

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Construção Civil

Dissertação de Mestrado

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DO CONTRAPISO
AUTONIVELANTE EM RELAÇÃO AO SISTEMA
TRADICIONAL**

Autor: Natália Cerqueira de Souza

Orientador: Prof. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Belo Horizonte

Fevereiro/2013

Natália Cerqueira de Souza

ANÁLISE DE DESEMPENHO DO CONTRAPISO AUTONIVELANTE EM RELAÇÃO AO SISTEMA TRADICIONAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em construção civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de concentração: Materiais de Construção Civil

Linha de pesquisa: Materiais Cimentícios

Orientador: Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Co-orientador: Dr. Jonhson Rigueira

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2013

S729a

Souza, Natália Cerqueira de.

Análise de desempenho do contrapiso autonivelante em relação ao sistema tradicional [manuscrito] / Natália Cerqueira de Souza. – 2013. xviii, 181 f., enc.: il.

Orientador: Antônio Neves de Carvalho Júnior.

Coorientador: Jonhson Rigueira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 115-118.

1. Materiais de construção – Teses. 2. Argamassa - Teses.
I. Carvalho Júnior, Antônio Neves de. II. Victor, Jonhson Wilker Rigueira.
III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. IV.
Título.

CDU: 691(043)

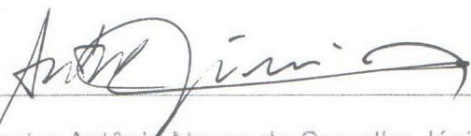
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

ANÁLISE DE DESEMPENHO DO CONTRAPISO
AUTONIVELANTE EM RELAÇÃO AO SISTEMA TRADICIONAL

Natália Cerqueira de Souza

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em construção civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

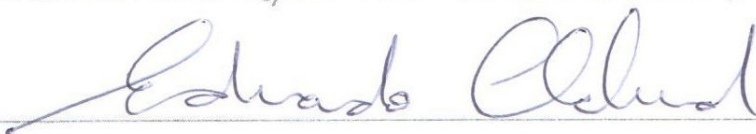
Comissão examinadora:



Professor Doutor Antônio Neves de Carvalho Júnior- UFMG (Orientador)



Doutor Johnson Wilker Rigueira Victor – Consultor autônomo (Co-orientador)



Professor Doutor Eduardo Chahud - UFMG



Professor Doutor Francisco Antônio Rocco Lahr - USP

Belo Horizonte, 01 de Março de 2013.

DEDICATÓRIA

A Deus, que possibilita todas as outras coisas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu agradeço a Deus, sustentador da minha vida. Que me abençoa todos os dias quando acordo e quando me deito, que encaminha todos os meus projetos, meus sonhos e sustenta tudo que tenho e que sou. Porque um dia ele me disse: “Ainda que a figueira não floresça, nem haja fruto na videira; ainda que decepcione o produto da oliveira, (...), todavia eu me alegrarei no Senhor (...).” (Hc 3:17-18). E isso me deu uma força muito grande para ir desenvolvendo esse trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Antônio Neves de Carvalho Júnior, pela disposição, ensinamentos, pelo apoio, pela paciência e, sobretudo, pela injeção de ânimo nos momentos mais delicados da pesquisa.

Ao meu co-orientador, Jonhson Rigueira pelo projeto.

À Beatriz por me incentivar a estar aqui.

Ao professor Calixto que tão gentilmente colaborou com algumas ideias para o trabalho.

Aos colegas do DEMC, em especial ao Prof. Abdias Magalhães Gomes por ceder o laboratório, à Prof.^a Maria Teresa Paulino Aguiar pelos ensaios, à Marina e Ivonete (funcionárias do DEMC) pela paciência e presteza, ao Ricardo (laboratorista) e Dedé por me acompanharem em todos os ensaios.

À MC-Bauchemie e Hobimix por contribuírem com os materiais para a pesquisa.

Ao professor White que me presenteou com tantos materiais de consulta.

Aos colegas Silvana Lamas, Félix Assumpção e Marcos Oliveira, pelo companheirismo e pelo apoio.

Aos colegas do TJMG que compreenderam e se preocuparam comigo durante esse trabalho.

À minha família e ao Thales pela paciência nos momentos de tensão e quase loucura.

RESUMO

Este trabalho pretende analisar o desempenho do contrapiso autonivelante, uma argamassa desenvolvida com uso de aditivos para ser bombeada e servir de base para execução de pisos e compará-lo com o processo tradicional de argamassa tipo “farofa”. O trabalho foi dividido em duas etapas: a primeira analisa três traços do contrapiso autonivelante para entender suas características, sendo um o traço normal recomendado pelo desenvolvedor do produto, o outro um traço com aumento na quantidade de água simulando uma situação de canteiro e o último um traço no qual houve redução de aditivos, visando um produto com menor custo. A segunda etapa utiliza dois traços da primeira etapa para compará-lo com a argamassa tradicional. Os ensaios tiveram o objetivo de avaliar as características físicas e mecânicas do contrapiso autonivelante, caracterizando-o para que possa ser usado com segurança e economia. Os resultados têm mostrado que o material atende bem às expectativas e é um material que vai de encontro às necessidades atuais de grande produção e escassez de mão de obra. No entanto, ainda serão necessários outros ensaios para melhor caracterizá-lo.

Palavras-chaves: Argamassa, contrapiso, concreto autoadensável, argamassa autoadensável.

ABSTRACT

This work aims to analyze the performance of self-leveling screed mortar, developed with the use of additives to be pumped and serve as a basis for implementation of floors, and compare it with the traditional mortar too dry. The work was divided into two stages: the first looks at three materials ratio self-leveling underlayment to understand its characteristics, being a normal materials ratio recommended by the developer of the product, with a materials ratio with increase of the amount of water simulating a construction site situation and a materials ratio in which there was reducing additives, envisioning a product at a lower cost. The second stage uses two features of the first stage to compare it with the traditional mortar. The tests were intended to evaluate the physical and mechanical self-leveling underlayment, characterizing it so it can be used safely and economically. The results have shown that the material meets the expectations well, and it is a material that comes from meeting the current needs of high production and shortage of manpower. However, further testing will be necessary to better characterize it.

Keywords: Mortar, against the floor, self-compacting concrete, self-compacting mortar

SUMÁRIO

Lista de figuras	xi
Lista de tabelas	xiv
Lista de siglas, unidades, símbolos e abreviaturas	xvi
1 introdução	19
2 Objetivos	20
3 Justificativa	21
3.1 Justificativa técnica	21
3.2 Justificativa econômica	22
3.3 Justificativa ambiental e social	23
4 Revisão bibliográfica	24
4.1 Contrapiso	25
4.1.1 Contrapiso Convencional (CPC)	28
4.1.2 Contrapiso Autonivelante (CPA)	31
4.2 Argamassas	34
4.2.1 Argamassa convencional	35
4.2.2 Argamassa autoadensável	36
4.3 Concreto autoadensável	36
4.3.1 Ensaio de autoadensabilidade	37
4.4 Materiais	40
4.4.1 Cimento	40
4.4.2 Areia / Agregado Miúdo	41
4.4.3 Brita / Agregado Graúdo	45
4.4.4 Fíler	47
4.4.5 Aditivos	47
4.4.6 Água	52
4.5 Considerações finais sobre a revisão bibliográfica	52
5 Considerações iniciais para a pesquisa	54
6 Materiais e métodos	56
6.1 Materiais utilizados na pesquisa	57
6.1.1 Cimento	57

6.1.2	Água	58
6.1.3	Areia	58
6.1.4	Pedriscos	58
6.1.5	Filer	59
6.1.6	Aditivos	59
6.2	Primeira fase de ensaios	60
6.2.1	Traços utilizados	60
6.2.2	Ensaio de caracterização do concreto no estado fresco	60
6.2.3	Ensaio de caracterização do concreto no estado endurecido	63
6.3	Segunda fase de ensaios	70
6.3.1	Traços utilizados	70
6.3.2	Ensaio de caracterização do material no estado fresco	71
6.3.3	Ensaio de caracterização do concreto no estado endurecido	72
7	Resultados e discussão	82
7.1	Caracterização dos materiais	83
7.1.1	Cimento	83
7.1.2	Areia	83
7.1.3	Pedrisco	84
7.1.4	Discussão – Caracterização dos materiais	85
7.2	Primeira fase de ensaios	86
7.2.1	Consistência e segregação	86
7.2.2	Ar incorporado	86
7.2.3	Resistência à compressão axial	87
7.2.4	Retração	88
7.2.5	Discussão – Primeira fase de ensaios	90
7.3	Segunda fase de ensaios	93
7.3.1	Consistência e segregação	93
7.3.2	Massa específica fresca e massa específica seca	93
7.3.3	Resistência à compressão axial	95
7.3.4	Abrasão	95
7.3.5	Ensaio Cisalhamento Inclinado (“ <i>Slant Shear Test</i> ”)	96
7.3.6	Análise visual	103
7.3.7	Discussão – segunda fase de ensaios	108

8	Considerações finais	111
9	conclusões	113
10	Considerações finais e sugestões para trabalhos futuros	114
	Referências Bibliográficas	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1 - Corte do sistema/vedação horizontal interna segundo Fioreto (2009).....	25
Figura 4-2 - Corte do sistema / vedação horizontal interna segundo Barros (1991, <i>apud</i> Godoy, 2000).....	26
Figura 4-3 - Régua “T” para regularização da superfície de CPA	34
Figura 4-4 – <i>Slump Flow</i> CAA.....	38
Figura 4-5 - Teste de espalhamento (dimensões em mm).....	39
Figura 5-1 - Bombeamento da argamassa	55
Figura 5-2 - Caminhão betoneira com contrapiso	55
Figura 5-3 - Lançamento do contrapiso autonivelante	55
Figura 5-4 - Contrapiso autonivelante pronto	55
Figura 6-1 - Medida do <i>Slump Flow test</i>	61
Figura 6-2 - Equipamento utilizado no ensaio de ar incorporado	62
Figura 6-3 - Moldagem e identificação dos corpos de prova	63
Figura 6-4 - Cura úmida dos corpos de prova	64
Figura 6-5 - Prensa EMIC para ensaios de resistência à compressão axial	65
Figura 6-6 - Curva de retração livre linear	66
Figura 6-7 - Detalhe do pistão no molde de retração	68
Figura 6-8 - Detalhe do extensômetro no molde de retração	69
Figura 6-9 - Desenho esquemático do molde e retração	69
Figura 6-10 - Massa específica fresca - peso do molde seco	72
Figura 6-11 - Massa específica fresca - peso do molde preenchido	72
Figura 6-12 - Moldagem de corpos de prova 10 x 20 cm	73
Figura 6-13 - Moldagem de corpos de prova 5 x 10 cm	73
Figura 6-14 - Capeamento dos corpos de prova	74
Figura 6-15 - Rompimento dos corpos de prova 5 x10 cm.....	75
Figura 6-16 - Massa específica úmida - corpos de prova medidos e pesados.	76
Figura 6-17– Tambor de ensaio “Los Angeles”	77
Figura 6-18 - Corpos de prova após o ensaio de abrasão	77
Figura 6-19 - Corpos de prova de concreto convencional	78
Figura 6-20 – Desenho esquemático do corte dos CP's	79

Figura 6-21 - Molde e marcação para seccionamento do corpo de prova	79
Figura 6-22 - Corpo de prova de concreto convencional seccionado com a parte interna apicoada.....	79
Figura 6-23 - Detalhe do corpo de prova preparado para avaliar o cisalhamento inclinado	80
Figura 6-24 - Base e soquete para análise visual contrapiso convencional	81
Figura 6-25 –Imagens para análise visual dos contrapisos.....	81
Figura 7-1 - Gráfico curva granulométrica agregados	85
Figura 7-2 - Gráfico de resistência à compressão média das amostras.....	87
Figura 7-3 - Gráfico comparativo dos valores da retração	90
Figura 7-4 - Comparativo das massas específicas das amostras	94
Figura 7-5 - Gráfico da resistência à compressão axial	95
Figura 7-6 - Perda de peso pela abrasão	96
Figura 7-7 - Corpos de prova preparados para o ensaio de cisalhamento inclinado	97
Figura 7-8–Cisalhamento inclinado - Mn.....	98
Figura 7-9 - Cisalhamento inclinado -Mn - rompimento.....	98
Figura 7-10–Cisalhamento inclinado - Mn - interface do rompimento	98
Figura 7-11 - Cisalhamento inclinado - Mri - rompimento.....	99
Figura 7-12 - Cisalhamento inclinado- Mri - rompimento e fissuras	99
Figura 7-13 - Cisalhamento inclinado -Mri - interface do rompimento	99
Figura 7-14 - Cisalhamento inclinado - Mcc - rompimento	100
Figura 7-15 - Cisalhamento inclinado - Mcc - interface do rompimento	100
Figura 7-16 – Desenho esquemático para cálculo de tensões.....	101
Figura 7-17 - Gráfico dos resultados das tensões normais e de cisalhamento	102
Figura 7-18 - Imagem da superfície produzida pela amostra Mn	103
Figura 7-19 - Imagem ampliada Mn - detalhe 1.....	104
Figura 7-20 - Imagem ampliada Mn- detalhe 2.....	104
Figura 7-21 - Imagem da superfície produzida pela amostra Mri	105
Figura 7-22 - Imagem ampliada Mri- detalhe 3.....	106
Figura 7-23 - Imagem ampliada Mri- detalhe 4.....	106
Figura 7-24 - Imagem da superfície produzida pela amostra Mcc.....	107

Figura 7-25 - Imagem ampliada Mcc- detalhe 5	107
--	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-I – Comparativo de Custos de Argamassas	22
Tabela 4-I – Argamassa de contrapiso: ensacada x dosada em central x tradicional tipo farofa	33
Tabela 4-II - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo	42
Tabela 4-III - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material	44
Tabela 4-IV - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo	45
Tabela 4-V - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo com relação à massa do material	46
Tabela 6-I - Resumo das especificações do CII-F-32	57
Tabela 6-II - Resistência à compressão CII-F-32.....	57
Tabela 6-III - Adições permitidas no CII-F-32	58
Tabela 6-IV–Traços utilizados na primeira fase de ensaios	60
Tabela 6-V – Traços utilizados na segunda fase de ensaios	71
Tabela 7-I - Granulometria da areia	83
Tabela 7-II - Granulometria do pedrisco	84
Tabela 7-III - Consistência e segregação das amostras	86
Tabela 7-IV - Porcentagem de ar incorporado	87
Tabela 7-V- Resistência à compressão-amostra normal (Mn1)	88
Tabela 7-VI - Resistência à compressão-amostra com exagero de água (Ma1)	88
Tabela 7-VII - Resistência à compressão-amostra com redução de insumos (Mri1).....	88
Tabela 7-VIII - Retração das amostras.....	89
Tabela 7-IX - Resumo dos resultados da 1ª fase	90
Tabela 7-X - Consistência e segregação das amostras	93
Tabela 7-XI - Massa específica fresca	94
Tabela 7-XII - Massa específica seca	94
Tabela 7-XIII - Resistência à compressão.....	95
Tabela 7-XIV - Resultados da abrasão	96
Tabela 7-XV -Ensaio de Cisalhamento Inclinado	97

Tabela 7-XVI – Resultados do teste de cisalhamento inclinado.....	102
Tabela 7-XVII - Resumo dos resultados da 2ª fase.....	108

LISTA DE SIGLAS, UNIDADES, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Siglas

a/c	Fator água/cimento
ACII	Argamassa colante para uso externo
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
C ₃ A	Aluminato tricálcico
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CO ₂	Gás carbônico
CPII – F - 32	Cimento Portland com filer e classe de resistência de 32 MPa
C ₃ S	Aluminato tricálcio
C-S-H	Silicato de cálcio hidratado
DEMC	Departamento de Engenharia de Materiais e Construção
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
EE	Escola de Engenharia
EPI	Equipamento de proteção individual
MG	Minas Gerais
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma MERCOSUL
PR	Paraná
RPM	Rotações por minuto
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
Pnad	Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílios

Unidades

cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
dm ³	Decímetro cúbico
g	Gramma
h	Hora
Kg	Quilograma
L	Litro
ml	Mililitro
mm	Milímetro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
MPa	Mega Pascal
kN	Quilo Newton
N	Newton
Tf	Tonelada força
°C	Graus Celsius
μm	Micrometro

Símbolos

γ_a	Massa aparente
γ_r	Massa específica
σ	Tensão normal
α	Ângulo
τ	Tensão de cisalhamento
°	Grau
A	Área

Abreviaturas

CPA	Contrapiso autonivelante
CPC	Contrapiso convencional

CAA	Concreto autoadensável
CCV	Concreto convencional
C _{RC}	Carga de ruptura à compressão do corpo de prova composto
CP	Corpo de prova
CP's	Corpos de prova
F	Índice de finura do cimento
LS	Lignossulfonatos
Ma1	Massada com quantidade normal de insumos e aumento da água (primeira fase de ensaios)
Mcc	Massada contrapiso convencional tipo “farofa” (segunda fase de ensaios)
Mn1	Massada com quantidade normal de insumos e água (primeira fase de ensaios)
Mn	Massada com quantidade normal de insumos e água (segunda fase de ensaios)
Mri1	Massada com redução de alguns insumos e aditivos (primeira fase de ensaios)
Mri	Massada com redução de alguns insumos (segunda fase de ensaios)
MS	Melamina sulfonato
NS	Naftaleno sulfonato
P	Peso inicial do cimento
Ps	Peso seco
R	Resíduo do cimento na peneira ABNT 0,075mm
SFT	<i>Slump flow test</i>
V _a	Volume aparente
V _r	Volume real

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novos materiais e tecnologias acompanha a humanidade há milhares de anos. Esse desenvolvimento busca sempre melhorar as condições de vida e trabalho do homem. Especialmente no ramo da construção civil, muitas evoluções significativas foram ganhando espaço e sendo incorporados aos costumes.

É válido citar que muitas diferenças ainda existem entre os países no que diz respeito aos métodos construtivos, seja pelo conhecimento adquirido e difundido, seja pelas necessidades que se apresentam. O fato é que no Brasil, esse setor se mostra ainda muito artesanal, embora algumas novidades estejam sendo testadas.

O atual momento brasileiro mostra uma construção civil aquecida e com grandes necessidades de crescimento. A Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílios (Pnad), feita pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), investiga diversas características socioeconômicas da sociedade, como população, educação, trabalho, rendimento, habitação, etc. Segundo esta pesquisa, o déficit de moradias no Brasil em 2008 estava na casa dos 5, 5 milhões, fator que incentivou o governo a criar um programa de habitação que pretende construir ou reformar três milhões de moradias até 2014 para famílias de baixa renda (MIRANDA, 2011). Em 2011, o número estimado de domicílios particulares permanentes foi de 61,3 milhões, 4,7% a mais que em 2009, mas desse total, 45,8 milhões (74,8%) eram domicílios próprios (IBGE,2012).

São nesses momentos de crescimento e grandes necessidades do setor que se procura, mais do que nunca, soluções técnicas que acelerem o processo de construção e utilizem menos mão de obra, insumo cada vez mais escasso.

O contrapiso autonivelante (CPA) chega ao Brasil como uma técnica alternativa para execução de contrapisos ou enchimentos. Já difundido em outros países, no Brasil ainda é usado de forma tímida. Trata-se de uma argamassa autoadensável, muito fluida, desenvolvida e dosada especialmente para servir como contrapiso.

Este trabalho pretende analisar as características físicas e mecânicas de alguns traços desse material, avaliando se os resultados são satisfatórios para que ele seja utilizado em substituição ao processo tradicionalmente realizado no Brasil.

2 OBJETIVOS

Este trabalho visa responder basicamente às seguintes questões:

“O contrapiso autonivelante (CPA), tecnicamente, é um material viável para ser usado em obras brasileiras?”

“O contrapiso autonivelante (CPA) é mais interessante que o contrapiso convencional (CPC)? Por quê?”

3 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho se justifica na medida em que vai de encontro a uma nova técnica de construção que chega ao Brasil e que, para ser usada, merece atenção, principalmente no que diz respeito ao seu desempenho.

Como dito anteriormente, o momento atual necessita de rapidez nas execuções devido às demandas no setor da construção e, sendo o CPA um material muito fluido, é necessário que seja estudado com cuidado e usado de maneira correta para que se evitem problemas futuros. Como em qualquer alternativa, existe sempre a necessidade de comparação entre as opções que se mostram, seja pelas características de trabalho, desempenho ou custo. Logo, esse trabalho poderá servir como uma referência nos momentos de escolha entre o método convencional e o método alternativo de CPA.

3.1 JUSTIFICATIVA TÉCNICA

O estudo sobre a argamassa autonivelante teve seu início na década de 1970, porém somente em 1999 algumas empresas espanholas começaram a testar materiais e métodos para a confecção desse novo material. Após a percepção sobre a inovação tecnológica proposta pela argamassa autonivelante, começaram a ser desenvolvidos, paralelamente aos estudos de laboratório, estudos econômicos e de mercado, que consistiam em algumas visitas em obras para eleger os métodos mais utilizados nas obras, chamados de Métodos Tradicionais (MARTINS, 2009).

Nakakura (1997) e Tutikian *et al.* (2008, *apud* Martins, 2009), relacionam inúmeras vantagens da argamassa autonivelante:

- Torna o local de trabalho mais seguro, já que há uma diminuição considerável no número de trabalhadores;
- A espessura do piso/contrapiso pode ser reduzida para até 5,0 mm, o que significa uma ótima redução no peso próprio e no consumo de cimento;
- A tendência à fissuração também é reduzida praticamente a zero, com o acréscimo de aditivos químicos retentores de água;
- As ondulações ficam restringidas apenas às que podem ocorrer na superfície de um líquido viscoso devido à ação da gravidade sobre um líquido, logo, a redução significativa de patologias ficam plenamente garantidas;
- Na questão de produtividade, a argamassa autonivelante tem vantagens sobre a argamassa convencional, já que o material é considerado fluido e sua aplicação consiste em esguichar esse material sobre o substrato ou a lona plástica, sem a necessidade de desempenar, garantindo ainda a total horizontalidade do contrapiso;

- O tempo para a execução do piso/contrapiso tem uma redução significativa;
- A cura da argamassa autonivelante é extremamente rápida, causada pela combinação de aditivos e adições, sendo que depois de decorridas 2 a 3 horas da sua aplicação já é possível pisar em sua superfície;
- A textura é extremamente fina, já que a argamassa autonivelante contém uma grande quantidade de agregados com dimensões máxima característica inferior a 0,60mm, inserida numa matriz rica em cimento, dispensando alguns tipos de selantes adicionais (MARTINS, 2009).

As vantagens citadas realmente são muitas, no entanto, a real comparação com o sistema tradicional ainda não foi amplamente desenvolvida. Dessa forma, esta pesquisa fará mais uma contribuição para a comparação dos métodos, apontando as características positivas ou negativas com base em ensaios de contraposição.

3.2 JUSTIFICATIVA ECONÔMICA

Ortega (2003, *apud* Martins, 2009) apresentou uma vantagem econômica da argamassa autonivelante em relação a argamassas tradicionais com relação a custos (Tabela 3-I) , indicando que o estudo com a argamassa autonivelante é viável.

Tabela 3-I – Comparativo de Custos de Argamassas

Descrição	Custo (R\$/m ²)	
	Média dos três métodos	Autonivelante
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: ORTEGA (2003, *APUD* MARTINS, 2009).

Os três métodos tradicionais considerados na Tabela 3-I foram os seguintes:

- Cama de areia + argamassa
- Cama de areia + argamassa + argamassa cola
- Argamassa + isolamento térmico

O método autonivelante considerado foi o seguinte:

- Lona + argamassa + argamassa cola

No Brasil, como a pesquisa e o uso ainda são restritos, a comparação com o método tradicional brasileiro de execução de contrapisos vem agregar informações para a viabilidade do novo sistema.

3.3 JUSTIFICATIVA AMBIENTAL E SOCIAL

A busca do processo produtivo sustentável - que significa a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente, o gerenciamento da energia, do lixo e do transporte - continua sendo uma preocupação no meio técnico, visto que, estão sendo muitos os investimentos em novas tecnologias para a redução dos impactos ambientais.

A fabricação do cimento é responsável pela maior parte da produção de dióxido de carbono ou gás carbônico (CO₂) emitido na atmosfera. A relação que se estabelece na fabricação do cimento é que a cada tonelada de clínquer produzido, corresponde a aproximadamente uma tonelada de gás carbônico emitido na atmosfera.

Um dos benefícios da argamassa autonivelante é a possibilidade de redução da espessura do contrapiso, com a consequente redução da quantidade de pasta do sistema (economia de cimento), que passará de 8,0 mm a 15 mm aproximadamente (Classe de Trânsito Leve), para 5,0 mm a 10 mm (MARTINS, 2009).

Outra vantagem que deve ser citada no uso dessa tecnologia mais industrializada é a ergonomia do trabalho.

