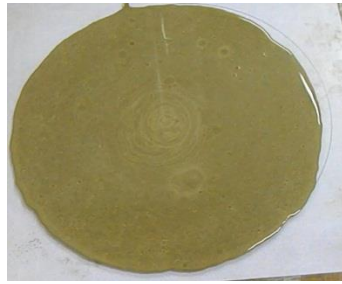
SILVA, R. P. **Argamassas com adição de fibras de polipropileno – estudo do comportamento reológico e mecânico**. São Paulo, 2006. 191p. Dissertação em Engenharia - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

STEFFE, J.F. **Rheological methods in food process engineering**. 2. ed. Freeman Press, 412p., 1996.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLON, D. C. **Concreto Auto-Adensável**. São Paulo, PINI, 2008.

APÊNDICE A – ESTUDO DAS PASTAS

Ensaio 1-1



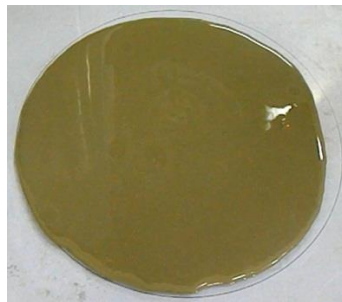
Ensaio 1-2



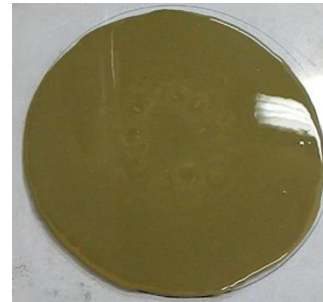
Ensaio 1-3



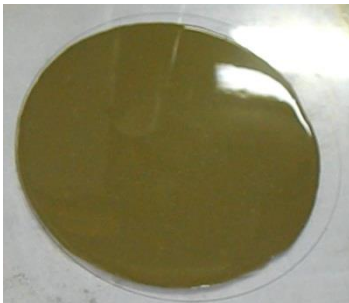
Ensaio 2-1



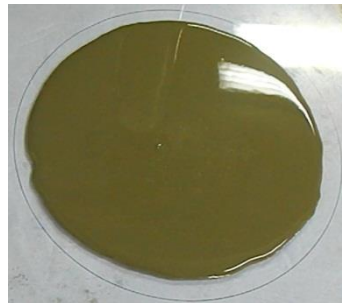
Ensaio 2-2



Ensaio 2-3



Ensaio 3-1



Ensaio 3-2



Ensaio 3-3



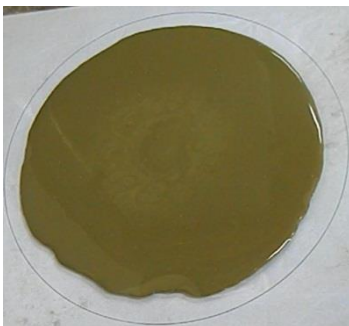
Ensaio 4-1



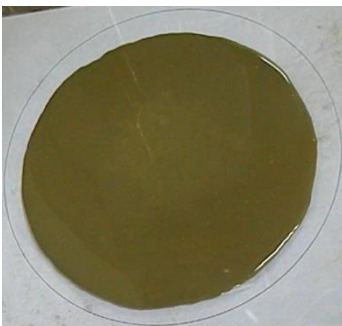
Ensaio 4-2



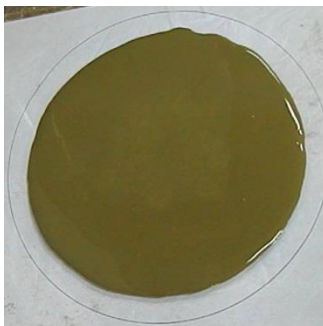
Ensaio 4-3



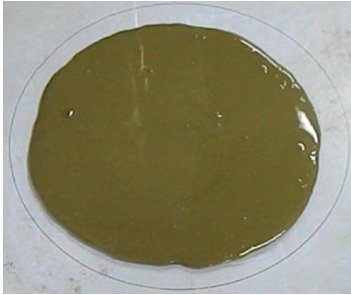
Ensaio 5-1



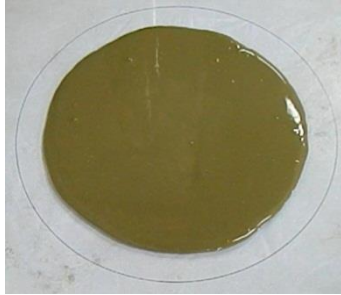
Ensaio 5-2



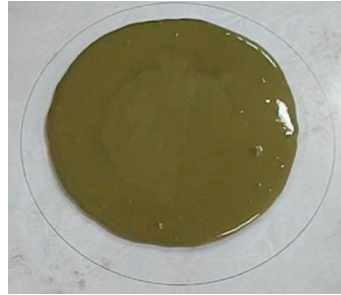
Ensaio 5-3



Ensaio 6-1



Ensaio 6-2



Ensaio 6-3



Ensaio 7-1



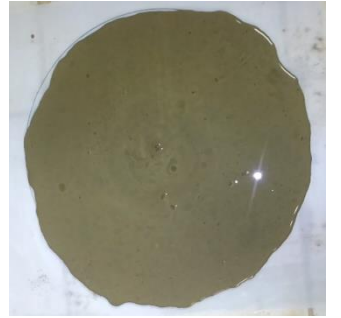
Ensaio 7-2



Ensaio 7-3



Ensaio 8-1



Ensaio 17-1



Ensaio 17-2



Ensaio 17-3



Ensaio 18-1



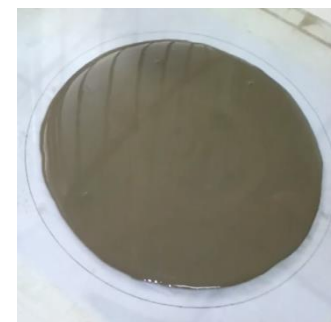
Ensaio 18-2



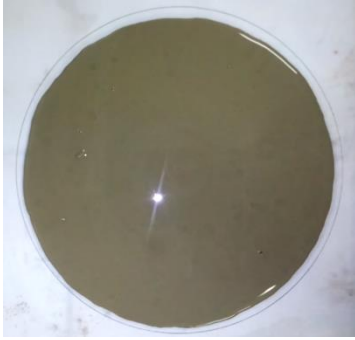
Ensaio 18-3



Ensaio 19-1



Ensaio 19-2



Ensaio 19-3



Ensaio 20-1



Ensaio 20-2



Ensaio 20-3

APÊNDICE B – DOSAGENS DE ARGAMASSA

Ensaio 1



Ensaio 2



Ensaio 3



Ensaio 4



Ensaio 5



Ensaio 6



Ensaio 7