A preocupação em encontrar a melhor maneira de realizar o trabalho na construção civil já é antiga, inicia-se com os precursores da ergonomia. Frank B. Gilbreth, ainda no início do nosso século, em seus estudos de movimentos e gerência de oficinas, realizou uma pesquisa sobre assentamento de tijolos pelos pedreiros de alvenaria, propondo a redução de 18 (dezoito) movimentos primitivos para apenas 5 (cinco) movimentos (FRANCO, 1995).

É possível, por intermédio da análise do trabalho, entender a atividade dos trabalhadores, incluindo, por exemplo, postura, esforços, busca de informação, tomada de decisão, comunicações, etc., buscando, com a Ergonomia, a transformação das condições de trabalho pela valorização dos fatores humanos da organização. (FRANCO, 1995).

O método tradicional de execução de contrapisos com argamassa seca é ainda um tipo de serviço bastante degradante para o trabalhador devido à posição de trabalho – abaixado e com a coluna muito curvada. Logo, alternativas para a industrialização da construção civil vão ao encontro às tendências de produção enxuta e da ergonomia no trabalho.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi desenvolvida com uma pesquisa dos sistemas e materiais que, direta ou indiretamente, têm alguma contribuição para os itens estudados no presente trabalho. Posto isto, foram definidos os seguintes temas revisados:

1. Contrapiso: trata do subsistema principal que está sendo estudado. Nesse item será possível entender seus componentes, características e importância. É separado em convencional e autonivelante.
2. Argamassas: apresenta o que já existe de consolidado ou que ainda está sendo pesquisado na área das argamassas, por se tratar do principal material utilizado para execução de contrapisos. São separadas em convencional e autoadensável.
3. Concreto autoadensável: Um dos traços utilizados na pesquisa tem a brita zero na sua composição, fazendo com que o material se comporte como concreto. Além disso, a bibliografia para argamassas autoadensáveis ainda é restrita e o que existe de consolidado para concreto autoadensável pode contribuir, principalmente, na definição de métodos de ensaio.
4. Materiais: uma breve explanação sobre os materiais constituintes das amostras da pesquisa é importante para que se tenham elementos suficientes para entender e analisar o comportamento do produto final. São feitas breves revisões do cimento, areia, brita, fíler, aditivos e água.

Cada um desses itens será importante nos momentos de escolhas da metodologia e na análise de resultados.

4.1 CONTRAPISO

Na literatura não existe um consenso sobre o subsistema piso e sobre a camada de contrapiso com relação à sua definição e espessura da camada. Isso é bastante razoável já que cada região, cada método construtivo e cada necessidade requerem uma especificidade. Então, foram reunidos comentários e explicações de seis autores diferentes: Fiorito (2009), Barros (1991, *apud* Godoy, 2000), Cichinelli (2009), Martins (2012), Souza (2007) e Nakakura, et al. (2012) e, a partir disso, elaborada uma definição para contrapiso, que será abordada nessa pesquisa.

Fiorito (2009) descreve que o piso é composto de inúmeras camadas conforme descrito abaixo e representado na Figura 4-1.

- a. Laje ou lastro de concreto simples;
- b. Camada de pasta de cimento;
- c. Camada de argamassa de regularização;
- d. Contrapiso;
- e. Camada de argamassa colante com espessura uniforme de 3 a 6 mm, dependendo das dimensões da superfície da peça cerâmica;
- f. Revestimento cerâmico (FIORITO, 2009).

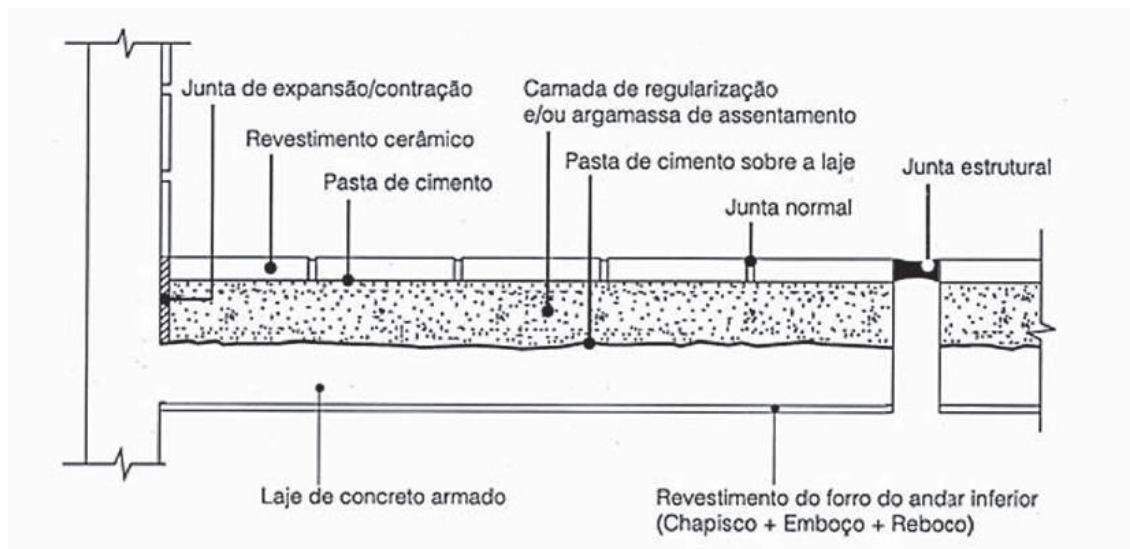


Figura 4-1 - Corte do sistema/vedação horizontal interna segundo Fiorito (2009)

FONTE: FIORITO (2009)

Nesse sistema, Fiorito (2009) considera que pode existir um nivelamento da superfície que é anterior ao contrapiso e que este só será usado quando faltar de 20 a 25 mm para atingir o nível do piso:

- Nivelamento da superfície: Deve ser determinada e aferida a espessura necessária da argamassa da camada sobre a laje. Caso esta espessura

esteja entre 20 a 25 mm, executa-se a camada de contrapiso. Se maior, há a necessidade de uma camada de enchimento ou de regularização. A espessura de cada camada de argamassa, qualquer que seja sua função, não deve ultrapassar 25mm (FIORITO, 2009).

- Contrapiso: Caso falte até 25 mm para atingir o nível ideal, esta última camada de argamassa é denominada "contrapiso" (FIORITO, 2009).

Para Barros (1991, *apud* Godoy, 2000) o subsistema vedação horizontal é composto pelas camadas do forro do pavimento inferior e da laje e piso do pavimento superior. O piso é composto das camadas de impermeabilização, isolamento termoacústico, contrapiso e revestimento de piso, como ilustra a Figura 4-2:

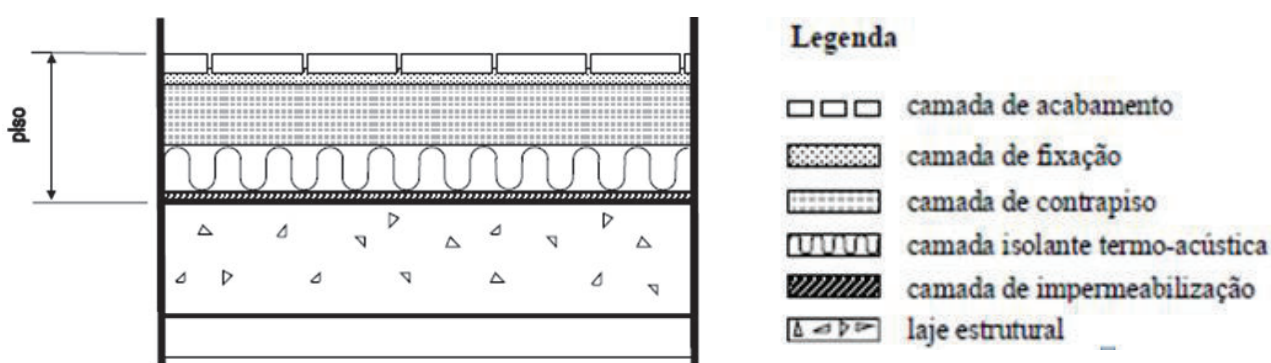


Figura 4-2 - Corte do sistema / vedação horizontal interna segundo Barros (1991, *apud* Godoy, 2000).

FONTE: BARROS (1991, *APUD* GODOY, 2000) ADAPTADO.

O conjunto destas camadas é responsável pelo atendimento dos requisitos de desempenho do piso, que são:

- Servir para embutimento de instalações;
- Resistência mecânica;
- Capacidade de absorver deformações;
- Estanqueidade;
- Resistência ao ataque por agentes químicos;
- Segurança de utilização;
- Segurança contra o fogo;
- Conforto tátil, visual, acústico e higrotérmico e;
- Durabilidade compatível com as necessidades de utilização (GODOY, 2000).

Para cada requisito, uma determinada camada do piso poderá ser mais ou menos solicitada, devendo apresentar propriedades específicas. Mas a definição dada por Barros (1991, *apud* Godoy, 2000) é que o contrapiso de

argamassa é um elemento do subsistema piso, constituído de uma única camada de material, lançado sobre uma base (laje estrutural) adequadamente preparada, devendo apresentar características como espessura, rugosidade superficial, resistência mecânica, porosidade e durabilidade adequadas ao atendimento de suas funções principais:

- Proporcionar estanqueidade;
- Possibilitar o recebimento do revestimento de piso;
- Transmitir à laje suporte as cargas de utilização;
- Proporcionar os desníveis necessários entre os ambientes contíguos e a declividade nas áreas molháveis (BARROS, 1991, apud Godoy, 2000).

Cichinelli (2009) descreve o contrapiso como uma camada de argamassa lançada sobre uma base (laje estrutural ou lastro de concreto) para regularização. A espessura varia de 2 a 6 cm, dependendo da função. Cita ainda que contrapisos podem cumprir várias funções como:

- Regularizar a base, tornando-a mais plana;
- Nivelar a superfície;
- Oferecer caimentos necessários para ralos;
- Servir para embutimento de instalações;
- Melhorar o conforto acústico (CICHINELLI, 2009).

Martins (2012) diz que o acabamento em contrapiso é necessário tanto para ambientes que serão revestidos com cerâmica quanto para aqueles cujo acabamento final será o piso cimentado. Nestes casos, no entanto, o espaço não pode ser destinado ao trânsito de veículos.

Essa camada é usada para regularizar a base, que pode ser laje estrutural ou lastro de concreto e sua espessura varia de 2 cm a 6 cm, dependendo da função. As instalações elétricas e hidráulicas do piso devem ter sido executadas e testadas antes de iniciar o contrapiso (MARTINS, 2012).

Para Souza (2007) as espessuras mínimas e máximas dos contrapisos são de 2,0 a 7,8 cm, levando-se em conta todos os ambientes internos de uma unidade habitacional. Ele coloca ainda que os contrapisos internos, executados sobre as lajes de concreto armado podem cumprir várias funções, entre elas:

- Regularizar a base, tornando-a mais plana;
- Nivelar a superfície;
- Oferecer caimentos necessários para ralos;
- Servir para embutimento de instalações;
- Melhorar o conforto acústico.

Nakakura, et al. (2012) diz que a execução do contrapiso (argamassa de regularização) é feita sobre a base de concreto ou da laje existente. Orienta para que antes de assentar a argamassa de regularização faça-se uma ponte de aderência, molhando o piso com água em abundância e polvilhando cimento sobre a superfície, em quantidade aproximada de 0,5 kg/m².

O Manual de apoio ao auto construtor (Prefeitura Municipal de Belo Horizonte - Urbel, 1994) traz ainda outra definição segundo a qual o contrapiso é uma espécie de laje que faz a transição do solo com o piso da edificação, colocando que ele deve ter em torno de 6 cm para, além de isolar contra a umidade, suportar os pesos dos móveis e pessoas distribuindo-os pelo terreno. Ele seria colocado sobre entulho ou pedra e seria feito como um concreto menos resistente com cerca de 1 saco de cimento, 5 latas de areia, 8 latas de pedra e 1,5 de água.

O conceito de contrapiso utilizado durante a pesquisa será um resumo geral das definições da bibliografia, adaptado pela autora, a saber:

O contrapiso é uma única camada do subsistema piso, colocada logo acima da laje (podendo ou não ter uma ponte de aderência entre eles) sobre a qual se assentará um determinado acabamento final (madeira, cerâmica, laminado, etc.). O contrapiso tem, entre outras funções, nivelar e absorver deformações, servindo também para melhorar a acústica e para embutir instalações. A espessura considerada razoável é entre 2 e 6 cm, espaço suficiente para cumprir as funções citadas. Quaisquer variações maiores que 6 cm deixam de ser consideradas contrapiso e passam a ser enchimento.

4.1.1 Contrapiso Convencional (CPC)

O método convencional normalmente é feito com argamassa seca (do tipo "farofa"), energicamente apiloada contra a base e tem espessura que pode variar em função:

- do tipo de contrapiso prescrito (aderido ou flutuante);
- dos desníveis finais pretendidos para o piso;
- dos níveis da laje, que é suporte do contrapiso (CICHINELLI, 2009).

Os cuidados com o substrato de aplicação são sempre importantes em diversos sistemas. Nakakura, et al., chama atenção para a base do contrapiso que deve:

- Estar livre de sujeira, resíduos de construção, obstáculos e materiais, como madeiras, ferros etc.;
- Não apresentar desníveis ou buracos de qualquer dimensão;
- Não conter fissuras ou rachaduras;

- Ter a superfície coesa (sem esfarelar), sem apresentar som cavo quando percutida e alinhada em todas as direções (toda a superfície deve pertencer ao mesmo plano);
- Não apresentar partes soltas ou de má qualidade. Caso houver, a área deve ser refeita;
- Ter a superfície nivelada (utilizar mangueira de nível na aferição).

Cichinelli (2009) descreve como executar um CPC de maneira simplificada:

- I. Após limpar a base e retirar todos os restos de argamassa, entulho ou qualquer outro material aderido, o primeiro passo é fazer a transferência de nível com o auxílio de um nível de mangueira (ou nível laser) a partir do nível de referência;
- II. Com o auxílio de uma trena, marcar a altura do contrapiso;
- III. Sobre a superfície limpa, jogar uma mistura de água e branco na área onde as taliscas (um pedaço de cerâmica ou madeira) serão executadas;
- IV. Polvilhar cimento sobre a mistura;
- V. Com a ajuda de um vassourão, escovar a massa. Essa mistura serve de ponte de aderência entre a laje e o contrapiso;
- VI. Colocar a argamassa sobre a superfície;
- VII. Depois de nivelar a argamassa, colocar a talisca;
- VIII. Com o auxílio da trena e prevendo o caimento no sentido dos ralos conforme o projeto, conferir a altura do nível do contrapiso. Fazer as outras taliscas do local;
- IX. Com um fio esticado, conferir a altura das taliscas;
- X. Aplicar sobre toda a base a mistura de aditivo e água;
- XI. Em seguida, polvilhar cimento sobre toda base;
- XII. Com o auxílio do vassourão, escovar toda área;
- XIII. Jogar a “farofa” do contrapiso;
- XIV. Com a ajuda de uma enxada, preencher os intervalos entre as taliscas, espalhando a argamassa em movimentos contínuos, para que não seque rápido demais;
- XV. A argamassa deve ser compactada com um soquete de madeira. Esse processo deve ser feito até que a argamassa de contrapiso chegue no nível marcado com o fio;
- XVI. Após a compactação a argamassa, sarrafear com movimento de vai e vem apoiando a régua de alumínio nas taliscas;
- XVII. Deve-se sarrafear a sobra até que a superfície alcance o nível das faixas em todos os lados da área do contrapiso;
- XVIII. Sobre falhas e pequenos buracos, colocar um pouco de argamassa e nivelar a superfície até ficar totalmente lisa;
- XIX. Desempenar a massa, alisando-a e dando o acabamento final no trabalho com o auxílio de uma desempenadeira de madeira (ou de alumínio, se necessário);

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

Embora o método de execução citado na bibliografia seja bastante convergente, não existe consenso sobre o traço a ser utilizado que, obviamente, dependerá de uma dosagem específica para cada tipo de insumo disponível.

Barros (1995) traz algumas recomendações para o uso de contrapisos em edifícios, entre as quais um método de dosagem para as argamassas de contrapiso. A definição de uma argamassa envolve a determinação de sua composição e dosagem e para isso pressupõe-se o conhecimento das finalidades do contrapiso, das solicitações a que estará submetido ao longo da obra e de sua vida útil, das características de base em que será aplicado, bem como dos materiais potencialmente utilizáveis em sua composição.

Em seu estudo, chega-se à conclusão de que é possível a obtenção de diferentes argamassas, originadas a partir de diversas combinações de materiais aglomerantes e agregados ou inertes, tais como areia, pedrisco, agregados leves, seixos rolados e ainda aditivos e adições, que podem ser definidos segundo a disponibilidade local e as características necessárias ao contrapiso, sendo possível haver uma grande variedade dos mesmos, implicando em alterações nas suas propriedades básicas tais como resistência mecânica, características superficiais e capacidade de aderência.

Fiorito (2009) prescreve o traço 1:6 de cimento e areia média úmida em interiores, exteriores, pisos térreos e pisos sobre lajes. Sobre lajes interiores, podem ser utilizados os traços 1:0,5:5 e 1:1:7 de cimento, cal hidratada e areia média úmida, pela sua melhor trabalhabilidade.

Fiorito (2009) não descarta o uso da pasta de cimento como elemento ligante entre as camadas: A superfície da laje ou do lastro deve ser umedecida e receber cimento em pó, formando uma pasta de cimento, com relação água/cimento da ordem de 0,30. Esta camada garantirá a ligação da camada seguinte de argamassa. Tal ligação inibirá parcialmente a retração da argamassa e reduzirá o risco de flambagem do revestimento.

Cichinelli (2009) diz que para contrapisos internos de edifícios habitacionais e comerciais, utilizam-se 200 a 250 Kg/m³ de argamassa. Os traços de cimento e areia úmida são de 1:5 a 1:7:9 (em média), mas o traço 1:6 é bastante usual.

Martins (2012) coloca que a argamassa empregada precisa ser do tipo semiseca, conhecida como “farofa”. Diz ainda que o traço usado, em geral, para o contrapiso é de 1:4, ou seja, uma parte de cimento para quatro partes iguais de areia média. No entanto, alerta que essa proporção pode variar conforme o tipo de acabamento final do ambiente.

Nakakura, et al. sugere ainda que a argamassa de regularização tenha traço de 1:3 (cimento: areia) em volume (latas de 18 litros). Lembra que deve ter uma consistência quase seca, semelhante a uma “farofa”. Diz ainda que a argamassa para contrapiso (regularização) deve ser no traço 1:3 ou deve-se usar argamassa pronta.

Souza (2007) descreve o método completo de execução e cita que para contrapisos internos de edifícios habitacionais e comerciais, utilizam-se normalmente o traço de 1:3 ou 1:4.

Já o manual de apoio ao auto construtor (Prefeitura Municipal de Belo Horizonte - Urbel, 1994) diz que o contrapiso deve ser feito como um concreto menos resistente com cerca de 1 saco de cimento, 5 latas de areia, 8 latas de pedra e 1,5 de água.

4.1.2 Contrapiso Autonivelante (CPA)

O CPA é um elemento do subsistema piso, constituído de uma única camada de material, lançado sobre uma base (laje estrutural) adequadamente preparada, devendo apresentar características como fluidez, espessura, resistência mecânica e durabilidade adequadas ao atendimento de suas funções principais, que são:

- possibilitar o recebimento do revestimento de piso;
- transmitir à laje suporte as cargas de utilização;
- proporcionar os níveis necessários aos ambientes contíguos, não sendo possível executar desníveis e declividades para os ambientes.

O piso serve como nivelador e base para assentamento de inúmeros revestimentos, como piso cerâmico, carpete, tábua corrida encaixada, mármore e porcelanato, sem qualquer alteração no acabamento (EGLE, 2010).

Outra demanda que motivou o desenvolvimento do sistema bombeável para o contrapiso foi a dificuldade do transporte vertical, que geralmente é feito por elevador de cremalheira. A maior dificuldade de uma obra nessa etapa é subir todos os materiais pelo equipamento de transporte vertical e o contrapiso autonivelante traz vantagens nesse aspecto também. A argamassa é lançada em uma bomba acoplada, que a projeta até o pavimento onde será utilizada, dentro do limite de alcance da bomba (EGLE, 2010).

Com relação às bombas para CPA, em geral se utilizam bombas de rosca sem fim, mas, quando foi testada a aplicação do sistema com bombas de pistom, esta funcionou bem. No entanto, a bomba de rosca dá mais precisão na hora de aplicar o produto, pois sua velocidade é mais contínua. Em resumo, podem-se utilizar vários tipos de bomba, mas é preciso ser criterioso quanto ao volume

de material, área onde será aplicada e capacidade da equipe que realizará o trabalho.

Em locais onde existe a necessidade de isolamentos ou aquecedores térmicos, antes da execução do CPA, deve ser colocada uma lona plástica sobre a qual a argamassa autonivelante será lançada.

Este produto pode ser liberado para trânsito de pessoas, em média, 24 horas depois da aplicação. Com relação ao assentamento, como em qualquer argamassa, deve ser respeitado o tempo de secagem e eliminação da umidade, em torno de 14 dias, dependendo das condições climáticas da região.

É bom lembrar ainda da importância que tem a cura neste processo, pois contribui para evitar o fenômeno da fissuração oriunda da retração, que é responsável pelo aparecimento de fissuras e trincas. De acordo com a NBR 6118 Projeto e execução de obras de concreto armado, deve-se fazer uma proteção nos primeiros 7 dias, contados a partir do lançamento, molhando continuamente a superfície do concreto (irrigação), ou mantendo uma lâmina d'água sobre a peça concretada (submersão), ou ainda recobrindo com plásticos e similares (RIBEIRO, et al., 2006).

A cura é a fase de secagem do concreto. Ela é importantíssima: se não for feita de modo correto, este não terá a resistência e a durabilidade desejadas. É um processo mediante o qual se mantêm um teor de umidade satisfatório, evitando a evaporação de água da mistura, garantindo ainda, uma temperatura favorável ao concreto durante o processo de hidratação dos materiais aglomerantes, de modo que se possam desenvolver as propriedades desejadas. Basicamente, os elementos que provocam a evaporação são a temperatura ambiente, o vento e a umidade relativa do ar. Consequentemente, a influência é maior quando existe uma combinação crítica destes fatores. (COSTA, 2009)

As características superficiais como a permeabilidade, a carbonatação, a presença de fissuração, etc. são as mais afetadas por uma cura inadequada, seja dos concretos ou argamassas, além, é claro, da durabilidade.

Com relação ao abastecimento de argamassa autonivelante, atualmente têm sido disponibilizados dois tipos: argamassa ensacada para CPA, que é misturada no momento do lançamento e a argamassa produzida em centrais e transportadas até a obra em caminhão betoneira. Cada um destes processos tem suas vantagens e desvantagens assim como o processo tradicional, desta forma, foram listadas as características de logística destes três métodos na Tabela 4-I:

Tabela 4-I – Argamassa de contrapiso: ensacada x dosada em central x tradicional tipo farofa

Argamassa de contrapiso ensacada	Argamassa de contrapiso dosada em central	Argamassa de contrapiso tipo farofa
-Não depende de entrega programada.	-A entrega precisa ser programados com antecedência.	-Não depende de entrega programada.
-Necessita de argamassadeira acoplada à bomba.	-A argamassa é lançada direto na bomba.	-A mistura é feita em betoneira convencional
-Necessita de mais mão de obra para transporte e mistura da argamassa.	-A mão de obra fica responsável apenas pelo bombeamento e espalhamento da argamassa.	-Necessita de mais mão de obra para transporte dos materiais e mistura da argamassa.
-Não depende diretamente do mercado das concreteiras.	-Mais susceptível a variações de demanda da central em outras áreas do mercado.	-Materiais comuns e encontrados com facilidade em depósitos de construção.
-Deve-se atentar para a correta dosagem da água de emassamento.	-Melhor controle da dosagem.	-Deve-se atentar para a correta dosagem dos materiais e da água de emassamento.
-A argamassa vai sendo produzida na medida em que será utilizada.	-A demora na entrega pode acarretar em perda do material.	-A argamassa vai sendo produzida na medida em que será utilizada.
-O uso não depende de infraestrutura de usina próxima à obra.	-O uso está condicionado à presença de usina próxima à obra.	-O uso não depende de infraestrutura de usina próxima à obra.

Na época do desenvolvimento do trabalho, não se encontravam com facilidade argamassas ensacadas, portanto o presente trabalho considera apenas a argamassa produzida em central. Nos dois casos, a forma de execução é bastante similar e pode ser assim descrita:

- I. Após limpar a base e retirar todos os restos de argamassa, entulho ou qualquer outro material aderido, o primeiro passo é delimitar a área a ser trabalhada e fazer a transferência de nível com o auxílio de um nível de mangueira (ou nível laser) a partir do nível de referência;
- II. Com o auxílio de uma trena, marcar a altura do contrapiso. Nesse caso, como a espessura do contrapiso pode ser bastante reduzida, recomenda-se a utilização de nível a laser, porém qualquer marcação que seja feita

garantirá que todo pavimento esteja nivelado, já que a argamassa espalha-se e nivela-se horizontalmente;

- III. Colocar juntas de dessolidarização no encontro com a parede. Podem ser usadas placas de isopor;
- IV. Bombear a argamassa, espalhando-a sobre a base;
- V. Depois de atingido o nível determinado, utilizar uma régua “T” de alumínio (Figura 4-3) com movimentos leves somente sobre a superfície para dar acabamento mais uniforme.



Figura 4-3 - Régua “T” para regularização da superfície de CPA

FONTE: MC-BAUCHEMIE (2011)

- VI. Depois de aproximadamente doze horas de cura, o contrapiso já pode receber trânsito de pessoas.

Porém, deve-se alertar que, com o uso de materiais autonivelantes, não é possível fazer caimentos e desníveis em banheiros e cozinhas, por exemplo.

4.2 ARGAMASSAS

As argamassas são definidas como sendo a mistura de aglomerantes e agregados com água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência (FIORITO, 2009).

As argamassas podem ser identificadas de acordo com o tipo de aglomerante em argamassas simples ou mistas. As argamassas simples contêm apenas um aglomerante (cimento ou cal) e as argamassas mistas são compostas por mais de um aglomerante (cimento e cal) (RIBEIRO, et al., 2006).

A destinação das argamassas determina o tipo de aglomerante ou a mistura de tipos diferentes de aglomerantes.

Os traços das argamassas são tradicionalmente indicados em volumes. Assim, uma argamassa de cimento e areia 1:3 significa que no seu preparo entra um volume de cimento para três volumes de areia. Quanto a isto, é imprescindível que se adicione a informação sobre o seu teor de umidade, ou se utilizará areia seca (FIORITO, 2009).

4.2.1 Argamassa convencional

As argamassas de cimento são utilizadas em alvenarias de alicerces pela resistência exigível e especialmente pela condição favorável de endurecimento. São também utilizadas para chapisco, pela sua resistência em curto prazo; nos revestimentos onde as condições de impermeabilidade são exigíveis, tais como no interior de reservatórios de água e outras obras hidráulicas; ou em pisos cimentados onde se exige resistência mecânica e ao desgaste (FIORITO, 2009).

As argamassas de cal são utilizadas para emboço e reboco, pela sua plasticidade, condições favoráveis de endurecimento, elasticidade e porque proporcionam acabamento esmerado, plano e regular. Encontram também aplicação no assentamento de alvenarias de vedação (FIORITO, 2009).

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

Decidido que tipo de argamassa será utilizado, o segundo passo é definir o traço. O traço em peso nos daria segurança absoluta quanto à qualidade da argamassa e quantidades no consumo e apropriação de custos. Todavia, é impraticável no canteiro da obra. Os traços das argamassas são tradicionalmente indicados em volumes. Assim, uma argamassa de cimento e areia 1:3 significa que no seu preparo entra um volume de cimento para três volumes de areia.

Isso significa que, na avaliação das quantidades dos componentes, é indispensável determinar ou adotar valores para a massa específica absoluta ou real e para a massa específica aparente ou peso unitário para a areia, cimento e cal utilizados (FIORITO, 2009).

4.2.2 Argamassa autoadensável

A proposta da argamassa autoadensável, também conhecida como autonivelante ou até mesmo autoescoante, é 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 (MARTINS, 2009).

A argamassa autonivelante, introduzida na década de 80 na Europa, ainda é pouco difundida no Brasil, mas vem sendo motivo de estudos e pesquisas com relação ao seu comportamento, conceito, materiais, propriedades entre outros (MARTINS, 2009).

Segundo Nakakura (1997, *apud* Martins, 2009), o estudo das argamassas em geral vem crescendo consideravelmente nos últimos anos, sendo que já existem estudos realizados junto ao Sindicato Nacional dos Produtos à base de cimento, que constatou a divisão das indústrias de argamassas em dois seguimentos. O primeiro seguimento refere-se a indústrias de pequeno a médio porte produzindo argamassas colantes e argamassas de rejuntamento e o segundo refere-se às argamassas de assentamento, revestimento e contrapiso.

Com relação aos materiais, a argamassa autonivelante não requer nenhum tipo de material especial, porém, os materiais devem possuir características específicas e teores na mistura que proporcionem a fluidez adequada sem haver segregação da mesma. Já os equipamentos e procedimentos de dosagens ainda não foram normatizados, por esse motivo exigem estudos mais detalhados (MARTINS, 2009).

Com relação à utilização da argamassa autonivelante, Martins (2009) cita que ela contribui na execução do contrapiso por ser um material com características específicas que garantem a total horizontalidade do contrapiso.

4.3 CONCRETO AUTOADENSÁVEL

O concreto autoadensável (CAA) já tem maior campo de pesquisa. Foi desenvolvido no Japão em 1988 como um concreto capaz de se moldar nas formas por conta própria e preencher, sem necessidade de nenhuma vibração ou compactação externa de qualquer natureza, os espaços (TUTIKIAN, et al., 2008).

As duas propriedades mais importantes do CAA são a trabalhabilidade e a estabilidade. As características desse concreto têm de ser determinadas e mantidas. Assim, as propriedades dos materiais e, principalmente, a proporção destes, passam a ser os fatores mais importantes para a otimização da mistura (TUTIKIAN, et al., 2008).

Pesquisas mostram que, erroneamente, profissionais escolhem outro tipo de concreto ao CAA por seu custo ser, teoricamente, mais elevado. Ou então,

deixam de utilizar este concreto, já que algumas propriedades no estado endurecido podem comprometer o desempenho da estrutura, como o módulo de elasticidade. Sabe-se, no entanto, que o CAA só pode ser diferente do concreto convencional (CCV) até que a mistura passe do estado fresco para o endurecido. Assim, suas propriedades mecânicas e de durabilidade serão, simplesmente, o efeito do proporcionamento dos materiais constituintes. Os materiais são parecidos e as propriedades do CAA no estado endurecido são semelhantes ou superiores ao do CCV (TUTIKIAN, et al., 2008).

Um concreto só será considerado autoadensável se três propriedades forem alcançadas simultaneamente: fluidez, coesão para o escoamento e resistência à segregação.

Fluidez é a propriedade que caracteriza a capacidade do CAA de fluir dentro da forma e preencher todos os espaços. Habilidade passante é a propriedade que caracteriza a capacidade da mistura de escoar pela forma, passando por entre as armaduras de aço sem obstrução do fluxo ou segregação. E resistência à segregação é a propriedade que define a capacidade do CAA de se manter coeso ao fluir dentro das formas, passando ou não por obstáculos (TUTIKIAN, et al., 2008).

A habilidade do concreto fresco, seja um CAA ou não, de preencher as formas sem a presença de bolhas de ar ou falhas de concretagem (ninhos), é um dos principais fatores que influem na qualidade final do concreto endurecido. O CAA não pode depender de nenhum tipo de ajuda externa para cumprir seu papel. O uso de vibradores de imersão, réguas vibratórias ou qualquer outra forma de compactação é estritamente proibida em um CAA. A única ferramenta disponível para esse concreto é seu próprio peso, ou seja, a ação da força da gravidade em sua massa (TUTIKIAN, et al., 2008).

Porém, é importante ressaltar os cuidados que devem ser tomados com sua homogeneidade. O CAA, ao “caminhar” sobre as formas envolvendo obstáculos (eletrodutos, barras de aço e outros), não deve segregar, ou seja, ter o agregado graúdo separado da argamassa. Uma mistura mal dosada pode até parecer coesa, mas ao ser lançada nas formas iniciará o processo da segregação. Por isso, os CAA's devem ser testados previamente por meio de equipamentos que simulem as condições reais, como será visto a seguir (TUTIKIAN, et al., 2008).

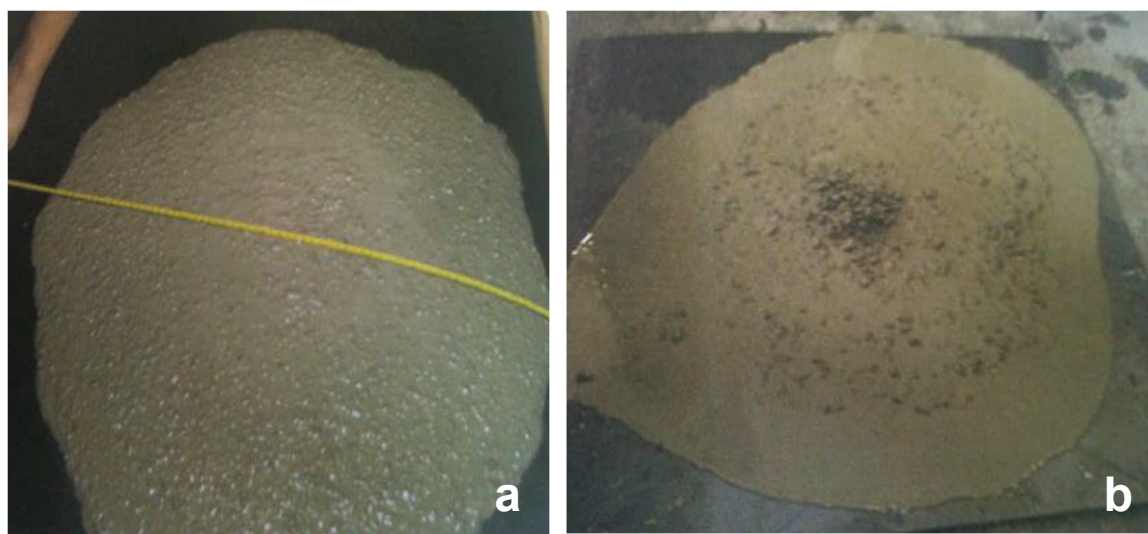
4.3.1 Ensaios de autoadensibilidade

Na literatura, diversos métodos de ensaios e procedimentos são propostos para avaliação das propriedades do CAA, alguns dos quais já são normalizados e utilizados na aplicação de CAA no local. Outros foram fabricados durante as pesquisas para avaliação de CAA em seus estudos e propostos como ensaio (GOMES, et al., 2009).

O mais comumente utilizado é o *Slump flow test*. Tutikian, *et al.* (2008) classificam o ensaio em dois: *Slump flow test* e *Slump flow T_{50} cm test*. Gomes *et al.* (2009) descreve o *slump flow test* como um ensaio único cujo procedimento corresponde ao que Tutikian *et al.* (2008) chamam de *Slump flow T_{50} cm test*. Basicamente, a única diferença entre os ensaios é a medida ou não do tempo de espalhamento. O teste que será descrito e utilizado na pesquisa será o *Slump flow test* (SFT) de acordo com Tutikian *et al.* (2008).

O STF é utilizado para medir a capacidade do CAA de fluir livremente sem segregar. Foi desenvolvido primeiramente no Japão para avaliar o uso de concretos submersos. A medida de fluidez a ser obtida do CAA é o diâmetro do círculo formado pelo concreto. O ensaio permite observar visualmente se o concreto está segregando ou não.

A Figura 4-4 ilustra o resultado do ensaio realizado com duas misturas: a primeira sem apresentar segregação e a segunda com segregação visível. Nota-se que, no concreto segregado, o agregado graúdo forma uma pilha central, enquanto só a argamassa (ou pasta) flui para as extremidades, formando uma auréola (TUTIKIAN, *et al.*, 2008).



a) sem segregar

b) segregação visível

Figura 4-4 – *Slump Flow* CAA.

FONTE: TUTIKIAN ET AL. (2008)

Para a execução do ensaio de espalhamento, são necessários:

- Uma base quadrada reta e lisa que não solte material, com dimensões de, no mínimo, 90 cm;
- Cone de Abrams (diâmetro superior de 10 cm e inferior de 20 cm, com altura de 30 cm);
- Tronco de cone invertido;

- Uma colher do tipo concha ou um balde;
- Uma trena ou uma régua de, no mínimo, 90 cm (GOMES, et al., 2009).

O conjunto da Figura 4-5 deve ser umedecido para que não absorva água do concreto durante o ensaio. Depois, deve-se colocar a placa sobre um chão firme e nivelado e o tronco de cone dentro da base, segurando firmemente. Aproximadamente seis litros de concreto serão necessários para o ensaio.

O adensamento deve ser feito pela força da gravidade, não devendo ser realizado qualquer tipo de compactação. Deve-se remover também qualquer excesso de concreto na placa e então erguer verticalmente o cone. O concreto deve fluir livremente e, em seguida, mede-se o diâmetro do espalhamento em duas direções perpendiculares. A média dessas medidas é o valor do *slump flow*.

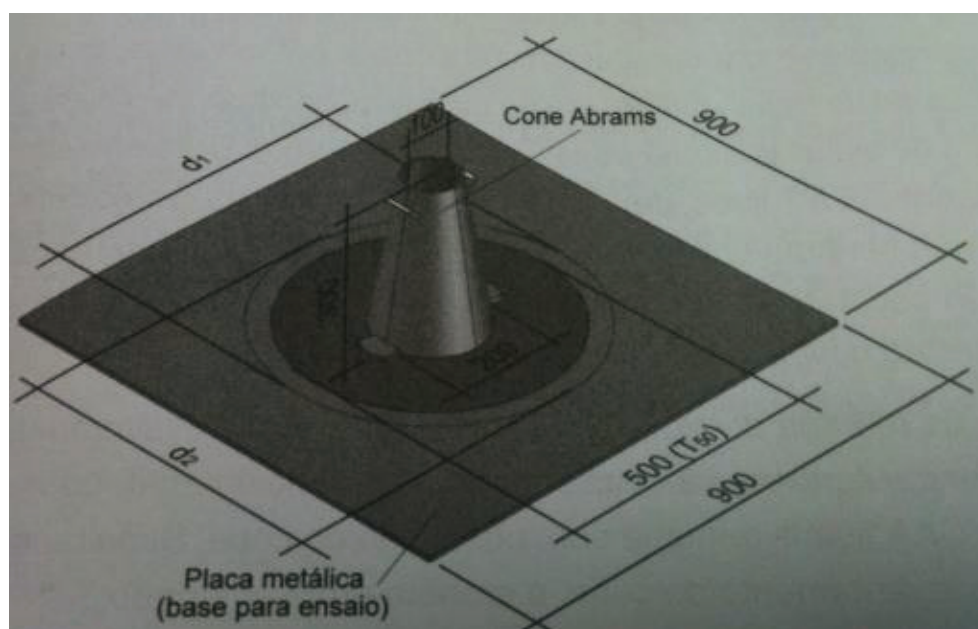


Figura 4-5 - Teste de espalhamento (dimensões em mm)

FONTE: GOMES, ET AL. (2009).

Durante o ensaio é muito importante a observação da ocorrência ou não de segregação. Espalhamentos muito baixos indicam que o concreto está pouco fluido. Assim, é necessário fluidificar o material com água ou aditivos superplastificantes. Se a medida estiver elevada, deve-se tornar o concreto mais coeso, porque estará muito fluido e, provavelmente, segregando (TUTIKIAN, et al., 2008).

A extensão final de fluxo D_{final} para CAA está entre 60 e 80 cm (GOMES, et al., 2009).

O emprego do concreto autoadensável resulta em um processo produtivo racionalizado, com menores ciclos de concretagens, ganhos de qualidade e durabilidade estrutural e redução de equipamentos e efetivo de mão de obra. Apesar de o CAA apresentar custo de material superior ao do concreto convencional, o custo de sua concretagem é inferior, reduzindo, com isso, custos diretos, indiretos e agregados, tais como mão de obra, alojamentos, transporte, alimentação, EPI's, energia, encargos, uniformes, plano de saúde etc. (OLIVEIRA, 2011).

4.4 MATERIAIS

A partir das primeiras apropriações e combinações de materiais adotados para atender à necessidade de abrigo ou suporte para as atividades humanas, ou seja, a partir da utilização de materiais de construção por excelência – como o solo, a água, a rocha, a madeira e vários outros elementos de origem mineral e orgânica - desenvolveu-se a enorme diversidade de componentes hoje disponíveis para serem empregados na construção civil.

Portanto, para aplicação adequada dos materiais de construção, sobretudo no contexto atual das sociedades industrializadas, é importante que se conheça a caracterização tecnológica desses materiais.

Caracterizar tecnologicamente um material é, em sentido amplo, compreendê-lo quanto às suas propriedades intrínseca, quanto ao seu comportamento, quando submetido a certas solicitações (ou simulações) e, finalmente, quanto a certos requisitos técnicos aos quais ele deve atender para cumprir determinadas funções estabelecidas previamente (RIBEIRO, et al., 2006).

4.4.1 Cimento

O aglomerante mais utilizado na construção civil é o cimento, conhecido mundialmente como cimento Portland. É um pó fino acinzentado, constituído de silicatos e de aluminatos de cálcio, com inúmeras propriedades e características, dentre as quais ser moldável quando misturado com água e ser capaz de desenvolver elevada resistência mecânica ao longo do tempo (RIBEIRO, et al., 2006).

Segundo Gomes, *et al.* (2009), todos os cimentos do tipo Portland, de acordo com as especificações de normas técnicas locais, podem ser utilizados na produção de CAA, e, da mesma forma, Martins (2009) diz que na confecção da pasta autonivelante não existe um cimento específico a ser utilizado, mas o cimento Portland, por ser facilmente produzido e comercializado no Brasil, geralmente é o mais empregado.

Tutikian, *et al.* (2008) explica que não existem critérios científicos que especifiquem o cimento mais adequado para CAA. O melhor cimento é aquele que apresenta a menor variabilidade em termos de resistência à compressão.

Gjorv (1992, *apud* Tutikian, *et al.*, 2008) atribui importância ao tipo de cimento no que tange à necessidade de água e trabalhabilidade da mistura, para as quais os fatores de controle são o conteúdo de aluminato tricálcico (C_3A) e a granulometria do cimento:

- Conteúdo de aluminato tricálcico (C_3A): Na medida em que a reologia de um cimento em particular é determinada principalmente pelo controle do C_3A (por meio da formação da etringita), quanto menor for a quantidade de C_3A , mais fácil será seu controle reológico, bem como o enrijecimento da mistura se dará em um período mais longo. Na prática, cimentos com teores de C_3A maiores do que 10% podem resultar em rápida perda de fluidez, dificultando a aplicação do CAA em obras.
- Granulometria do cimento: Quando se trata de finura e de parâmetros reológicos, quanto maior a superfície específica do cimento, maior a quantidade dessas partículas em contato com a água, diminuindo a distância e aumentando a frequência de colisão entre elas, reduzindo a tensão de escoamento e aumentando a viscosidade da mistura. Assim, como a demanda por finos para os CAA's é elevada em virtude da necessidade de aumentar a coesão da mistura, cimentos de maior superfície específica são mais apropriados – apesar de aumentarem os cuidados necessários com relação ao calor de hidratação e retração do concreto.

4.4.2 Areia / Agregado Miúdo

A NBR 9935:2011 Agregados: Terminologia faz referência a areia como agregado miúdo, originário de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas ou de outros processos industriais. Se resultar da ação de agentes da natureza, é areia natural; se provém de processos industriais, é areia artificial; se deriva de processos de reciclagem, é areia reciclada.

Como material de construção, precisa ter grãos formados de material consistente, não necessariamente quartzosos (BAUER, 2011).

Tristão *et al.* (2005, *apud* Freitas, 2007), afirmam que existe uma ampla gama de areias que interferem na composição dos traços das argamassas devido às frações granulométricas e características geométricas referentes à forma textural dos grãos, tais como esfericidade, arredondamento e rugosidade dos grãos.

Na composição das argamassas normalmente predomina o material inerte de origem mineral, em que se observa com mais frequência o quartzo, de diâmetro entre 0,06mm e 2,0mm em sua composição granulométrica. Cabe, portanto, adequar a faixa para a aplicação ideal. Levando em consideração o preenchimento dos vazios existentes na zona de transição agregado miúdo-

pasta, a composição da curva granulométrica é um fator relevante na análise do teor de areia e finos da argamassa. Em seu estudo, Carasek (2001, *apud* Freitas, 2007) argumenta que, com o aumento do teor de areia, perde-se resistência de aderência. Em contrapartida, a compacidade da massa aumenta, diminuindo a quantidade de ar incorporado e garantindo uma resistência mecânica maior. O ideal é uma composição em que se pode aumentar ao máximo a resistência mecânica do conjunto sem perder as características mecânicas mais importantes para o bom desempenho do conjunto argamassa substrato (resistência à tração) (FREITAS, 2007).

A NBR 7211:2005 Agregados para concreto fixa as características exigíveis na recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos. Segundo essa norma, os agregados miúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248:2003 Agregados – Determinação da composição granulométrica. De acordo com essas referências, é possível resumir as exigências e características para a areia.

De acordo com a NBR 7211, a distribuição granulométrica, determinada segundo a NBR NM 248, deve atender aos limites estabelecidos na Tabela 4-II a seguir. Podem ser utilizados, como agregado miúdo para concreto, materiais com distribuição granulométrica diferente das zonas estabelecidas na tabela Tabela 4-II, desde que estudos prévios de dosagem comprovem sua aplicabilidade.

Tabela 4-II - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

Notas

1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.

2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.

3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

FONTE: ABNT, NBR 7211:2005

Esses parâmetros são fundamentais para especificar o emprego dos agregados em argamassas e concretos. Cabe ressaltar que a composição granulométrica tem influência direta sobre a qualidade desses produtos, principalmente nos aspectos relativos à trabalhabilidade, compacidade e resistência aos esforços mecânicos (RIBEIRO, et al., 2006).

A NBR 7211, explica ainda que o módulo de finura é a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100. Ribeiro et al. (2006) coloca ainda que quanto ao módulo de finura, os agregados miúdos também podem ser classificados em areias grossas, médias e finas, o que vai determinar a sua utilização. De acordo com Bauer (2011), o valor do módulo de finura decresce à medida que a areia vai se tornando mais fina. Segundo ele, para areias bem graduadas que se enquadram na NBR 7211, os valores são os seguintes:

- Areia grossa: módulo de finura entre 2,71 e 4,02;
- Areia média: módulo de finura entre 2,11 e 3,38;
- Areia fina: módulo de finura entre 1,71 e 2,85;
- Areia muito fina: módulo de finura entre 1,35 e 2,25.

Substâncias nocivas são materiais que os agregados podem ocasionalmente conter, tem seus teores limitados para não prejudicar a qualidade das argamassas e concretos. Essas substâncias podem se apresentar sob a forma de:

- Torrões de argila: são partículas presentes nos agregados suscetíveis de serem desfeitas pela pressão entre os dedos polegar e indicador;
- Materiais pulverulentos: são partículas menores que 0,075mm;
- Impurezas orgânicas: são substâncias geralmente formadas por detritos de origem vegetal, que podem ocorrer no agregado miúdo (RIBEIRO, et al., 2006).
- A NBR 7211 apresenta os valores máximos permitidos para cada ensaio, conforme pode ser visto na Tabela 4-III a seguir.

Tabela 4-III - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado miúdo %
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218		3,0
Materiais carbonosos ¹	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento)	ABNT NBR NM 46	Concreto submetido a desgaste superficial	3,0
		Concretos protegidos do desgaste superficial	5,0
Impurezas orgânicas ²	ABNT NBR NM 49		A solução obtida no ensaio deve ser mais clara do que a solução-padrão
	ABNT NBR 7221	Diferença máxima aceitável entre os resultados de resistência à compressão comparativos	10%
1) Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante a apreciação petrográfica, pode-se prescindir do ensaio de quantificação dos materiais carbonosos (ASTM C 123). 2) Quando a coloração da solução obtida no ensaio for mais escura do que a solução-padrão, a utilização do agregado miúdo deve ser estabelecida pelo ensaio previsto na ABNT NBR 7221.			

FONTE: ABNT, NBR 7211:2005.

Para concretos, de uma forma geral, todas as areias são adequadas para a produção do CAA e podem-se utilizar tanto areias naturais (depósitos eólicos e beira de rio) quanto areias obtidas de processos industriais. As primeiras são mais recomendadas por possuírem forma mais arredondada e textura mais lisa. Deve-se ter um cuidado especial ao usar areias industriais, pois normalmente apresentam composição granulométrica com descontinuidades, ou seja, lacunas nas frações intermediárias. Isso pode ser corrigido por meio de composição com outra areia, por exemplo, areia média de rio. A seleção do agregado miúdo está condicionada à demanda de água, fator essencial por sua influência sobre a coesão e fluidez do concreto. Agregados miúdos com partículas arredondadas e lisas são preferíveis para produção de CAA porque aumentam a fluidez da mistura para uma mesma quantidade de água. Quanto mais angulosas forem as partículas do agregado miúdo, maior será a resistência ao cisalhamento das argamassas, dificultando a deformabilidade do

concreto. Deve-se levar em conta ainda que os CAA's necessitam adição de finos e, quanto menor o módulo de finura do agregado miúdo, mais adequado para a produção de concretos de elevada coesão (TUTIKIAN, et al., 2008).

4.4.3 Brita / Agregado Graúdo

A NBR 9935:2011 Agregados : Terminologia faz referência ao agregado graúdo como material granular com pelo menos 95% em massa de grãos retidos na peneira 4,8 mm, originado da cominuição artificial da rocha. A granulometria, determinada segundo a NBR NM 248, deve cumprir os limites indicados para o agregado graduado na NBR 7211. Os requisitos granulométricos do agregado graduado são os indicados na Tabela 4-IV para a graduação respectiva.

Tabela 4-IV - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo

Peneira	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
ABNT	Zona granulométrica d/D ¹				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0-5
63 mm	-	-	-	-	5-30
50 mm	-	-	-	0-5	75-100
37,5 mm	-	-	-	5-30	90-100
31,5 mm	-	-	0-5	75-100	95-100
25 mm	-	0-5	5-25 ²⁾	87-100	-
19 mm	-	2-15 ²⁾	65 ²⁾ -95	95-100	-
12,5 mm	0-5	40 ²⁾ -65	92-100	-	-
9,5 mm	2-15 ²⁾	80 ²⁾ -100	95-100	-	-
6,3 mm	40 ²⁾ -65	92-100	-	-	-
4,75 mm	80 ²⁾ -100	95-100	-	-	-
2,36 mm	95-100	-	-	-	-
1) Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.					
2) Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.					

FONTE: ABNT, NBR 7211:2005

Ainda de acordo com a NBR 7211, o índice de forma dos grãos do agregado não deve ser superior a 3, quando determinado de acordo com a ABNT NBR 7809 e o índice de desgaste por abrasão "Los Angeles", calculado segundo a NBR NM 51, deve ser inferior a 50%, em massa, do material.

Substâncias nocivas, da mesma forma que foi descrita para a areia, são materiais que os agregados podem ocasionalmente conter. Tem seus teores limitados pela NBR 7211 para não prejudicar a qualidade das argamassas e

concretos. As quantidades de substâncias nocivas não devem exceder os seguintes limites máximos em porcentagem do peso do material:

Tabela 4-V - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo com relação à massa do material

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado graúdo %
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218	Concreto aparente	1,0
		Concreto sujeito a desgaste superficial	2,0
		Outros concretos	3,0
Materiais carbonosos ¹⁾	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento) ^{2), 3)}	ABNT NBR NM 46		1,0

1) Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante a apreciação petrográfica, pode-se prescindir do ensaio de quantificação dos materiais carbonosos (ASTM C 123).

2) Para agregados produzidos a partir de rochas com absorção de água inferior a 1%, determinados conforme a

ABNT NBR NM 53, o limite de material fino pode ser alterado de 1% para 2%.

3) Para agregado total, definido conforme 3.6, o limite de material fino pode ser composto até 6,5%, desde que seja possível comprovar, por apreciação petrográfica, realizada de acordo com a ABNT NBR 7389, que os grãos constituintes não interferem nas propriedades do concreto. São exemplos de materiais inadequados os materiais micáceos, ferruginosos e argilo-minerais expansivos.

FONTE: ABNT, NBR 7211:2005

Na composição do concreto, a aderência agregado-pasta de cimento exerce um papel importante para a interação entre os dois componentes. Assim, a forma e textura superficial do agregado são fatores relevantes no comportamento mecânico. Embora agregados angulares com superfícies ásperas apresentem melhor aderência com a pasta de cimento que agregados lisos e arredondados, podem surgir efeitos opostos no aumento do consumo de água e redução da trabalhabilidade se a angulosidade for muito acentuada (TUTIKIAN, et al., 2008).

A distribuição granulométrica do agregado influencia o empacotamento dos grãos e, como resultado, pode alterar a fração volumétrica das britas que serão incorporadas em uma mistura de concreto. A fração volumétrica está relacionada, principalmente, ao módulo de elasticidade do concreto e à retração por secagem, sendo menos deformáveis e com menores

possibilidades de fissurarem por retração na secagem os concretos com mais agregados e, conseqüentemente, com menor teor de argamassa (MEHTA e MONTEIRO, 2006 *apud* TUTIKIAN et al., 2008).

4.4.4 Fíler

Tutikian *et al.* (2008) explica que fíler é uma adição mineral finamente dividida sem atividade química, ou seja, sua ação se resume a um efeito físico de empacotamento granulométrico e ação como pontos de nucleação para hidratação dos grãos de cimento. A incorporação dos fílers nos CAA's deve ser feita pela substituição do agregado miúdo, já que apresenta maior finura do que este o que melhora as condições de compacidade do esqueleto granular e coesão da mistura.

Os fílers podem ser materiais naturais ou inorgânicos processados. O essencial é que possuam uniformidade e, principalmente, sejam finos. Calcário e areia fina têm sido os mais tradicionais fílers usados para a produção de CAA. Além desses, outras adições minerais têm sido consideradas, como, por exemplo, o pó granítico (TUTIKIAN, et al., 2008).

Repette (2005) observa que o fíler calcário não é um material verdadeiramente inerte, pois, se adicionado a cimentos com elevado teor de C_3A , reage para formar monocarbonoaluminato de cálcio, que tem propriedade aglutinante, porém de menor intensidade do que a proporcionada pelo C-S-H (silicatos de cálcio hidratados). Além disso, segundo ele, provoca o aumento da velocidade de hidratação do cimento porque fornece pontos para nucleação do hidróxido de cálcio e do C-S-H, com o aumento da taxa de hidratação do C_3S (silicato tricálcio). Esse fato pode não só afetar a manutenção de fluidez do concreto, mas também diminuir o retardo da pega, geralmente experimentado quando se empregam elevados teores de aditivos superplastificantes, portanto, diferente das partículas arredondadas da cinza volante e da escória, mas menos lamelar e anguloso do que a do pó de pedra.

O teor ótimo de fíler calcário é maior quanto menor for a resistência a ser atingida pelo concreto e maior o teor de superplastificantes necessário para promover a fluidez desejada. O fíler deve ter finura menor ou igual que a do cimento, porém, quando o diâmetro médio das partículas é muito pequeno (menor que $1\mu m$) pode acarretar aumento expressivo da tensão de escoamento do concreto (DE LARRAD, 1999 *apud* REPETTE, 2005).

4.4.5 Aditivos

Tutikian et al. (2008) cujo foco do trabalho é concreto autoadensável, explica que a diferença do CAA para o CCV são os aditivos e que os principais tipos de aditivos usados são os superplastificantes e os modificadores de viscosidade. Os aditivo superplastificantes permitem que se alcance alta fluidez nas

misturas, enquanto os aditivos modificadores de viscosidade oferecem um aumento da coesão, prevenindo a exsudação e segregação do concreto.

Martins (2009), que estuda a pasta autonivelante, reforça que é indispensável o uso de aditivos, que visam obter características reológicas desejadas e que, assim como no CAA, deve ser aplicado o aditivo superplastificante para garantir uma fluidez adequada e reduzir a tensão de escoamento e o aditivo promotor de viscosidade para auxiliar na estabilidade da mistura.

Utilizam-se também, em alguns casos, aceleradores de pega, aditivos modificadores de viscosidade, incorporadores de ar, retardadores de pega entre outros, conforme a necessidade da mistura (MELLO, 2005 *apud* MARTINS, 2009).

4.4.5.1 Aditivos superplastificantes

O uso do superplastificantes no CAA é inevitável, pois ele é responsável por uma das principais propriedades do CAA, a fluidez. Sem ele seria impossível pensar em concreto autoadensável (GOMES, et al., 2009).

Os superplastificantes são uma categoria especial de agentes redutores de água, formulados a partir de materiais que permitem reduções de água muito superiores ou trabalhabilidade extrema dos concretos nos quais são incorporados. Em geral, são empregados na produção de concretos de alto desempenho, particularmente quando é exigida alta fluidez com baixa relação água/cimento (GOMES, et al., 2009).

Martins (2009) sintetiza a finalidade dos aditivos superplastificantes, segundo alguns autores, conforme descrito abaixo:

- a. Redução do consumo de água para uma mesma consistência, consequentemente aumentando a resistência e a durabilidade de concretos e argamassas;
- b. Aumento da fluidez da mistura sem modificar a quantidade de água;
- c. Redução no consumo de cimento, mantendo a consistência e a resistência à compressão com o objetivo de reduzir custos e ainda reduzir a retração, fluência e tensões térmicas.

O aditivo envolve um sistema de partículas carregando-o com cargas de mesmo sinal. Por efeito da repulsão eletrostática, o superplastificante dispersa as partículas de cimento, fazendo com que se necessite de menos água para se atingir uma mesma trabalhabilidade (MARTINS, 2009).

De acordo com pesquisas bibliográficas feitas por Martins (2009), os aditivos plastificantes convencionais promovem uma redução da quantidade de água de amassamento em até 15% e esta redução é a principal diferença entre os

aditivos plastificantes e os aditivos superplastificantes, pois estes últimos podem reduzir a água de amassamento em até 30% .

De acordo com Repette (2005), os aditivos indicados para o CAA necessitam promover redução de água de no mínimo 20%.

Em determinadas situações, a ação do aditivo nas partículas de cimento provoca um comportamento inesperado e indesejado entre cimento e aditivo. Este fenômeno, conhecido como incompatibilidade entre cimento-aditivo, é influenciado por alguns fatores como, por exemplo, a variedade de superplastificantes que existem atualmente no mercado, com diferentes composições químicas ou os diversos tipos de cimentos que também apresentam diferentes composições mineralógicas, ou ainda a utilização cada vez mais frequente das adições (cinza de casca de arroz, sílica ativa, pozolanas, escórias entre outras) (AITCIN et al., 1994 *apud* MARTINS, 2009).

No meio técnico, ainda é grande discussão sobre a quantidade de aditivo que deve ser adicionado a concretos/argamassas/pastas. Há, porém, consenso quanto à necessidade de uma metodologia confiável que permita o correto teor deste material. O uso em excesso desse aditivo pode resultar em efeitos indesejados como, por exemplo, a segregação entre partículas (MONTE, 2003 *apud* MARTINS, 2009).

Hartmann (2002, *apud* Tutikian, et al., 2008) agrupa os superplastificantes em quatro categorias, de acordo com a composição química:

- a. Lignosulfonatos ou lignosulfonatos modificados (LS): geralmente incorporam ar e retardam, com diversas intensidades, a pega do cimento. São conhecidos como superplastificantes de primeira geração e utilizados como redutores de água normais e, em alguns casos como superplastificantes.
- b. Sais sulfonatos de policondensado de naftaleno e formaldeído usualmente chamados de naftaleno sulfonato (NS): não incorporam ar e praticamente não interferem no tempo de pega do cimento. São conhecidos como superplastificantes de segunda geração e permitem redução em até 25% da quantidade de água na mistura quando usados como redutores de água.
- c. Sais sulfonatos de policondensado de melanina e formaldeído usualmente chamados de melamina sulfonato (MS): podem apresentar uma tendência a retardar a pega do cimento e, eventualmente, incorporar pequena quantidade de ar. Assim como NS, são conhecidos como superplastificantes de segunda geração e permitem redução em até 25% da quantidade de água na mistura quando usados como redutores de água.

- d. Policarboxilatos: são os aditivos mais indicados para utilização no CAA por serem aditivos superplastificantes de alta eficiência que dispersam e desfloculam as partículas de cimento. Assim, permitem a redução de água das misturas em até 40%, mantendo a mesma trabalhabilidade. Também são poliméricos.

Os aditivos superplastificantes à base de policarboxilatos são os mais utilizados nos CAA's porque melhoram sensivelmente a dispersão das partículas de cimento quando comparados aos aditivos de primeira e segunda geração. Isso ocorre porque os superplastificantes tradicionais são baseados em polímeros que as partículas de cimento absorvem e que se acumulam em sua superfície. Como estes polímeros aumentam a carga negativa do cimento, desbalanceando-o, fazem com que suas partículas dispersem por repulsão elétrica, exigindo menos água para fluidificar a pasta. As cadeias dos superplastificantes de terceira geração, constituídas de polímeros de éter carboxílico com largas cadeias laterais, realizam a dispersão do cimento da mesma forma, porém com maior eficiência. Isso ocorre porque suas cadeias são ramificadas, aumentando a área superficial (TUTIKIAN, et al., 2008).

4.4.5.2 Promotores de viscosidade

Os aditivos promotores de viscosidade, também denominados modificadores de viscosidade, são empregados para melhorar a resistência à segregação do CAA. Em sua maioria, são produtos à base de polissacarídeos, cujas cadeias poliméricas adsorvem água e se entrelaçam, formando grandes reticulados flexíveis responsáveis pelo aumento da retenção de água. Consequentemente há a diminuição da exsudação e o aumento da viscosidade da pasta, evitando a segregação dos agregados. Produtos à base de sílica precipitada também podem ser empregados na composição de aditivos promotores de viscosidade usados em concreto (REPETTE, 2005).

Os promotores de viscosidade substituem componentes finos do concreto. Assim, a mistura contém poucas partículas pequenas, fazendo com que diminua a área superficial do material e, consequentemente, o consumo de água. Ou seja, concretos similares podem ter a relação água/aglomerante menores ou a mesma relação, mas com maior fluidez sem que ocorra a segregação (TUTIKIAN, et al., 2008).

Martins (2009) sintetiza algumas vantagens observadas com a utilização do aditivo modificador de viscosidade, que são:

- a. Flexibilidade na escolha de materiais e procedimentos de lançamentos;
- b. Obtenção de níveis de fluidez que fazem com que o concreto seja capaz de vencer grandes distâncias horizontais;
- c. melhoria da homogeneidade na mistura;
- d. Permanência da coesão durante queda livre.

Tutikian et al. (2008) diz que o emprego dos promotores de viscosidade nos CAA's não é imprescindível quando utilizados de forma conjunta com os superplastificantes de última geração, mas que permitem obter misturas estáveis e de grande fluidez. Mas lembra que de qualquer forma, é necessário que se realizem ensaios prévios antes do uso para verificar a compatibilidade entre os aditivos e, especialmente, em relação ao cimento.

Repetto (2005) afirma que um aumento da retração de secagem deve ser esperado quando se empregam promotores de viscosidade em dosagens elevadas. Otaviano (2007, *apud* Tutikian et al., 2008) complementam que é necessário também um controle quanto ao teor do modificador de viscosidade e sua compatibilização com o superplastificante para evitar problemas com retardamento da pega, alteração no desenvolvimento da resistência nas primeiras idades, coesão excessiva e aumento da retração por secagem.

4.4.5.3 Aceleradores de pega

Denomina-se acelerador o material que, adicionado ao concreto, diminui o tempo de início de pega e desenvolve mais rapidamente as resistências iniciais. Neste grupo estão os aceleradores que combinam quimicamente com o cimento durante a hidratação e os estabilizadores que, somente pela sua presença, facilitam e apressam a hidratação (catalizadores) ou endurecimento (BAUER, 2011).

Os produtos químicos que aceleram a pega do cimento são: cloreto de cálcio, cloreto de sódio, carbonatos, silicatos, fluossilicatos e hidróxidos, e, entre os catalizadores, a trietanolamina composta com outras substâncias. Há ainda o processo denominado “inseminação” do cimento novo com o cimento Portland já hidratado e finamente moído. Este cimento acelera a cristalização do gel do cimento novo, não funcionando como um componente do concreto, mas como um aditivo cujas partículas constituem, durante a pega, elementos catalizadores (BAUER, 2011).

De acordo com Bauer (2011), os aceleradores são empregados com a finalidade de modificar as propriedades do concreto no que diz respeito a :

- Redução do tempo de pega inicial e final, efeito este que varia com a quantidade de aditivo empregado e temperatura ambiente e do concreto;
- Aumento da resistência à compressão nas primeiras idades. As resistências finais podem ser reduzidas;
- Aumento da variação de volume que parece ocorrer, tanto para concreto submetido à cura úmida quanto curado ao ar;
- Diminuição da resistência aos sulfatos;
- Aumento da reação provocada pelos álcalis dos agregados.

4.4.6 Água

A quantidade de água de uma mistura depende de vários fatores, tais como: propriedades dos agregados, tipo de cimento, quantidade total de partículas finas na mistura, uso de adições e aditivos e outros. Além disso, em função do tipo de concreto, a relação água/cimento pode variar consideravelmente (GOMES, et al., 2009).

A quantidade de água de uma mistura é dividida basicamente em quatro partes: uma para hidratação do cimento, uma para absorção e adsorção dos agregados e materiais finos, uma para preencher a porosidade do esqueleto granular e uma para garantir a fluidez do concreto (GOMES, et al., 2009).

As propriedades reológicas do concreto fresco são altamente influenciadas pela relação água/cimento (a/c). Um aumento na relação a/c produz uma redução na viscosidade plástica e na resistência de fluxo. Uma baixa relação a/c e o uso de superplastificantes produzem concretos com alta viscosidade (GOMES, et al., 2009).

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão feita permite esclarecer o sistema contrapiso como um todo e também permite obter orientações sobre como ele deve ser produzido e quais são as principais características dos materiais.

Foi dito que não há consenso sobre o assunto contrapiso no que se refere sua execução. Este fato é bastante razoável, principalmente pelo fato de novas técnicas e novos materiais surgirem constantemente. Apesar disto, pode-se citar as características esperadas para este objetivo, ou seja: servir para embutimento de instalações, possuir resistência mecânica adequada ao uso, ser capaz de absorver deformações; ser estanque, possuir resistência ao ataque por agentes químicos, proporcionar segurança de utilização, proporcionar segurança contra o fogo, dar conforto tátil, visual, acústico e higratérmico e possuir durabilidade compatível com as necessidades de utilização.

A partir das qualidades esperadas, deve-se partir para a escolha de materiais e técnicas que permitam atingir essas qualidades dentro da melhor técnica e maior economia possível, seja de custos, insumos ou tempo.

No caso do sistema proposto, como se trata de um contrapiso fluido, buscou-se na revisão bibliográfica o que já existe de consolidado sobre concreto autoadensável aplicando-se à argamassa aquelas informações e características pertinentes.

Os aditivo superplastificantes permitem que se alcance alta fluidez nas misturas, enquanto os aditivos modificadores de viscosidade oferecem um aumento da coesão, prevenindo a exsudação e segregação do concreto.

O conhecimento dos materiais é importante para que se tenha elementos suficientes para entender e analisar o comportamento do produto final. Desta forma, a combinação de cimento, areia, brita, fíler, aditivos e água é que irão determinar as características finais como estanqueidade, durabilidade, recebimento do revestimento de piso; transmissão à laje suporte as cargas de utilização, entre outros.

5 CONSIDERAÇÕES INICIAIS PARA A PESQUISA

A principal característica da argamassa autonivelante é o fato de possuir elevada fluidez, em comparação às argamassas convencionais. A aplicação do contrapiso autonivelante (CPA) na obra é feita com uma mangueira que espalha a argamassa sobre todo o piso, sem a necessidade de uma energia de compactação ou espalhamento.

A questão mais importante com relação à aplicação da argamassa autonivelante é a diminuição de mão de obra e do tempo para aplicação dessa argamassa, porque ela espalha-se praticamente pelo seu peso próprio.

A empresa HOBIMIX, em conjunto com a MC Bauchemie desenvolveu um traço utilizando aditivos e materiais locais para utilização do CPA em Londrina, no Paraná. O processo utilizado lá é argamassa produzida em usina e levada até a obra com caminhões betoneira. O material é despejado em uma bomba que leva o material até o pavimento que está sendo preenchido. O traço e todo o trabalho foram desenvolvidos considerando essas questões. Esse ponto é importante porque existem outros tipos de materiais que já estão disponíveis no mercado, mas tratam-se de material ensacado para mistura no momento da utilização.

Partiu-se do pressuposto de que o traço sugerido para estudo, proposto e utilizado na obra, seja um traço adequado. Os mesmos materiais utilizados para a produção do CPA no laboratório foram utilizados para a produção da argamassa de contrapiso convencional (CPC).

As Figuras 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 da página 55 ilustram bem o processo descrito acima.

Por se tratar de um tema ainda pouco conhecido nas áreas técnica e acadêmica, é importante ressaltar as enormes dificuldades encontradas, principalmente no que se refere à comparação de dois sistemas bastante diferentes: uma argamassa é bastante fluida e a outra bastante seca. Além disso, um dos traços estudados contém brita zero, fazendo com que o material se aproxime bastante de um concreto. Não há normas que padronizem ou orientem esse tipo de ensaio, já que são materiais diferentes. Sendo assim, com o intuito de diminuir erros de tratamento de dados e divergência de normas que poderiam haver, todos os ensaios foram adaptados para que pudessem ser usados como comparação entre as amostras da pesquisa.

E não apenas isto, mas a ausência completa de normas para contrapiso e para argamassa autoadensável são pontos que dificultam bastante a pesquisa já que se trabalha sem referências específicas e sem números adequados para comparação.

Além de todo o exposto com referência à ausência de normas, houve também problemas de realização de ensaios uma vez que nem todas as datas de rompimento e nem todos os ensaios propostos inicialmente puderam ser feitos em virtude das limitações de tempo e de tecnologia do laboratório. Todas essas restrições são citadas e com isso, objetiva-se alertar no desenvolvimento de outros trabalhos ou colocá-los como propostas para novos estudos.

A falta de tempo, insumos e equipamentos impossibilitou que fossem usados mais traços de CPC. Além disso, é importante ressaltar que o CPC é um tipo de serviço que depende muito da mão de obra para sua execução, uma variável impossível de ser considerada.



Figura 5-1 - Bombeamento da argamassa

FORTE:MC BAUCHEMIE (2011)



Figura 5-2 - Caminhão betoneira com contrapiso

FORTE:MC BAUCHEMIE (2011)



Figura 5-3 - Lançamento do contrapiso autonivelante

FORTE:MC BAUCHEMIE (2011)



Figura 5-4 - Contrapiso autonivelante pronto

FORTE:MC BAUCHEMIE (2011)

6 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo apresenta-se a metodologia desenvolvida para o alcance dos objetivos da pesquisa. São relatadas as atividades desenvolvidas no Laboratório de Concreto do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção (DEMC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Foram estabelecidos três momentos:

1. Caracterização dos materiais
2. Primeira fase de ensaios
3. Segunda fase de ensaios

Em cada um desses tópicos, são feitas a descrição da metodologia adotada para alcance dos resultados, as considerações e dificuldades encontradas nos ensaios.

Para cada etapa foram escolhidos os ensaios que mais se mostravam adequados para obtenção de resultados satisfatórios para estudos as características esperadas para as amostras e, ao mesmo tempo, ensaios que se mostravam realizáveis com o tempo e os recursos disponíveis.

6.1 MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA

Para a produção do contrapiso autonivelante são necessários materiais bastante conhecidos no ambiente da construção: cimento, água, areia, pedrisco, fíler além de alguns aditivos específicos. Cada um destes materiais será rapidamente comentado a seguir:

6.1.1 Cimento

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o enviado de Londrina/PR pela empresa Hobimix. Trata-se de um CPII-F-32.

A finura do cimento está relacionada com o tamanho dos grãos do produto. É definida durante o processo de fabricação (RIBEIRO, et al., 2006).

Foi realizado o ensaio de finura de acordo com a NBR 11579:2012 -Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200), pesando-se 50g de cimento e peneirando-o durante aproximadamente 20 minutos na peneira ABNT 0,075 mm, pesando-se o resíduo do cimento na peneira.

De acordo com o fabricante do cimento, o Cimento Portland composto tem diversas possibilidades de aplicações e por isso é um dos cimentos mais utilizados no Brasil. As propriedades do CPII-F-32 atendem desde estruturas em concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento. Recomenda-se não utilizar, na necessidade de desforma rápida sem cura térmica, concretos protendidos pré-tensionados e meios fortemente agressivos. De acordo com informações do fabricante, o cimento atende às normas e tem as características indicadas nas Tabelas 6-I, 6-II e 6-III, a seguir:

Tabela 6-I - Resumo das especificações do CPII-F-32

Parâmetros	CPII-F-32
Tempo de início de pega (horas)	≥ 1
MgO (%)	$\leq 6,5$
Perda ao fogo (%)	$\leq 6,5$
Resíduo insolúvel (%)	$\leq 2,5$
SO ₃ (%)	$\leq 4,0$

FONTE: CIMENTOS ITAMBÉ (2013)

Tabela 6-II - Resistência à compressão CPII-F-32

Idade	Resistência à compressão (Mpa)
1 dia	-
3 dias	≥ 10
7 dias	≥ 20
28 dias	≥ 32

FONTE: CIMENTOS ITAMBÉ (2013)

Tabela 6-III - Adições permitidas no CII-F-32

Adições	% Permitida
Escória	0
Fíler calcário	6 a 10
Material pozzolânico	0

FONTE: CIMENTOS ITAMBÉ (2013)

6.1.2 Água

A água utilizada para a confecção do CPA e CPC foi a água potável disponibilizada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) na região metropolitana de Belo Horizonte.

6.1.3 Areia

Na confecção do CPA e do CPC utilizou-se areia natural enviada de Londrina/PR.

A composição granulométrica é a expressão das proporções de grãos de diferentes tamanhos que compõem o agregado. Foi realizado o ensaio de caracterização granulométrica de acordo com a NBR NM 248, pesando-se 1000g de agregado miúdo seco em estufa, peneirando-o em agitador mecânico através da série normal de peneiras, pesando-se, posteriormente, o material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto.

Como já foi dito, o módulo de finura é a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado nas peneiras da série normal dividida por 100. Já a dimensão máxima característica corresponde à abertura de malha quadrada, em mm, à qual corresponde uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

A massa específica é a relação entre a massa e o volume de sólidos, excluindo os vazios. Foi realizado o ensaio de massa específica de acordo com a NBR 9776:1987 Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman, pesando-se 500g de areia seca em estufa. Com água no frasco de Chapman até 200 cm³, coloca-se a areia e faz-se a leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco.

6.1.4 Pedriscos

Na confecção do CPA utilizaram-se pedriscos enviados de Londrina/PR. Por se tratar de um material de pequena granulometria, os ensaios de referência para caracterização foram feitos considerando-o um agregado miúdo.

A caracterização granulométrica foi executada de acordo com a NBR NM 248, pesando-se 1000g do pedrisco seco em estufa, peneirando-o em agitador mecânico através da série normal de peneiras e pesando-se o material retido

em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto. A composição granulométrica é a expressão das proporções de grãos de diferentes tamanhos que compõem o agregado. Assim como descrito no item 6.1.3, a dimensão máxima característica corresponde à abertura de malha quadrada, em mm, à qual corresponde uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

Foi realizado o ensaio de massa específica de acordo com a NBR 9776, pesando-se 500g de pedrisco seco em estufa. Com água no frasco de Chapman até 200cm³, coloca-se o pedrisco e faz-se a leitura do nível atingido pela água no gargalo do franco. A massa específica é a relação entre a massa e o volume de sólidos, excluindo os vazios.

Fez-se ainda o ensaio de massa unitária do pedrisco de acordo com a NBR 7251:1982 Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária, pesando-se um recipiente metálico vazio de volume conhecido, colocando-se o agregado seco em estufa. Ao se encher o recipiente, o agregado foi lançado de uma altura de 10 a 12 cm do topo e a superfície alisada com régua, pesando-se o recipiente com o agregado. A massa unitária é a relação entre a massa e o volume de sólidos, incluindo os vazios, sob determinadas condições de compactação

6.1.5 Fíler

Na confecção do CPA utilizou-se fíler enviado de Londrina/PR. Este material não foi caracterizado.

6.1.6 Aditivos

Foram usados quatro aditivos produzidos e fornecidos pela MC-Bauchemie. São aditivos incorporadores de ar, plastificantes e superplastificantes à base de policarboxilato. Não foram dadas muitas informações sobre os produtos, mas de forma genérica, podemos descrever os aditivos como sendo:

- Incorporadores de ar sintético, que promovem proteção à corrosão e formação de microporos, melhoram a plasticidade e trabalhabilidade e diminuem a tendência de segregação;
- Aceleradores de pega;
- Plastificantes que melhoram a estabilidade e acelera a pega;
- Superfluidificantes desenvolvidos exclusivamente para dar fluidez ao produto. Promovem grande redução na quantidade de água, longa manutenção do slump além de terem boa compatibilidade com incorporadores de ar e boa estabilização em altas consistências.

6.2 PRIMEIRA FASE DE ENSAIOS

6.2.1 Traços utilizados

Esta primeira fase de ensaios foi desenvolvida confeccionando-se três traços do contrapiso autonivelante, sendo um o traço normal recomendado pelo desenvolvedor do produto, o outro um traço com aumento na quantidade de água simulando uma situação de canteiro e o último um traço no qual houve redução de aditivos, visando um produto com menor custo.

Foram preparadas cinco massadas, sendo que o traço com quantidade normal de insumos e água foi realizado por três vezes e as demais apenas uma vez. As massadas podem ser identificadas da seguinte forma:

- a. Mn1 – Massada com quantidade normal de insumos e água
- b. Ma1 – Massada com quantidade normal de insumos e aumento da água
- c. Mri1 – Massada com redução de alguns insumos e aditivos

O índice 1 representa que são os ensaios da primeira etapa.

O traço utilizado é o que se apresenta na Tabela 6-IV. A quantidade processada por vez (30 litros) é em função da capacidade da betoneira e da necessidade de preenchimento dos corpos de prova (CP's) e moldes.

Tabela 6-IV–Traços utilizados na primeira fase de ensaios

MATERIAL	QUANTIDADE MASSADA NORMAL (Mn1)	QUANTIDADE PARA AUMENTO DE ÁGUA (Ma1)	QUANTIDADE PARA REDUÇÃO DE INSUMOS (Mri1)
	(kg/30 litros)	(kg/30 litros)	(kg/30 litros)
CIMENTO	8,4	8,4	8,4
AREIA 1	24,3	24,3	40,8
PEDRISCO	16,5	16,5	-
FÍLER	7,5	7,5	7,5
ÁGUA	5,85	6,75	9
CENTRAMENT AIR 202	0,015	0,015	-
POWER SCREED PÓ	0,84	0,84	-
PS 958	0,252	0,252	-
TP 29111001	0,15	0,15	0,193

6.2.2 Ensaio de caracterização do concreto no estado fresco

A caracterização do material no estado fresco nos dá importantes informações sobre a qualidade do concreto, principalmente por ser a fluidez uma característica fundamental e a maior vantagem do seu uso.

Ao mesmo tempo que deve fluir, o material deve também ser capaz de carregar grandes partículas de agregado graúdo em todo o trajeto. Ou seja, é um material que deve ser fluido e viscoso simultaneamente, unindo duas propriedades completamente distintas (TUTIKIAN, et al., 2008).

Quando um concreto autoadensável está sendo produzido em obra, apenas utilizam-se equipamentos para confirmar as propriedades reológicas definidas no estudo de dosagem já que correções na locação não serão possíveis (TUTIKIAN, et al., 2008).

Os materiais foram colocados na betoneira, sendo primeiro o pedrisco, depois areia e fíler. Os aditivos foram misturados à água e em seguida colocados na betoneira, sendo misturados durante cinco minutos.

6.2.2.1 Consistência e segregação

O ensaio utilizado para medição da consistência foi o *Slump flow test* (SFT) com o qual se pode medir a capacidade do CAA de fluir livremente sem segregar. O SFT foi escolhido por exigir poucos materiais e ser de simples execução. É composto por uma base que não absorve água nem provoca atrito e por um tronco de cone com as mesmas características da base.

Primeiramente deve-se colocar a placa sobre um chão firme e nivelado e o tronco de cone no centro da base, segurando-o firmemente. O adensamento deve ser feito pela força da gravidade, não devendo ser realizado qualquer tipo de compactação. Remover qualquer excesso de concreto na placa e então erguer verticalmente o cone. Permitir que o concreto flua livremente e medir o diâmetro do espalhamento em duas direções perpendiculares (Figura 6-1). A média dessas medidas é o valor do SFT. Durante o ensaio é importante a observação da ocorrência ou não de segregação.



Figura 6-1 - Medida do *Slump Flow test*

6.2.2.2 Ar incorporado

De acordo com a NBR NM 47:2002 Concreto – Determinação do teor de ar em concreto fresco – Método pressométrico o teor de ar é o volume de ar aprisionado ou incorporado ao concreto, expresso em porcentagem do volume total de concreto fresco adensado.

Inicialmente, a incorporação de ar ao concreto era utilizada para aumentar a resistência de concretos em situações de gelo e degelo, mas, na prática passou a ser adotada para outras finalidades, como a diminuição do fator água/cimento e diminuição da permeabilidade. A utilização de ar incorporado no concreto, de forma generalizada, deve ser analisada quanto à perda de resistência, principalmente nos concretos de maior consumo de cimento. Esta perda de resistência resulta em necessidade de maior consumo de cimento. Já em traços de menor consumo de cimento o uso de ar incorporado traz benefícios econômicos devido à redução do consumo de cimento (FAUSTO, et al., 2011).

Para determinação do teor de ar incorporado, foi utilizado o método pressométrico, que se baseia na relação entre a pressão e o volume em uma dada temperatura. Esse ensaio foi baseado no procedimento da norma NBR NM 47. Nesse trabalho foi usado um aparelho da marca SOILTEST (Figura 6-2), com capacidade de cinco litros, conforme mostrado nas figuras a seguir:



Figura 6-2 - Equipamento utilizado no ensaio de ar incorporado

6.2.3 Ensaio de caracterização do concreto no estado endurecido

As características desse material no estado endurecido darão informações sobre seu comportamento em uso e mostrará se atende às necessidades de solicitações feitas.

De acordo com Tutikian *et al.* (2008), tanto os concretos autoadensáveis como os convencionais e qualquer outra mistura que contenha cimento Portland em sua composição, terão um comportamento previsto: apresentarão fissuração de secagem e alto calor de hidratação se forem dosados com alto consumo de cimento, terão sua pega inicial retardada se o teor do aditivo superplastificante for excessivo e, principalmente, terão um módulo de elasticidade baixo e uma alta probabilidade de retração plástica se forem dosados com baixo consumo de agregado graúdo.

Logo, descrever as propriedades mecânicas e de durabilidade dos concretos no estado endurecido é explicar o conhecimento já obtido em tecnologia de concretos.

6.2.3.1 Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova foram moldados utilizando-se moldes cilíndricos com dimensão 10 x 20 cm (diâmetro x altura) mostrados na Figura 6-3. Os corpos de prova foram adensados apenas pela gravidade.



Figura 6-3 - Moldagem e identificação dos corpos de prova

6.2.3.2 Cura dos corpos de prova

A cura é um conjunto de medidas que devem ser tomadas para evitar a evaporação da água utilizada na mistura do concreto e que deverá reagir com o cimento, hidratando-o. Ela evita o fenômeno da retração, que é responsável pelo aparecimento de fissuras e trincas (RIBEIRO, et al., 2006).

De acordo com a NBR 5738:2003 Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova, os corpos de prova cilíndricos devem permanecer nas formas nas condições de cura inicial durante 24 horas, tempo este que permite a desforma sem causar danos. No entanto, após 18 horas, os CP's de CPA já foram desformados, sendo que alguns seguiram para os primeiros ensaios e os demais foram levados para câmara de cura úmida (Figura 6-4). Os CP's foram ensaiados com 18 horas porque um dos objetivos era verificar qual seria o comportamento do material logo nas primeiras idades.



Figura 6-4 - Cura úmida dos corpos de prova

6.2.3.3 Capeamento

De acordo com a NBR 5738, as faces onde se aplicam as forças no ensaio de compressão axial de corpos de prova devem ser planas, paralelas e lisas, de modo que o carregamento seja uniforme. Pequenas irregularidades na superfície provocam excentricidade pelo carregamento não uniforme, restringindo a resistência do material. Para reduzir estas irregularidades, a norma recomenda que as superfícies dos corpos de prova sejam previamente preparadas, minimizando os desvios de planicidade. Esta preparação consiste nos métodos de remate com pasta de cimento, capeamento dos topos ou de retificação por meios mecânicos.

No momento do rompimento dos CP's, os mesmos foram capeados com mistura de enxofre.

6.2.3.4 Resistência à compressão axial

Bauer (2011) lembra que a resistência não constitui o fator único a ser considerado na apreciação das qualidades dos concretos. Há casos em que a característica principal é a permeabilidade, a durabilidade ou a resistência à abrasão etc. O controle de qualidade a partir da resistência indica a homogeneidade característica. Verifica-se que fatores diferentes influenciam a resistência do concreto lançado ou empregado na moldagem dos CP's como:

- Técnicas não uniformes de moldagem;
- Grau de compactação;
- Manuseio excessivo das amostras;
- Falta de cuidados com o corpo de prova recém moldado;
- Mudanças nas condições de cura
- Umidade variável;
- Capeamento dos corpos de prova;
- Ensaios de compressão.

Para a realização deste ensaio, foi utilizada a prensa de compressão axial EMIC PC200 (Figura 6-5), com sistema de medição de carga direta, por meio de célula com capacidade de 200 tf e sensibilidade de 10N. A prensa funciona acoplada a um microcomputador e em conjunto com o *software* TESC-EMIC, que permite a realização de ensaios com taxa de incremento de força constante ou manutenção de carga, com emissão de relatório final contendo os valores da tensão de ruptura de cada CP e da resistência média.

O ensaio para determinação da resistência à compressão axial foi realizado em corpos de prova com dimensões 10 x 20 cm para diversas idades.



Figura 6-5 - Prensa EMIC para ensaios de resistência à compressão axial

6.2.3.5 Retração

No estudo de avaliação de retração e fissuração de argamassas feito por Silva (2011), há um apanhado na literatura de inúmeros dispositivos citados para medidas de retração livre linear nas últimas décadas, mostrando a diversidade de conceitos que existem. Alguns deles são:

- Brull e Komlos (1980, apud Silva, 2011) utilizaram um molde com dimensões 40 x 40 x 160 mm para a medida de retração plástica de argamassas. Os resultados não mostraram deformação na fase inicial à exceção de uma expansão térmica.
- Kasai et al. (1982, apud Silva, 2011) utilizaram o dispositivo de secção quadrada de 100 mm de lado e comprimento de 400 mm. Este dispositivo permite medir a retração autógena na posição horizontal de modo que a amostra possa deformar-se livremente. Na parte inferior foi utilizada película de teflon para minimizar o atrito entre a amostra e o molde.
- Tazawa e Miyazawa (1995, apud Silva, 2011) desenvolveram um dispositivo semelhante a este último com dimensões 100 x 100 x 400 mm que foi moldado para medir a retração autógena e retração por secagem. Foi colocada uma película de teflon de 1 mm de espessura a fim de minimizar o efeito do atrito entre a amostra e a parte inferior do molde.
- Ravina (1986, apud Silva, 2011) utilizou um molde de 70 x 70 x 280 mm para determinar a retração por secagem de argamassas com temperatura de 30°C, umidade de 50% e com ventos produzidos por ventiladores. As medidas foram realizadas pelo deslocamento dos parafusos fixados nas extremidades do molde a 7 mm da superfície da amostra.

Ainda segundo Silva (2011), as medidas de retração livre linear obtidas por diversos pesquisadores dão origem a curvas semelhantes à apresentada na Figura 6-6 abaixo, em que são identificadas várias fases no desenvolvimento da retração.

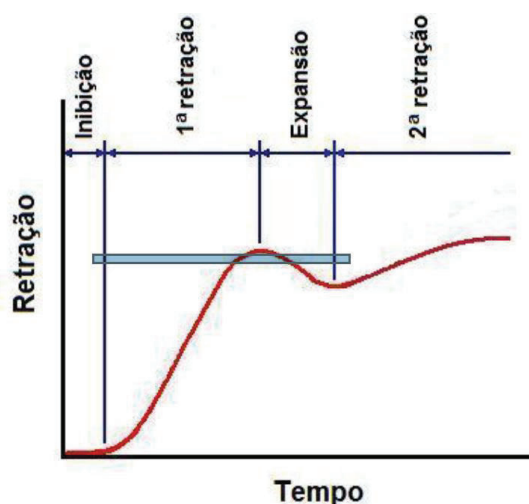


Figura 6-6 - Curva de retração livre linear

FONTE: SILVA (2011)

Silva (2011) ainda descreve cada uma das fases indicadas:

- Fase de inibição: A fase de inibição ocorre logo após a moldagem. O assentamento das partículas sólidas provoca o deslocamento da água do interior da argamassa para a superfície da amostra (exsudação).
- 1ª Retração : também denominada por alguns pesquisadores de retração plástica, dura apenas algumas horas e inicia-se logo após a evaporação da água exsudada, podendo ocorrer antes ou durante a pega do cimento, dependendo da relação água/cimento e das condições do ambiente.
- Expansão: Esta fase é caracterizada por pequenas deformações, inicia-se logo após o fim de pega do cimento e dura várias horas. Ocorre a sobreposição de retração devido à dessecação com a expansão causada pelas reações químicas de hidratação. Em cimentos com concentrações maiores de C_3A e com pouca gipsita esta fase pode não ocorrer.
- 2ª Retração: Esta fase ocorre durante o endurecimento e caracteriza-se por deformação muito lenta, na qual a quantidade de água que evapora é muito pequena e independe das condições do ambiente. Resulta essencialmente das reações de hidratação do cimento e também dos efeitos da carbonatação.

Fiorito (2009), ao falar da aplicação de argamassas, explica que sua composição e espessura são muito variáveis. Seu endurecimento é acompanhado por uma diminuição de volume, quer devido à perda de água evaporável, quer devido às reações de hidratação. Mesmo após a secagem e com mais de quatro meses de idade, notam-se variações dimensionais em função do grau higrométrico do ambiente. Tal fenômeno, há longa data estudado para concretos, é conhecido como retração.

Para as argamassas, a retração também deve ser analisada atentamente, procurando extrair do comportamento e evolução da mesma, em função da idade e condições ambientes, alguns procedimentos práticos aplicáveis em obras. Em relação aos emboços e revestimentos com argamassas, as espessuras são limitadas a valores máximos devido a sua retração. Argamassas ricas e espessas estão sujeitas a fissuras. Finalmente, é incontestável que a retração da argamassa de assentamento usada no método convencional já destruiu inúmeros revestimentos de pisos e paredes. Na colagem de revestimento com argamassas colantes, é obrigatório aguardar que a argamassa do contrapiso ou do emboço atinja um elevado grau de retração antes que se processe o assentamento do revestimento (FIORITO, 2009).

Para o ensaio de retração, o objetivo foi analisar apenas a retração de cura, ou seja, a segunda retração descrita acima. Por isso as primeiras leituras foram feitas em 24 horas. Foram utilizados moldes de seção quadrada de 10 cm e

100 cm de comprimento. No seu interior, em uma das extremidades, há um pistão que fica imerso no material e cuja movimentação é livre (Figura 6-7), sendo sua ponta ligada a um relógio extensômetro de precisão (Figura 6-8). Na outra ponta há um travamento fixo do molde em formato de “S” que fica, assim como o pistão, imerso no material (Figura 6-9).

O molde foi isolado com plástico para melhorar a medição e para facilitar os desmoldes. O preenchimento do molde foi feito assim que o concreto foi preparado. Com o extensômetro zerado, foi possível fazer medições da movimentação do pistão e consequente retração ocorrida no concreto. Após alguns testes, foi possível perceber que a região do pistão precisava ser lubrificada para que as medições fossem mais precisas.

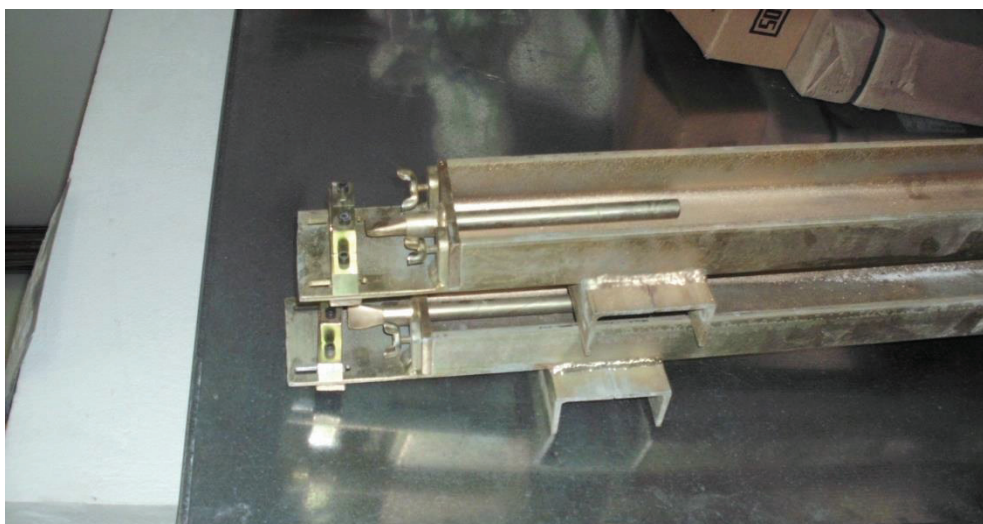


Figura 6-7 - Detalhe do pistão no molde de retração

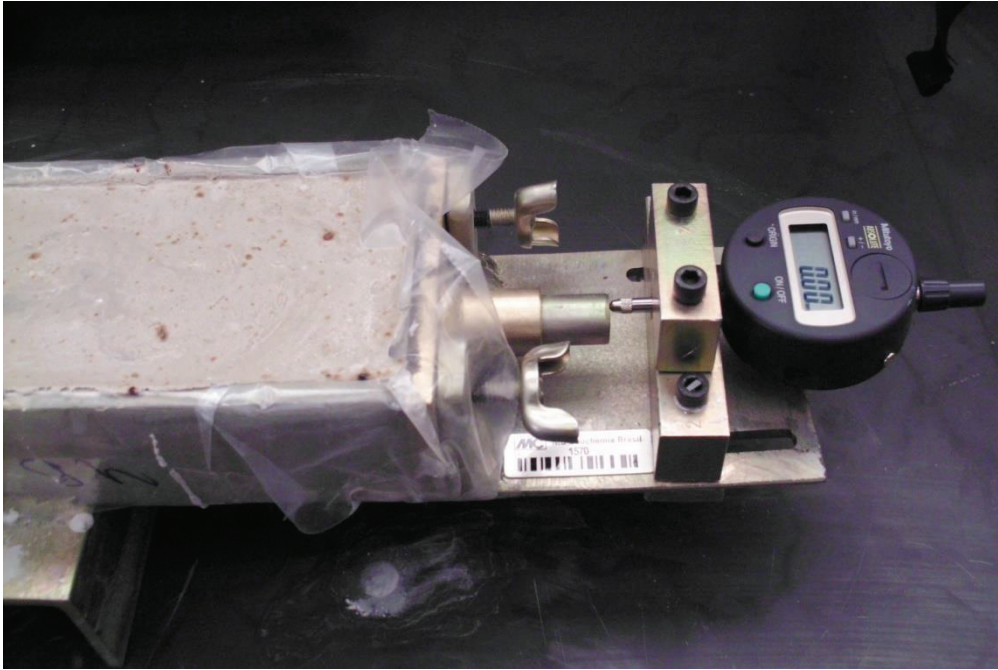


Figura 6-8 - Detalhe do extensômetro no molde de retração

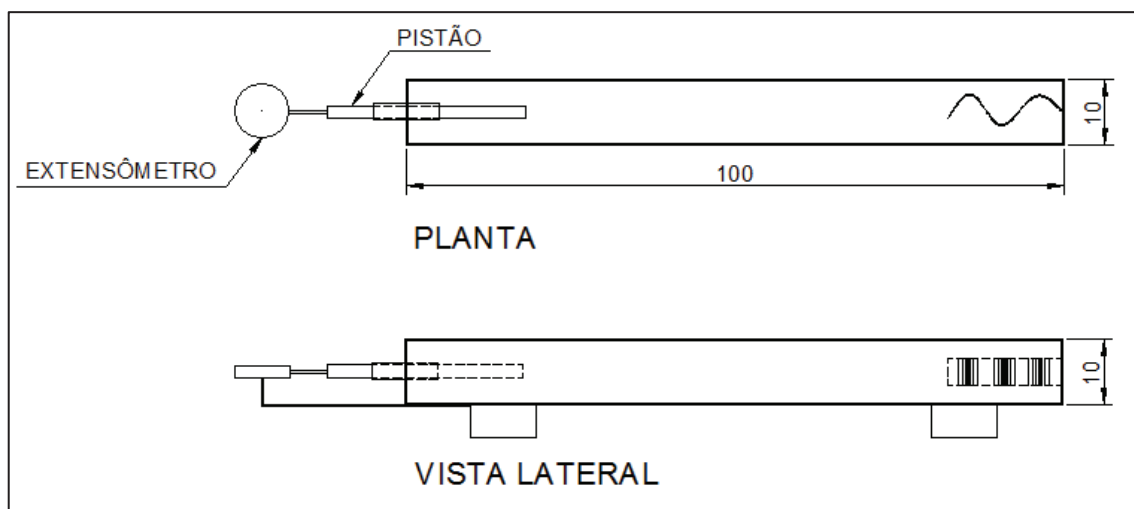


Figura 6-9 - Desenho esquemático do molde e retração

6.3 SEGUNDA FASE DE ENSAIOS

6.3.1 Traços utilizados

Após a realização dos ensaios descritos acima, foi percebida a necessidade de comparar as quantidades normais de insumos e água e o traço com redução de alguns insumos. Foi ainda acrescentado o traço de contrapiso convencional tipo “farofa” com traço 1:3 (cimento e areia) e 10% de água, apiloada energicamente sobre a base, para analisar os comportamentos dos três materiais. Vale lembrar que não foi utilizada a ponte de aderência em nenhum dos casos, já que o objetivo era a comparação entre os métodos.

É importante reforçar a grande dificuldade dessa segunda fase de ensaios já que se compara 3 materiais completamente diferentes, sendo o Mn mais próximo de um concreto autoadensável, o Mri uma argamassa autoadensável e o Mcc uma argamassa bastante seca. Assim, todos os ensaios, na medida do possível foram adaptados, sendo que algumas vezes utilizaram-se referências de argamassas e em outros casos a referência foi o concreto. Embora essa diferença seja preocupante, procurou-se utilizar sempre o mesmo procedimento para as três amostras a fim de reduzir ao máximo distorções que poderiam haver.

Dessa forma, no mesmo dia foram preparadas três massadas:

- a. Mn- Massada com quantidade normal de insumos e água
- b. Mri - Massada com redução de alguns insumos
- c. Mcc- Massada contrapiso convencional tipo “farofa”

O traço utilizado é apresentado na Tabela 6-V. A quantidade rodada por vez (30 litros) foi em função da capacidade da betoneira e da necessidade de preenchimento dos CP's e moldes.

Tabela 6-V – Traços utilizados na segunda fase de ensaios

MATERIAL	QUANTIDADE MASSADA NORMAL (Mn)	QUANTIDADE PARA REDUÇÃO DE INSUMOS (Mri)	QUANTIDADE PARA CONTRAPISO CONVENCIONAL 1:3 (Mcc)
	(KG/30 LITROS)	(KG/30 LITROS)	(KG/30 LITROS)
CIMENTO	8,4	8,4	11
AREIA 1	24,3	40,8	52,2
PEDRISCO	16,5	-	
FÍLER	7,5	7,5	
ÁGUA	5,85	9	3,6
CENTRAMENT AIR 202	0,015	-	
POWER SCREED PÓ	0,84	-	
PS 958	0,252	-	
TP 29111001	0,15	0,193	

6.3.2 Ensaio de caracterização do material no estado fresco

Todas as considerações referentes a este item já foram mencionadas no item 6.2.2 Ensaio de caracterização do concreto no estado fresco, página 60.

6.3.2.1 Consistência e segregação

O ensaio utilizado para medição da consistência foi o *Slump flow test* (SFT) conforme procedimentos já citados no item 6.2.2.1 Consistência e segregação na página 61.

O ensaio de consistência e segregação, por ser um ensaio específico para materiais fluidos, obviamente só pode ser feito nas amostras Mn e Mri. A Amostra Mcc, por ser do tipo “farofa”, não foi ensaiada com o *Slump flow test*.

6.3.2.2 Massa específica aparente fresca

Neste ensaio, pretende-se medir quanto pesa cada um dos materiais estudados no momento da aplicação. Para o cálculo da massa específica fresca, o molde de argamassa 5 x 10 cm foi pesado vazio e, posteriormente, pesado cheio. O procedimento foi feito para todas as três amostras.

A partir da diferença desses valores, temos a massa da argamassa (Figura 6-10 e Figura 6-11). Esse valor é então dividido pelo volume interno do corpo de prova.



Figura 6-10 - Massa específica fresca - peso do molde seco



Figura 6-11 - Massa específica fresca - peso do molde preenchido

6.3.3 Ensaio de caracterização do concreto no estado endurecido

Todas as considerações referentes a este item já foram mencionadas no item 6.2.3 Ensaio de caracterização do concreto no estado endurecido, página 63.

6.3.3.1 Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova foram moldados utilizando-se moldes cilíndricos com dimensão 5 x 10 cm e 10 x 20 cm (Figura 6-12 e Figura 6-13).

A moldagem foi feita com adensamento apenas pela gravidade nos casos das amostras autoadensáveis (Mn e Mri). No caso da argamassa tipo “farofa”, foram feitos adensamentos em 3 camadas com 30 golpes cada com soquete de 339 g.

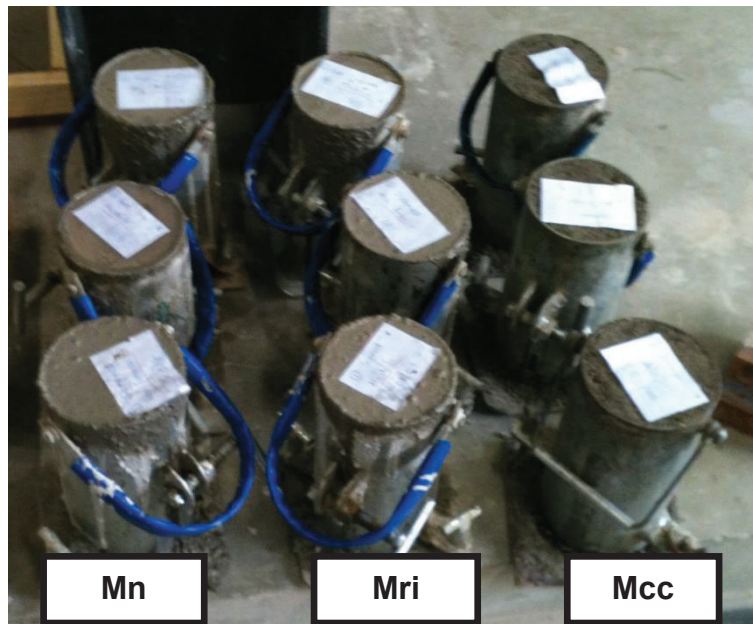


Figura 6-12 - Moldagem de corpos de prova 10 x 20 cm



Figura 6-13 - Moldagem de corpos de prova 5 x 10 cm

6.3.3.1 Cura dos corpos de prova

A cura foi feita conforme descrito no item 6.2.3.2 Cura dos corpos de prova na página 63.

Com relação às argamassas, a NBR 13279 diz que todos os corpos de prova devem permanecer 48 horas nos moldes, em câmara com umidade relativa mínima do ar de 95%. Em seguida, devem ser desmoldados e imersos na água da câmara de cura até a idade de ensaio.

Como já foi dito anteriormente, para os concretos, a NBR 5738 diz que os corpos de prova cilíndricos devem permanecer nas formas, nas condições de cura inicial durante 24 horas, tempo este que permite a desforma sem causar danos.

No entanto, após 18 horas os CP's de CPA e CPC foram desformados, sendo que alguns seguiram para os primeiros ensaios e os demais foram levados para câmara de cura úmida. Isto porque um dos objetivos seria verificar qual era o comportamento do material logo nas primeiras idades.

6.3.3.2 Capeamento

Para o rompimento dos moldes, na realização dos ensaios de resistência à compressão, os corpos de prova foram capeados com mistura de enxofre. Este procedimento tem o objetivo de uniformizar a superfície para que o carregamento atinja todo o plano do molde, evitando que a carga se concentre em algum ponto específico que esteja irregular. (Figura 6-14)

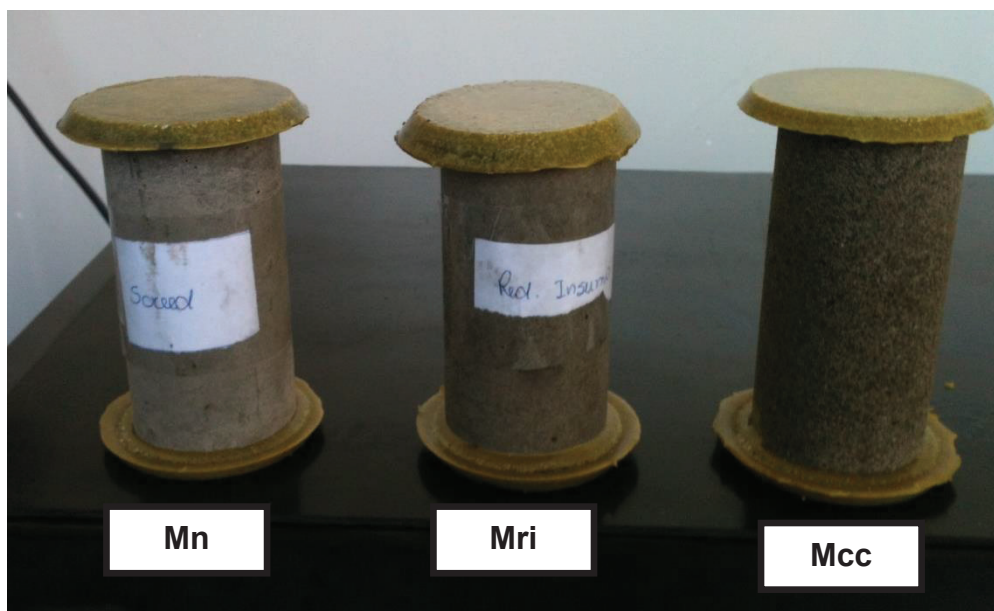


Figura 6-14 - Capeamento dos corpos de prova

6.3.3.3 Resistência à compressão axial

O ensaio para determinação da resistência à compressão axial foi realizado em corpos de prova com dimensões 5 x 10 cm, para as idades de 24 horas, 7 dias e 28 dias.

Para a realização deste ensaio, foi utilizada a mesma prensa descrita no item 6.2.3.4 Resistência à compressão axial na página 64.

A Figura 6-15 mostra um dos corpos de prova 5 x 10 cm sendo ensaiado.



Figura 6-15 - Rompimento dos corpos de prova 5 x10 cm

6.3.3.4 Massa específica aparente seca

Neste ensaio, pretendeu-se medir o peso de cada um dos materiais estudados após aplicação e secagem. Para o cálculo da massa específica seca, após a desforma dos corpos de prova de 5 x10 cm, foram escolhidas duas amostras de cada material, mostrados na Figura 6-16. As amostras tiveram seus diâmetros e alturas medidos e foram pesados logo em seguida.

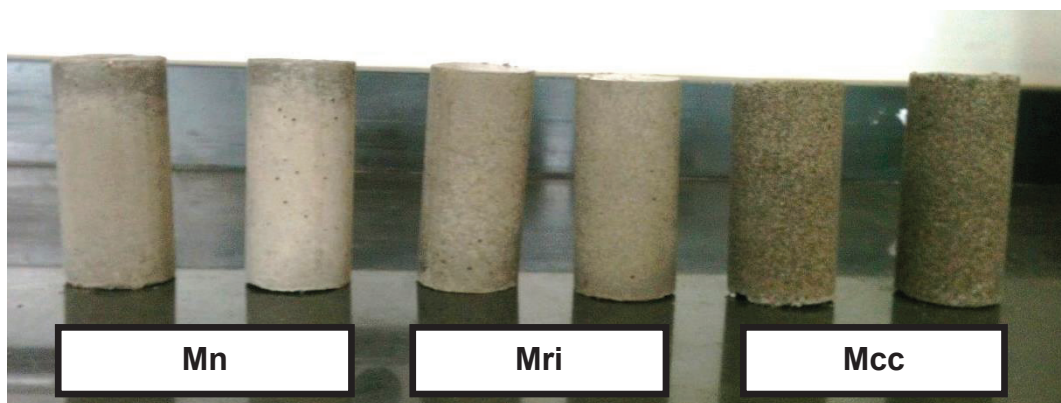


Figura 6-16 - Massa específica úmida - corpos de prova medidos e pesados

6.3.3.5 Abrasão

O ensaio de abrasão Los Angeles deve ser feito de acordo com a NBR NM 51:2001 – Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”. Ele é utilizado para avaliar o desgaste sofrido pelos agregados graúdos quando são colocados na máquina tambor juntamente com uma carga abrasiva (Figura 6-17).

De acordo com a NBR NM 51, o tambor, cilíndrico, oco e de aço, deve ter aproximadamente 500 mm de comprimento e 700 mm de diâmetro, tendo seu eixo horizontal fixado a um dispositivo externo, que possa transmitir-lhe um movimento de rotação ao redor dele próprio, sendo que a máquina deve ser fabricada, fixada e operada de forma a manter uma velocidade periférica uniforme. A carga abrasiva consiste em esferas de fundição, de ferro ou aço, com aproximadamente 48 mm de diâmetro e massa compreendida entre 390 g e 445 g. A quantidade de carga abrasiva depende do tipo de material a ser ensaiado.

A destruição da estrutura do material se processa pelo rompimento dos grãos, sendo que o agregado mais duro é mais resistente ao desgaste. No ensaio para agregados, o tambor deve girar com velocidade de 30 a 33 RPM até completar 500 rotações.

Nesse caso, o ensaio de abrasão Los Angeles foi adaptado para que fosse possível avaliar o desgaste dos três traços estudados. Desta forma, foram colocados no tambor dois corpos de prova de 5 x 10 cm para cada uma das amostras, juntamente com 2 esferas cuja massa total era de 1160 g. O número de rotações foi de 50 voltas para todos os traços. Os corpos de prova foram pesados antes e depois do teste, sendo possível, portanto, avaliar a perda de material pelo desgaste. A Figura 6-18 apresenta os corpos de prova após o desgaste sofrido.



Figura 6-17– Tambor de ensaio “Los Angeles”



Figura 6-18 - Corpos de prova após o ensaio de abrasão

6.3.3.6 Ensaio de cisalhamento inclinado

De acordo com Ferreira (2003), não há um consenso das normas internacionais com relação aos testes de aderência e a ABNT não normaliza esse ensaio.

No caso do estudo do CPA, para avaliar a aderência dos materiais, foi feita uma adaptação de um ensaio realizado por Ferreira (2003). No trabalho de Ferreira (2003), foi estudado o comportamento e desempenho do reforço à flexão de lajes de concreto armado através do aumento da seção na região

comprimida, utilizando corpos de prova cilíndricos de 15 x 30 cm, serrados com um ângulo de 30° em relação eixo do cilindro.

No caso do trabalho de Ferreira (2003), os corpos de prova de concreto, serrados com disco diamantado, foram submetidos à apicoamento leve, exceto uma faixa de aproximadamente um centímetro ao longo do seu contorno, com o objetivo de evitar a quebra das bordas. As peças obtidas foram, então, colocadas dentro de moldes metálicos para o lançamento do concreto do reforço. Para a execução dos estudos preliminares de aderência, foi utilizado outro traço de concreto, com brita 1, cuja resistência à compressão fosse de 37,5 MPa aos 28 dias de idade. Este concreto simularia o concreto das lajes originais, servindo como base para os testes de aderência, uma vez que o número de CP's do concreto original era insuficiente. Foram, então, moldados seis CP's 15 x 30 cm para os testes de aderência e seis CP's 10 x 20 cm para avaliação da resistência à compressão. Após um período de cura de cerca de 50 dias, os CP's 15 x 30 foram serrados com um ângulo de 60° e apicoados até a retirada da nata superficial. Cada metade serrada foi colocada novamente nas formas onde foi lançado o concreto do reforço.

Para o caso do estudo do CPA, foi realizado um ensaio parecido com o descrito acima com o intuito de avaliar a aderência dos traços estudados com a base de aplicação. Para essa pesquisa foram moldados oito corpos de prova de 10 x 20 cm com concreto estrutural convencional (Figura 6-19).



Figura 6-19 - Corpos de prova de concreto convencional

Seis desses corpos de prova foram serrados ao meio com um ângulo aproximado de 58°, deixando as bordas com cerca de 2 cm. O desenho esquemático do seccionamento dos CP's pode ser visto na Figura 6-20.

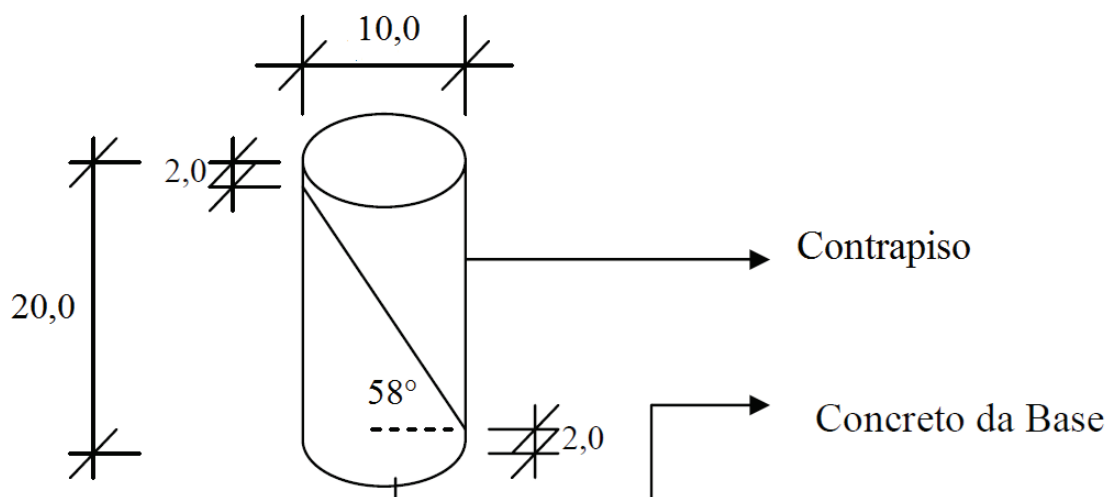


Figura 6-20 – Desenho esquemático do corte dos CP's

Para executar o corte corretamente, foi construído um molde de madeira (Figura 6-21). Os CP's foram apicoados na parte central (Figura 6-22) e devolvidos aos moldes para posterior preenchimento com os traços de contrapiso estudados (Figura 6-23). Dois corpos de prova homogêneos de concreto foram reservados para análise da resistência à compressão axial.



Figura 6-21 - Molde e marcação para seccionamento do corpo de prova



Figura 6-22 - Corpo de prova de concreto convencional seccionado com a parte interna apicoada.



Figura 6-23 - Detalhe do corpo de prova preparado para avaliar o cisalhamento inclinado

6.3.3.7 Análise visual

Foram feitos três moldes para analisar o comportamento dos materiais visualmente. As amostras de contrapiso autoadensável foram adensadas pela gravidade e a amostra de contrapiso convencional foi adensada com soquete (Figura 6-24).

A análise visual representada na Figura 6-25 revela importantes informações principalmente sobre a superfície de aderência, existência de poros, irregularidades, retração e fissuras.

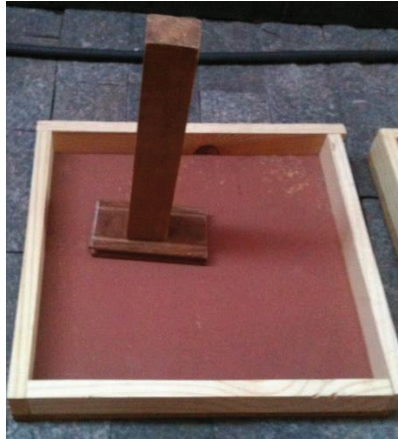


Figura 6-24 - Base e soquete para análise visual contrapiso convencional

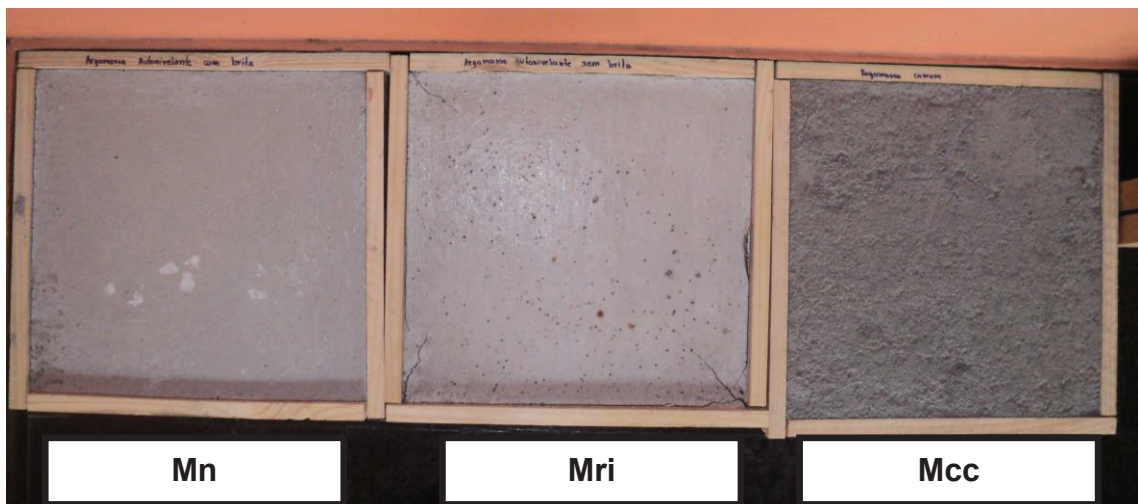


Figura 6-25 –Imagens para análise visual dos contrapisos

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo, os resultados das propriedades físicas e mecânicas são relacionados. Na apresentação dos resultados, assim como na metodologia, foram estabelecidos três momentos:

1. Caracterização dos materiais
2. Primeira fase de ensaios
3. Segunda fase de ensaios

Ao final de cada um desses tópicos, é feita uma breve discussão dos resultados apresentados, colocando-se as considerações pertinentes a cada uma delas.

A reunião de cada uma das discussões será relacionada nas considerações finais e conclusão do trabalho, capítulos 8 e 9.

7.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

7.1.1 Cimento

- Finura do cimento:

O resíduo de cimento na peneira foi 2 gramas, logo, a partir da equação abaixo, temos que o índice de finura do cimento é 4%:

$$F = \frac{R}{P} \times 100 = \frac{2}{50} \times 100 = 4\%$$

Onde:

F = Índice de finura do cimento (%)

R = Resíduo do cimento na peneira ABNT 0,075 mm (g)

P = Peso inicial do cimento = 50g

7.1.2 Areia

- A granulometria da areia é a indicada na Tabela 7-I:

Peneira (mm)	Material Retido (g)		% Retida acumulada			% Retida acumulada
	M1	M2	M1	M2	MÉDIA	
4,8	1,7	0,23	0,17%	0,02%	0,10%	0,10%
2,4	66,5	62,1	6,65%	6,23%	6,44%	6,54%
1,2	122,2	118,4	12,22%	11,88%	12,05%	18,59%
0,6	207	203,9	20,71%	20,45%	20,58%	39,17%
0,3	272,2	274,3	27,23%	27,52%	27,37%	66,54%
0,16	225,3	230,4	22,54%	23,11%	22,83%	89,37%
fundo	104,7	107,5	10,47%	10,78%	10,63%	100,00%
Total	999,6	996,83	100,00%	100,00%	100,00%	

Tabela 7-I - Granulometria da areia

Módulo de finura: 2,20

Dimensão máxima do agregado: 4,8 mm

- Massa específica:

$$\gamma_r = \frac{P_s}{V_r} = \frac{500g}{(391 - 200)ml} = 2,62 \frac{g}{ml} = 2,62 kg/dm^3$$

Onde:

$$\gamma_r = \text{massa específica} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right)$$

P_s = Peso seco (kg)

V_r = Volume real (dm^3)

7.1.3 Pedrisco

- A granulometria do pedrisco é a indicada na Tabela 7-II:

	Material Retido (g)		% Retida acumulada			% Retida acumulada
Peneira (mm)	M1	M2	M1	M2	MÉDIA	
9,6	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
6,3	32,4	21,2	3,26%	2,12%	2,69%	2,69%
4,8	131,7	117,2	13,24%	11,74%	12,49%	15,18%
2,4	706,3	716,4	70,98%	71,76%	71,37%	86,55%
1,2	91,7	103,9	9,22%	10,41%	9,81%	96,36%
0,6	7,7	12,6	0,77%	1,26%	1,02%	97,38%
0,3	2,9	4	0,29%	0,40%	0,35%	97,73%
0,16	4,5	4,5	0,45%	0,45%	0,45%	98,18%
fundo	17,8	18,5	1,79%	1,85%	1,82%	100,00%
Total	995	998,3	100,00%	100,00%	100,00%	

Tabela 7-II - Granulometria do pedrisco

Dimensão máxima característica: 6,3 mm

- Massa específica

$$\gamma_r = \frac{P_s}{V_r} = \frac{500g}{(390 - 200)ml} = 2,63 \frac{g}{ml} = 2,63 \text{ kg/dm}^3$$

Onde:

$$\gamma_r = \text{massa específica} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right)$$

P_s = Peso seco (kg)

V_r = Volume real (dm^3)

- Massa unitária

$$\gamma_a = \frac{P_s}{V_a} = \frac{31,55 \text{ kg}}{20 \text{ dm}^3} = 1,58 \text{ kg/dm}^3$$

$$\gamma_a = \text{massa unitária} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right)$$

P_s = Peso seco (kg)

V_a = Volume aparente (dm^3)

A Figura 7-1 apresenta um gráfico que mostra a granulometria da areia e do pedrisco.

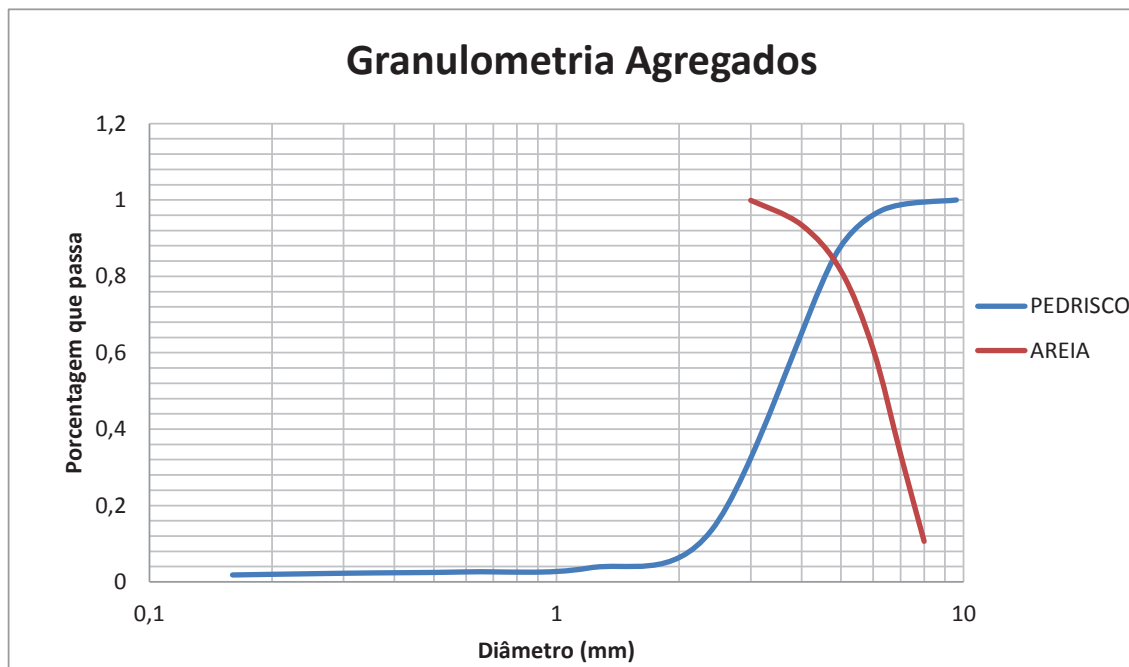


Figura 7-1 - Gráfico curva granulométrica agregados

7.1.4 Discussão – Caracterização dos materiais

Em princípio, nenhuma característica relevante ou especial precisa ser destacada na caracterização dos materiais.

Os ensaios mostraram que os materiais estão dentro dos limites e parâmetros das normas.

7.2 PRIMEIRA FASE DE ENSAIOS

Conforme já foi definido e apresentado na metodologia, os resultados apresentados a seguir retrataram o comportamento das seguintes amostras ensaiadas:

- a. Mn1 – Massada com quantidade normal de insumos e água
- b. Ma1 – Massada com quantidade normal de insumos e aumento da água
- c. Mri1 – Massada com redução de alguns insumos e aditivos

É importante ressaltar que o traço com quantidade normal de insumos e água foi realizado por três vezes e as demais, apenas uma vez. Na apresentação dos resultados, também será notado que nem todos os ensaios puderam ser feitos para todas as amostras devido a problemas no laboratório.

7.2.1 Consistência e segregação

O valor esperado para consistência era em torno de 80 cm de diâmetro, o que indica que o material teria boa fluidez.

Com relação à segregação, esta é uma característica verificada utilizando-se apenas inspeção visual.

Os resultados encontrados podem ser visto na Tabela 7-III:

Tabela 7-III - Consistência e segregação das amostras

Amostra	Diâmetro médio	Presença de segregação
Mn1	78 cm	não
Ma1	90 cm	não
Mri1	80 cm	não

7.2.2 Ar incorporado

A Tabela 7-IV mostra os resultados das medidas de ar incorporado. Esperavam-se valores em torno de 6% em razão de ensaios que foram realizados anteriormente pela HOBIMIX e MC Bauchemie.

Tabela 7-IV - Porcentagem de ar incorporado

Amostra	Ar incorporado (%)
Mn1	4,01
Ma1	5,01
Mri1	6,00

7.2.3 Resistência à compressão axial

Os ensaios de resistência à compressão axial não puderam ser feitos dentro da programação, por isso os resultados não podem ser considerados conclusivos. No entanto, é possível perceber o comportamento do concreto para contrapiso das diversas amostras.

A comparação entre as resistências à compressão das amostras pode ser feita pelo gráfico da Figura 7-2.

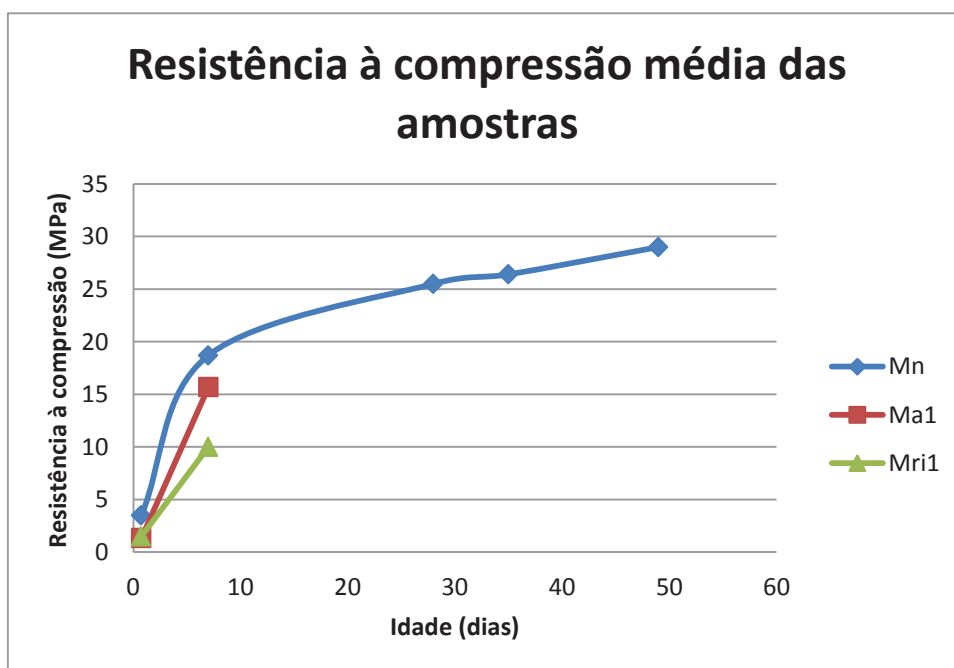


Figura 7-2 - Gráfico de resistência à compressão média das amostras

O histórico de rompimentos de corpos de prova é descrito nas Tabelas 7-V, 7-VI e 7VII a seguir:

Tabela 7-V- Resistência à compressão-amostra normal (Mn1)

Idade	Resistência à compressão (MPa)								
	Mn (amostra1)			Mn (amostra2)			Mn (amostra 3)		Valor médio
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	
18 horas	5	4					3	2	3,5
7 dias	22	20	20	16	16		20	17	18,7
28 dias	25	26							25,5
35 dias				27	25	26	25	29	26,4
49 dias				29					29

Tabela 7-VI - Resistência à compressão-amostra com exagero de água (Ma1)

Idade	Resistência à compressão (MPa)			
	Ma1			
	CP1	CP2	CP3	Valor médio
18 horas	2	1	1	1,33
7 dias	15	15	17	15,67

Tabela 7-VII - Resistência à compressão-amostra com redução de insumos (Mri1)

Idade	Resistência à compressão (MPa)		
	Mri1		
	CP1	CP2	Valor médio
18 horas	1	2	1,50
7 dias	10	10	10,00

7.2.4 Retração

No ensaio de retração, os moldes foram identificados como Molde 1 e Molde 2 para que eventuais erros do equipamento pudessem ser identificados. No entanto, este fato não foi evidenciado em nenhum ensaio.

As leituras apresentadas na Tabela 7-VIII trouxeram resultados inesperados e até mesmo incoerentes, já que as amostras com maior quantidade de água

apresentaram uma retração intermediária. Acredita-se que as incoerências encontradas podem ter ocorrido por vários motivos como erro na preparação dos ensaios ou na lubrificação do molde já que se trata de um ensaio novo que veio da Alemanha e ainda não havia sido realizado no laboratório de materiais. Porém, a hipótese mais consistente é de que os corpos de prova apresentaram ruptura na seção transversal de tal forma que foram separados, interrompendo a medição efetiva da retração.

Tabela 7-VIII - Retração das amostras

Dia	Retração (mm)					
	Mn1		Ma1		Mri1	
	Molde 1	Molde 2	Molde 1	Molde 2	Molde 1	Molde 2
1º dia	0,57	0,56	0,1	0,21	0	0
2º dia	0,58	0,57	0,11	0,22	0	0
3º dia	0,59	0,58	0,12	0,23	0	0
4º dia						
5º dia						
6º dia	0,61	0,59				
7º dia	0,61	0,6	0,14	0,27	0,03	0,04
8º dia	0,62	0,6	0,14	0,28	0,04	0,05
9º dia	0,63	0,61			0,04	0,05
10º dia	0,64	0,62	0,16	0,31	0,05	0,06
11º dia						
12º dia						
13º dia	0,64	0,62	0,16	0,31	0,07	0,08
14º dia	0,64	0,62	0,16	0,31	0,08	0,1

A Figura 7-3 apresenta em um gráfico os resultados apresentados da tabela:

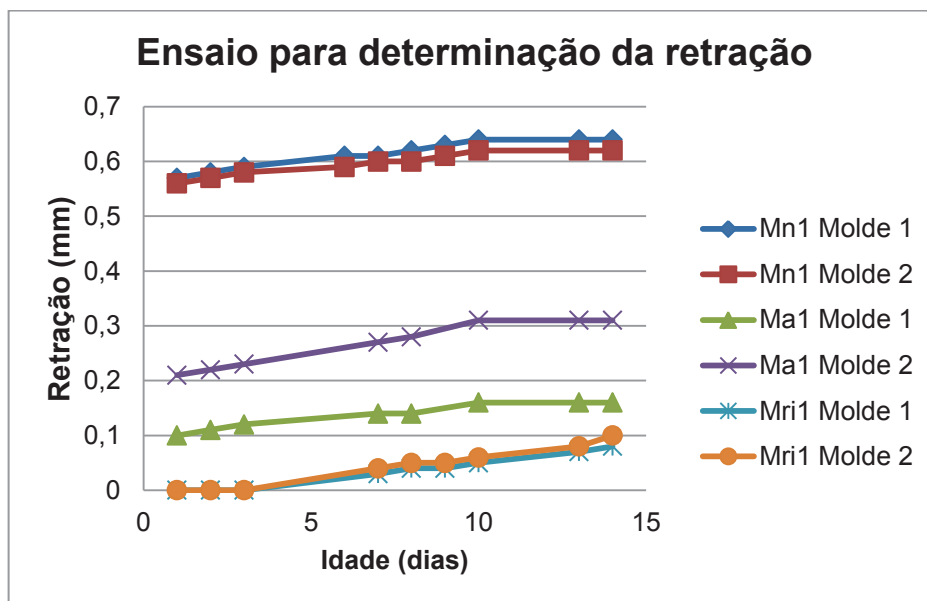


Figura 7-3 - Gráfico comparativo dos valores da retração

7.2.5 Discussão – Primeira fase de ensaios

Para iniciar a discussão dos resultados, a Tabela 7-IX a seguir foi preparada, fazendo-se o resumo dos ensaios apresentados anteriormente.

Tabela 7-IX - Resumo dos resultados da 1ª fase

1ª fase	Ensaio		Mn1	Ma1	Mri1
	Traço				
		CIMENTO	8,4	8,4	8,4
		AREIA 1	24,3	24,3	40,8
		PEDRISCO	16,5	16,5	-
		FÍLER	7,5	7,5	7,5
		ÁGUA	5,85	6,75	9
		CENTRAMENT AIR 202	0,015	0,015	-
		POWER SCREED PÓ	0,84	0,84	-
		PS 958	0,252	0,252	-
		TP 29111001	0,15	0,15	0,193
	Segregação		não	não	não
	Ar incorporado		4,01%	5,01%	6,00%
	SFT		78 cm	90 cm	80 cm
	Resistência à compressão	18 horas	3,5 MPa	1,33 MPa	1,5 MPa
		7 dias	18,7 MPa	15,67MPa	10 MPa
	Retração	14 dias	0,63 mm	0,24 mm	0,09 mm

Os resultados obtidos indicam que o material de referência (amostras Mn1) tem excelente comportamento em estado fresco e endurecido, mas que as amostras de comparação, Ma1 e Mri1 não podem ser, de pronto, descartadas, sendo que a Mri1 teve comportamento bastante interessante já que se tratava de um traço com redução de insumos, o que impacta diretamente os custos de produção.

No estado fresco, a amostra normal (Mn1) demonstrou possuir fluidez compatível com a proposta e não apresentou segregação. O mesmo ocorreu com as amostras de comparação (Ma1 e Mri1), embora se esperasse que seus comportamentos fossem um pouco deficientes em relação às amostras de traço normal. É válido ressaltar que, na amostra em que houve aumento da quantidade de água (Ma1), o SFT medido foi de 90 cm de diâmetro, maior que o valor ideal para bombeamento que é de 80 cm, mas ainda assim não apresentou segregação visível. No caso da amostra com redução de insumos (Mri1), conseguiu-se o valor ideal tendo em vista que todo o pedrisco foi substituído por areia, aumentando-se assim a área superficial para envolvimento da pasta.

Os valores de ar incorporado encontrados são aceitáveis para ambas as amostras, no entanto, esperava-se que as amostras com traço normal (Mn1), por possuir maior quantidade de aditivos, tivessem valores mais altos, o que não ocorreu. Provavelmente, parâmetros não controlados da distribuição granulométrica e/ou preparo da massada possam ter contribuído para este fato.

No estado endurecido, os resultados de resistência à compressão não foram conclusivos devido à falta de dados para idades mais altas das amostras Ma1 e Mri1, no entanto, pode-se perceber que o material com traço normal apresentou valores mais altos que os demais nas idades iniciais, como era de se esperar.

Os resultados da retração também contrariaram o esperado já que a amostra com traço normal (Mn1) apresentou retração de 5 a 6 vezes maior que a amostra com exagero de água (Ma1). A amostra que apresentou menor retração foi aquela com redução de insumos e aditivos (Mri1), fato que também diverge das expectativas já que a redução de aditivos e consequentes aumentos da quantidade de água levava a esperar um pior desempenho para este quesito.

Espera-se que com mais alguns estudos das amostras possa-se chegar a resultados mais conclusivos. Acredita-se que as amostras que apresentaram melhores resultados (Mn1 e Mri1) deveriam ser comparadas com a argamassa para contrapiso convencional e, a partir daí, ser desenvolvida uma segunda etapa de ensaios.

O principal motivo que levou ao abandono da amostra Ma1 foi o elevado valor do Slump flow test e a maior probabilidade de fissuras na superfície desse material devida a maior quantidade de água utilizada na amostra, apesar do ensaio de retração ter apresentado contradições.

7.3 SEGUNDA FASE DE ENSAIOS

Conforme já foi definido e apresentado na metodologia, os resultados apresentados a seguir retratam o comportamento das seguintes amostras ensaiadas:

- a. Mn- Massada com quantidade normal de insumos e água
- b. Mri - Massada com redução de alguns insumos
- c. Mcc- Massada contrapiso convencional tipo “farofa”

É importante ressaltar que neste momento existem materiais com características bastante diferenciadas (argamassa e concreto muito fluidos e argamassa muito seca), o que dificulta um pouco alguns ensaios de comparação.

7.3.1 Consistência e segregação

Este ensaio foi realizado apenas para as amostras Mn e Mri, conforme explicado. Para o bombeamento, o valor ideal da consistência é em torno de 80 cm de diâmetro, o que indica que o material tem boa fluidez e não danificará a bomba.

Com relação à segregação, esta é uma característica verificada por intermédio da inspeção visual.

Os resultados encontrados podem ser vistos na Tabela 7-X:

Tabela 7-X - Consistência e segregação das amostras

Amostra	Diâmetro médio	Presença de segregação
Mn	79 cm	não
Mri	80 cm	não

7.3.2 Massa específica fresca e massa específica seca

Os valores para massa específica fresca podem ser vistos na Tabela 7-XI.

Tabela 7-XI - Massa específica fresca

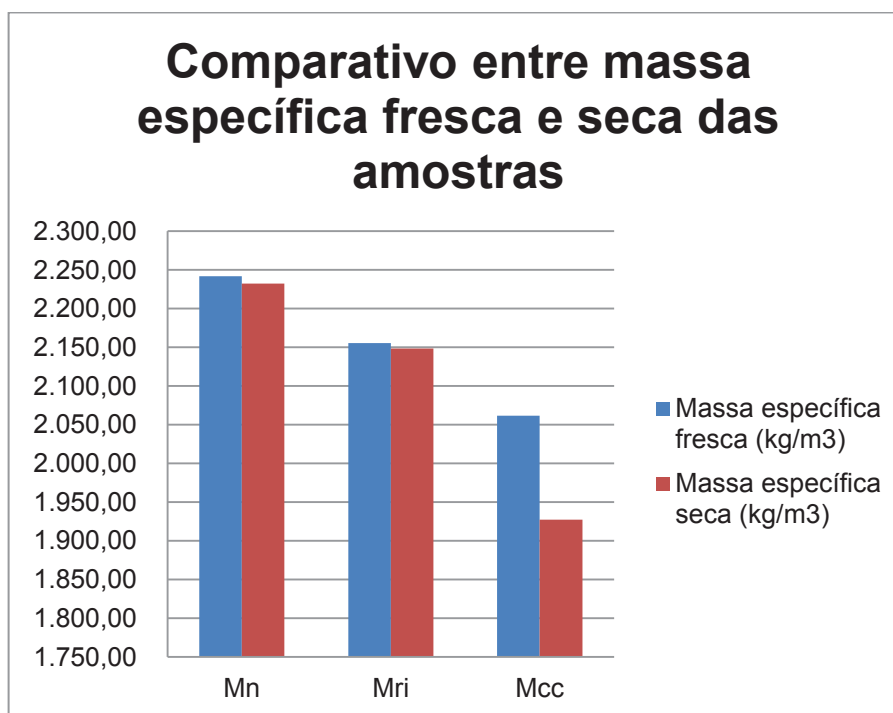
Amostra	Recipiente Vazio (g)	Recipiente cheio (g)	Massa (g)	Volume (m ³)	Massa específica (kg/m ³)
Mn	781,8	1222,0	440,2	0,000196	2241,92
Mri	697,3	1120,5	423,2	0,000196	2155,34
Mcc	777,8	1182,6	404,8	0,000196	2061,63

Os valores para massa específica fresca podem ser visto na Tabela 7-XII

Tabela 7-XII - Massa específica seca

Amostra	Massa média (g)	Diâmetro médio (cm)	Altura média (cm)	Volume médio (m ³)	Massa específica (kg/m ³)
Mn	381,45	4,7	9,9	0,0001709	2232,11
Mri	346,30	4,6	9,7	0,0001612	2148,20
Mcc	350,75	4,9	9,9	0,0001820	1927,47

O gráfico da Figura 7-4 tem o intuito de melhorar a compreensão e facilitar a comparação entre as amostras, deixando os resultados das Tabelas 7-XI e 7-XII mais claros:

**Figura 7-4 - Comparativo das massas específicas das amostras**

7.3.3 Resistência à compressão axial

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão podem ser vistos na Tabela 7-XIII:

Tabela 7-XIII - Resistência à compressão

Amostra	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL (MPa)								
	24 HORAS			7 DIAS			28 DIAS		
	CP1	CP2	média	CP1	CP2	média	CP1	CP2	média
Mn	3	4	3,5	10	13	11,5	13	15	14
Mri	3	4	3,5	7	8	7,5	8	11	9,5
Mcc	4	4	4	6	4	5	5	5	5

A comparação entre as resistências à compressão das amostras pode ser feita pelo gráfico da Figura 7-5:

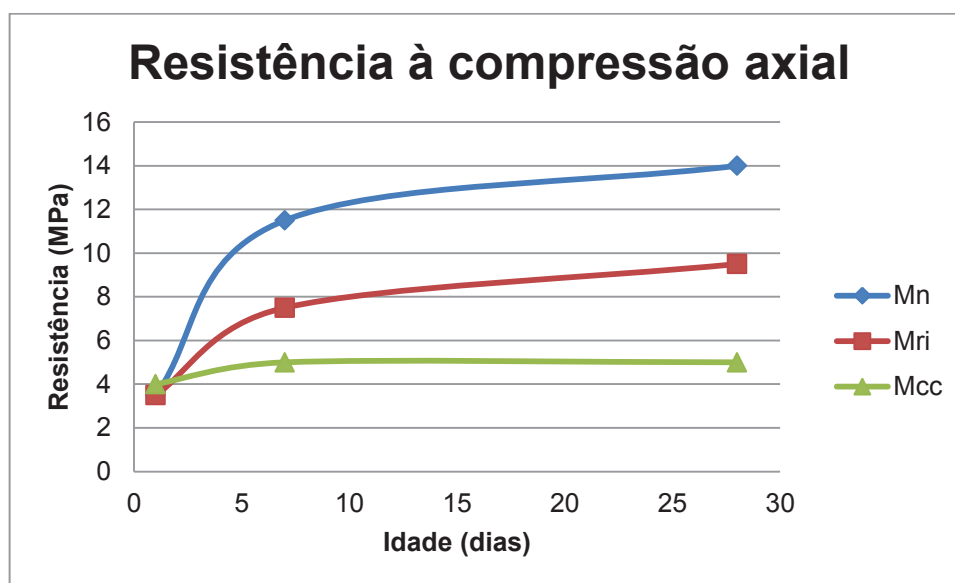


Figura 7-5 - Gráfico da resistência à compressão axial

7.3.4 Abrasão

Conforme detalhado na metodologia, os corpos de prova foram pesados antes e depois de serem colocados no tambor de Abrasão Los Angeles. Os resultados estão apresentados na Tabela 7-XIV:

Tabela 7-XIV - Resultados da abrasão

Amostra	Peso inicial	Peso final	Perda	Perda
	(g)	(g)	(g)	%
Mn	760,0	722,0	38,0	5,00%
Mri	666,5	629,3	37,2	5,58%
Mcc	698,5	479,1	219,4	31,41%

O gráfico da Figura 7-6, elaborado a partir da tabela acima, mostra a perda de material.

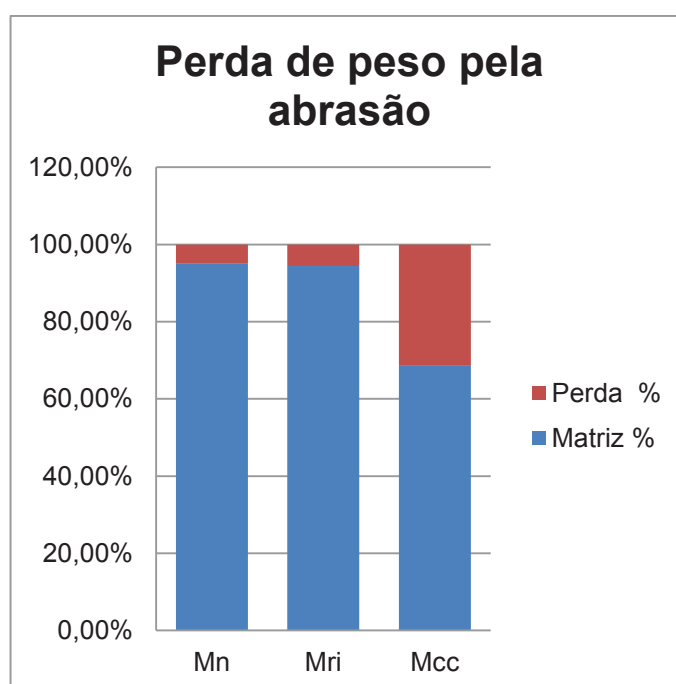


Figura 7-6 - Perda de peso pela abrasão

7.3.5 Ensaio Cisalhamento Inclinado (“*Slant Shear Test*”)

Conforme já foi detalhado na metodologia, esse ensaio visa avaliar a interação do material com o substrato. Três informações são importantes: a resistência alcançada pelo conjunto, a forma do rompimento e as tensões resistidas.

Na Tabela 7-XVI estão os resultados das resistências encontradas e na Figura 7-7, uma imagem dos corpos de prova instantes antes do rompimento.

Tabela 7-XV -Ensaio de Cisalhamento Inclinado

Amostra	Resistência média (MPa)	Análise visual do ensaio
Concreto comum	32	não se aplica
Mn	45	Boa aderência
Mri	13	Boa aderência
Mcc	4	não houve aderência. Uma amostra se soltou antes mesmo de se rompida.

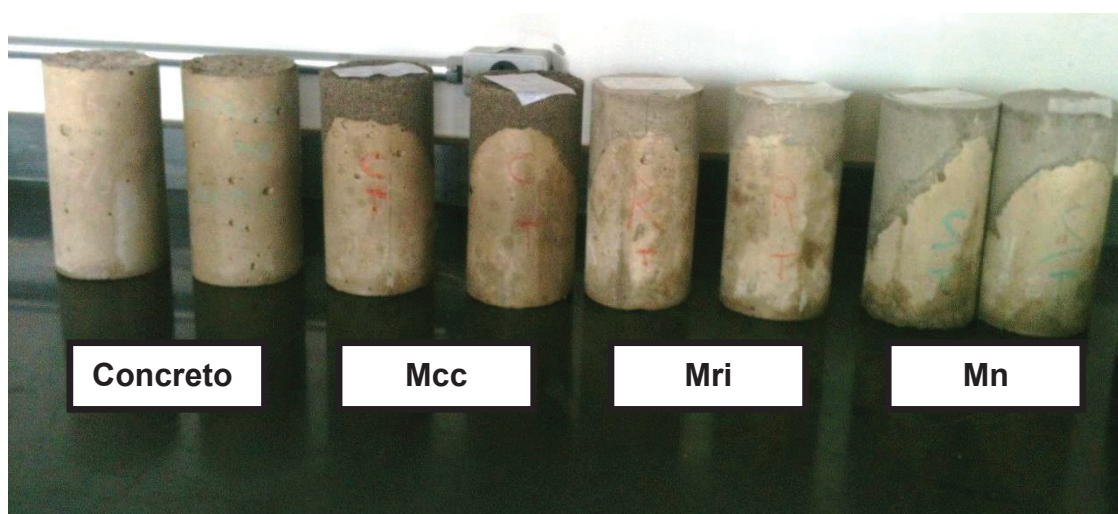


Figura 7-7 - Corpos de prova preparados para o ensaio de cisalhamento inclinado

Nas páginas seguintes estão imagens dos rompimentos para cada tipo de amostra. A Figura 7-8 até Figura 7-10 mostram o rompimento das amostras Mn. A Figura 7-11 até a Figura 7-13 ilustram o rompimento das amostras Mri e a Figura 7-14 e Figura 7-15 são das amostras Mcc.

Rompimento das amostras Mn:



Figura 7-8—Cisalhamento inclinado - Mn



Figura 7-9 - Cisalhamento inclinado - Mn - rompimento



Figura 7-10—Cisalhamento inclinado - Mn - interface do rompimento

Rompimento das amostras Mri:



Figura 7-11 - Cisalhamento inclinado - Mri - rompimento



Figura 7-12 - Cisalhamento inclinado - Mri - rompimento e fissuras



Figura 7-13 - Cisalhamento inclinado -Mri - interface do rompimento

Rompimento das amostras Mcc:



Figura 7-14 - Cisalhamento inclinado - Mcc - rompimento



Figura 7-15 - Cisalhamento inclinado - Mcc - interface do rompimento

A Figura 7-16 a seguir mostra o desenho esquemático para o cálculo das tensões. C_{RC} corresponde à força de ruptura à compressão do corpo de prova composto, τ à tensão de cisalhamento na junta, σ à tensão normal na junta e α ao ângulo da junta.

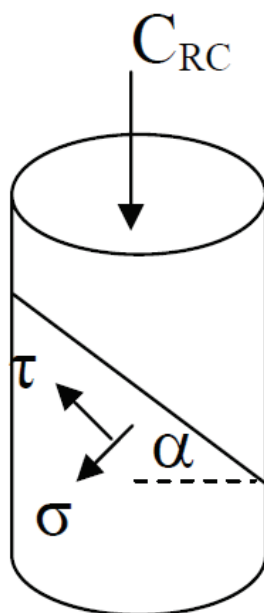


Figura 7-16 – Desenho esquemático para cálculo de tensões

FONTE: FERREIRA, 2003

Considerando-se a área inclinada, as equações abaixo foram utilizadas para o cálculo das tensões normal e cisalhante:

$$A = \pi ab$$

$$\tau = \frac{C_{RC} \times \text{sen} \alpha}{A}$$

$$\sigma = \frac{C_{RC} \times \cos \alpha}{A}$$

Onde:

A = área da elipse;

a = raio maior da elipse (=18,9 cm); e

b = raio menor da elipse (= 5 cm)

Na Tabela 7-XVI a seguir estão apresentados os resultados dos cálculos das tensões normais e de cisalhamento descritos acima e apresenta ainda o tipo de ruptura encontrada nas peças.

Tabela 7-XVI – Resultados do teste de cisalhamento inclinado

Molde	Carga de ruptura do concreto da base	Ensaio de aderência - Teste de cisalhamento inclinado				Tipo de Ruptura
		ângulo da junta	Carga de Ruptura (CP's compostos)	Tensão normal	Tensão de cisalhamento	
		α	C_{RC}	σ	τ	
	(kN)	(°)	(kN)	(MPa)	(MPa)	
Mn	251,33	58	353,43	0,63	1,01	na junta
Mri		58	102,10	0,18	0,29	na junta
Mcc		58	31,42	0,06	0,09	na junta

A Figura 7-17 apresenta os mesmos resultados das tensões para cada amostra de forma comparativa.

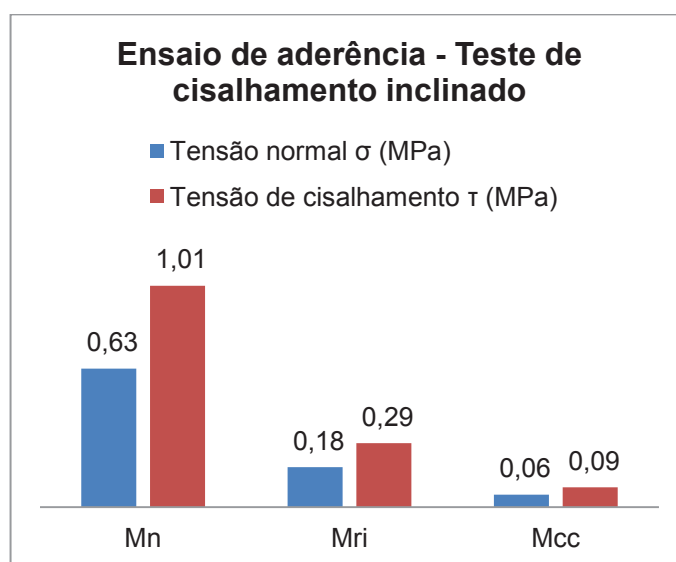


Figura 7-17 - Gráfico dos resultados das tensões normais e de cisalhamento

7.3.6 Análise visual

A análise visual da superfície do acabamento de cada uma das opções estudadas permitiu avaliar as peculiaridades de cada amostra.

7.3.6.1 Amostra Mn

A Figura 7-18 apresenta a imagem da superfície da amostra Mn sem qualquer acabamento posterior. Pode-se observar que a amostra é bastante homogênea, nivelada e que o acabamento é extremamente liso, com aspecto vítreo.

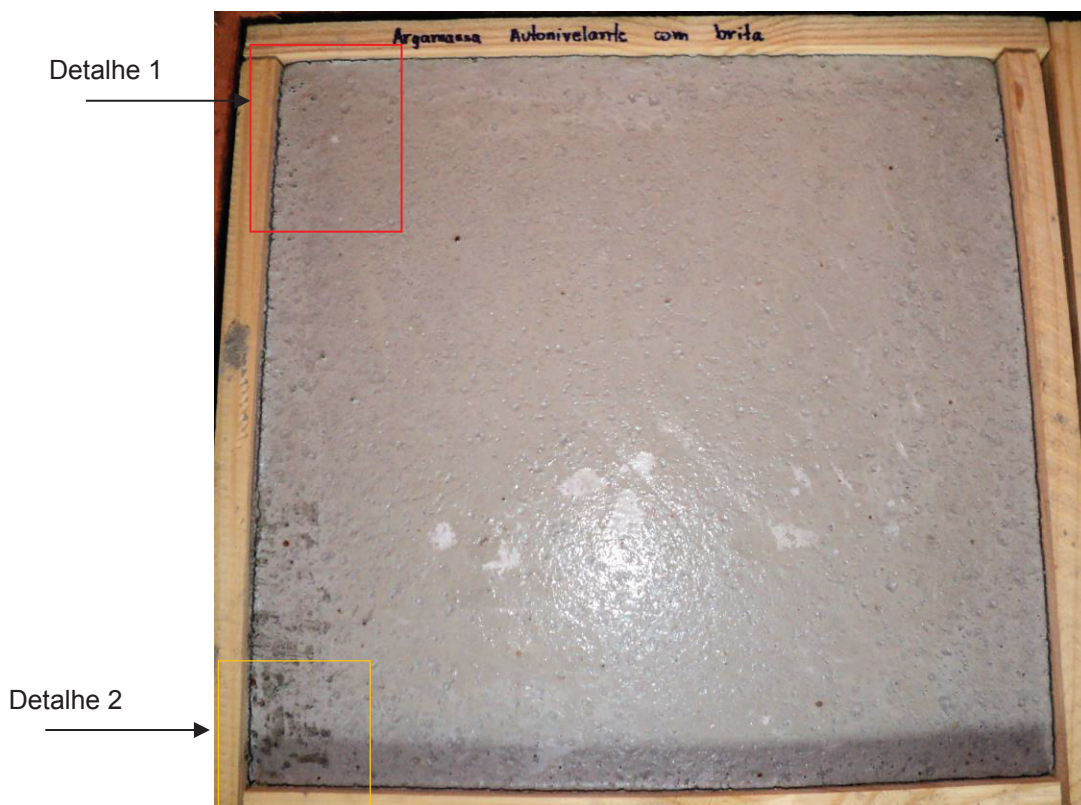


Figura 7-18 - Imagem da superfície produzida pela amostra Mn

Ainda com relação à amostra Mn, a Figura 7-19 mostra o detalhe 1 ampliado da imagem anterior. Não existem fissuras visíveis, mas é possível perceber a presença de alguns poros. Percebe-se que não existiu nenhuma aderência à lateral já que se trata de forma de madeira.



Figura 7-19 - Imagem ampliada Mn - detalhe 1

A Figura 7-20 mostra o detalhe 2 ampliado da imagem Figura 7-18 . Nesta ampliação, percebem-se alguns pequenos defeitos de acabamento, provavelmente relacionados ao processo de execução. As manchas brancas e as manchas de cor ferrugem não têm relação com a execução e não tiveram causas prováveis diagnosticadas. Especula-se que pode ter havido alguma reação do aditivo com as paredes da betoneira.



Figura 7-20 - Imagem ampliada Mn- detalhe 2

7.3.6.2 Amostra Mri

A Figura 7-21 apresenta a imagem da superfície da amostra Mri sem qualquer acabamento posterior. Pode-se observar que a amostra é homogênea, nivelada e apresenta uma quantidade grande de poros de diversos diâmetros. Assim como na amostra anterior, podem ser visualizados pontos de cor ferrugem (inclusive mais numerosos do que na amostra anterior). As fissuras a 45° têm relação com a abertura da forma no transporte e manuseio. Não foram observadas microfissuras de retração. O acabamento é bastante liso e também tem aspecto vítreo. Os detalhes ampliados ajudam na visualização do que foi relatado (Figura 7-22 e Figura 7-23).

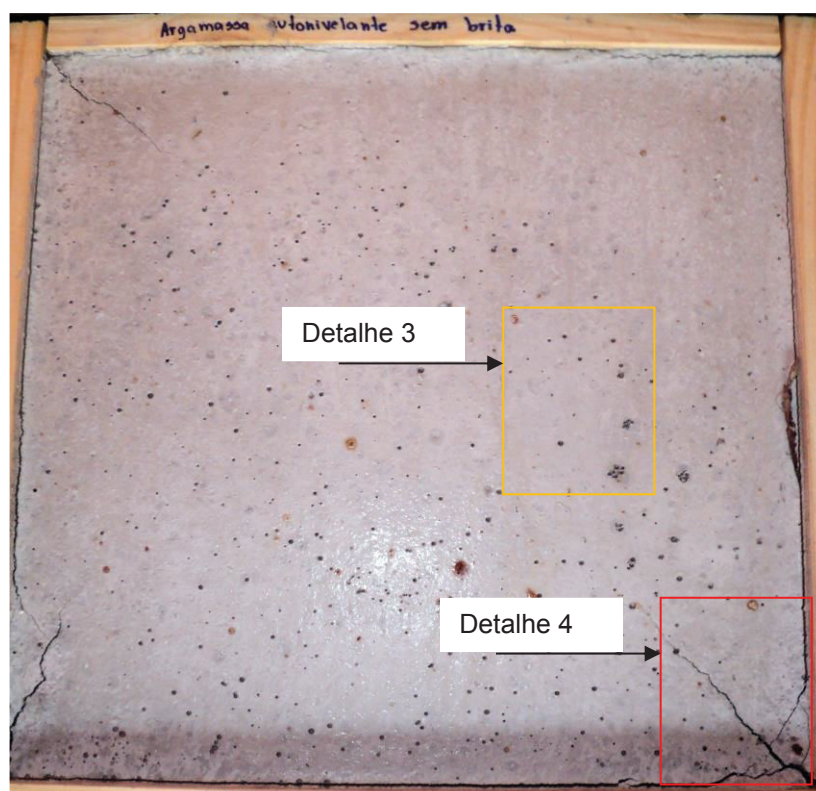


Figura 7-21 - Imagem da superfície produzida pela amostra Mri

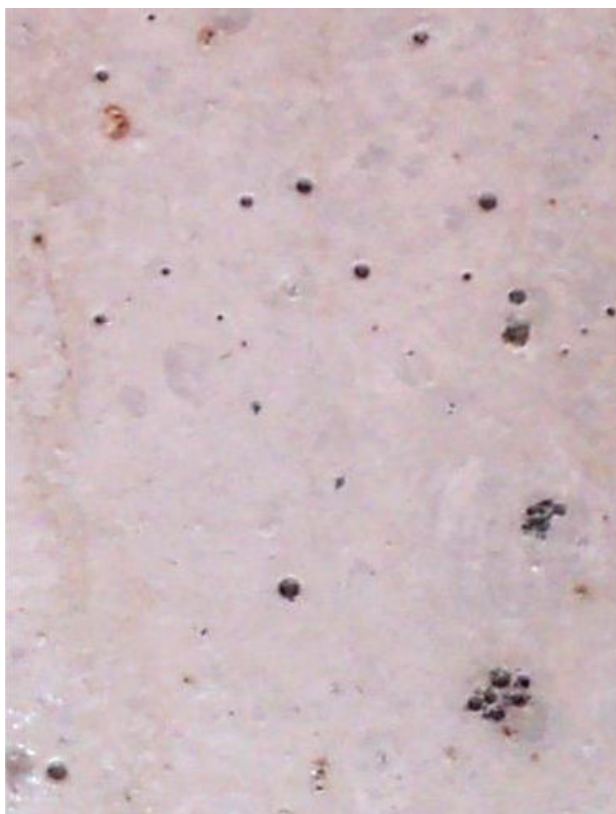


Figura 7-22 - Imagem ampliada Mri- detalhe 3



Figura 7-23 - Imagem ampliada Mri- detalhe 4

7.3.6.3 Amostra Mcc

A Figura 7-24 e o detalhe 5 da Figura 7-25 apresentam a imagem da superfície da amostra Mcc depois de apiloada e sarrafeada. Pode-se observar que a amostra apresenta maior aspereza e irregularidade na superfície advindos do processo de execução. Tem cor e aspecto homogêneo, não apresenta nenhuma mancha, mas percebem-se características da massa seca.

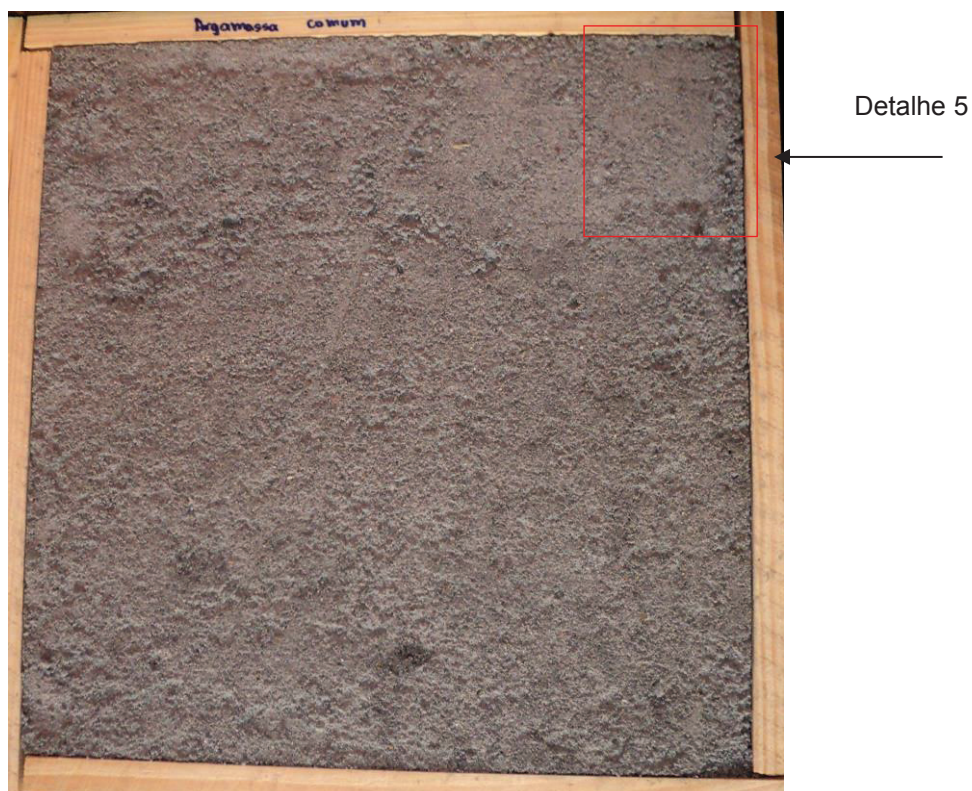


Figura 7-24 - Imagem da superfície produzida pela amostra Mcc



Figura 7-25 - Imagem ampliada Mcc- detalhe 5

7.3.7 Discussão – segunda fase de ensaios

Para iniciar a discussão dos resultados, a Tabela 7-XVII a seguir foi preparada, fazendo-se o resumo dos ensaios apresentados anteriormente.

Tabela 7-XVII - Resumo dos resultados da 2ª fase

2ª fase	Ensaio		Mn	Mri	Mcc
	Traço				
		CIMENTO	8,4	8,4	11
		AREIA 1	24,3	40,8	52,2
		PEDRISCO	16,5	-	
		FÍLER	7,5	7,5	
		ÁGUA	5,85	9	3,6
		CENTRAMENT AIR 202	0,015	-	
		POWER SCREED PÓ	0,84	-	
		PS 958	0,252	-	
		TP 29111001	0,15	0,193	
	Consistência (SFT)		79 cm	80 cm	-
	Segregação		não	não	-
	Massa específica fresca		2241 kg/m³	2155 kg/m³	2062 kg/m³
	Massa específica seca		2232 kg/m³	2148 kg/m³	1927 kg/m³
	Resistência à compressão	24 horas	3,5 MPa	3,5 MPa	4 MPa
		7 dias	11,5 MPa	7,5 MPa	5 MPa
		28 dias	14 MPa	9,5 MPa	5 MPa
	Abrasão (perda)		5,00%	5,58%	31,41%
	Cisalhamento inclinado	Resistência	45 MPa	13 MPa	4 MPa
		aderência (visual)	Boa aderência	Boa aderência	Não houve aderência
		ruptura	na junta	na junta	na junta
		σ	0,63 MPa	0,18 MPa	0,06 MPa
		τ	1,01 MPa	0,29 MPa	0,09 MPa
	Análise visual	superfície	lisa e vítrea	lisa e vítrea	áspera e fosca
		poros	poucos poros	muitos poros	grãos visíveis
		aspecto	mancha branca	trinca 45° abertura da forma	aspecto seco
			poucas manchas cor ferrugem	muitas manchas cor ferrugem	marcas do desempenho

A partir dos resultados, percebe-se que a redução no uso de aditivos não influenciou significativamente as características das amostras Mn e Mri, indicando que esse seria um bom material substituto já que conduz à redução de custo. O mesmo comportamento poderia não ser verificado caso a brita continuasse a ser utilizada. A utilização do aditivo superplastificante na amostra Mri é muito importante para que se pudesse alcançar o SFT ideal sem que houvesse segregação.

Os valores de massa específica trazem um resultado já esperado tendo em vista que o material que levava brita na sua composição (Mn) obteve maior valor. O raciocínio vale para a amostra de Mcc que teve menor massa específica e é um material que depende fundamentalmente da energia de compactação exercida na aplicação.

No caso da resistência à compressão, os ganhos de resistência eram esperados e obviamente, as amostras Mn provavelmente apresentariam valores mais elevados já que levam brita e aditivos na sua composição. Estranhamente, os CP's de Mcc não tiveram ganho de resistência e pode-se concluir que isto se deve exclusivamente à não hidratação dos grãos de cimento no momento da compactação. A falta de água impediu a hidratação e obviamente impediu o ganho de resistência do cimento da amostra.

A abrasão vai de encontro aos resultados já obtidos e os complementam na medida em que demonstra desgastes razoáveis para as amostras Mn e Mri. Mais uma vez, o processo executivo da argamassa seca pode ter sido a causa da grande perda observada na abrasão. Uma compactação mal executada gera corpos de prova bem mais frágeis e menos representativos.

Com base nos resultados de cisalhamento inclinado, resistência à compressão dos CP's de concreto e dos CP's compostos (concreto + contrapiso), percebe-se que o contrapiso de traço Mn apresentou excelente aderência à base, com carga de ruptura superior a do concreto simples. Esse fato chama bastante atenção e pode levar, inclusive, ao desenvolvimento de materiais e técnicas adequadas para reforços e recuperações estruturais.

As imagens do rompimento da amostra Mri também ilustram que essa aderência foi excelente embora o valor da resistência tenha se apresentado um pouco menor. Para o caso da amostra Mcc, conforme pode ser observado em todas as recomendações de execução de contrapiso, sempre existe a orientação para que seja feita uma ponte de aderência entre o substrato e a argamassa tipo “farofa” com a utilização de calda de cimento (e eventualmente aditivos adesivos). Como os ensaios foram comparativos, adotou-se um único procedimento para todas as amostras e essa preparação não foi seguida. Desta forma, acredita-se que a ausência deste procedimento possa ter sido significativa para os baixos resultados de aderência encontrados. O fato das

outras amostras serem bem mais fluidas contribuiu para que o material penetrasse nos macro e microporos, favorecendo o microagulhamento.

Na análise visual, percebe-se uma grande necessidade da realização de estudos complementares com os contrapisos autoadensáveis, principalmente na questão de assentamento dos acabamentos. A superfície bastante lisa e vítrea, precisa ser mais bem ensaiada no sentido de verificar qual o tipo de argamassa colante é mais indicado e quais seriam os valores obtidos nos testes de arrancamento. A superfície da amostra Mcc, áspera e irregular, é ideal para assentamento de acabamentos e propiciam boa colagem. Os poros apresentados pela amostra Mri também podem favorecer um pouco mais a colagem em comparação com a amostra Mn, totalmente lisa.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram analisados, basicamente, quatro tipos de traços de contrapiso, divididos em duas etapas. São eles:

- Traço com quantidade normal de insumos e água (Mn1 e Mn);
- Traço com quantidade normal de insumos e aumento da água (Ma1);
- Traço com redução de alguns insumos e aditivos (Mri1 e Mri);
- Traço de contrapiso convencional tipo “farofa” (Mcc).

A partir da primeira fase de estudos, chegou-se à conclusão de que o traço com aumento da quantidade de água (Ma1) não deveria ser levado adiante porque apresentava SFT elevado, impossibilitando o bombeamento e comprometendo a execução, além de ser mais propenso a fissurações devido à maior quantidade de água (aspecto comum ao processo de endurecimento dos materiais cimentícios).

Desta forma, passou-se a um estudo comparativo entre os demais traços. Este estudo comparativo apresentou resultados bastante interessantes para a utilização do traço normal e do traço com redução de insumos e aditivos, sendo que em todos os testes, foram obtidos resultados superiores aos do traço de contrapiso convencional.

De uma forma resumida, conclui-se que as amostras Mn possuem fluidez compatível com a proposta e não apresentam segregação. No caso da resistência à compressão, os ganhos eram esperados porque possuíam brita e aditivos na sua composição, sendo que a brita contribui para que os valores de massa específica sejam mais altos. Esta foi a amostra que apresentou menor perda por abrasão.

No ensaio de cisalhamento inclinado, o traço Mn apresentou excelente aderência à base, sendo que a carga de ruptura foi superior à do concreto simples, fato que poderia levar ao desenvolvimento de materiais e técnicas adequadas para reforços e recuperações estruturais.

Por outro lado, avaliando-se a superfície da amostra Mn, não se pode chegar a conclusões sobre a aderência com relação à aplicação do revestimento, já que a superfície é bastante lisa e vítrea, necessitando-se de estudos posteriores para verificação do tipo de argamassa colante mais indicado.

O percentual encontrado para ar incorporado (4,01%), um pouco mais baixo que a amostra Mri (6%), não é significativo na qualidade do produto. Considera-se ainda que, provavelmente, parâmetros não controlados da distribuição granulométrica e/ou preparo da massada possam ter contribuído para este fato.

As amostras Mri também possuem fluidez compatível com a proposta e não apresentam segregação. Embora se esperasse que seus comportamentos fossem um pouco deficientes em relação às amostras Mn, isso não aconteceu porque o pedrisco foi substituído por areia, aumentando-se assim a área superficial para envolvimento da pasta.

A perda por abrasão não foi significativa e se aproxima bastante dos valores da amostra Mn. No resultado de cisalhamento inclinado, as imagens da amostra Mri chamaram a atenção pela excelente condição de aderência, embora o valor da resistência tenha sido inferior.

Avaliando-se a superfície da amostra Mri, assim como no caso da amostra Mn, não se pode chegar a conclusões sobre a aderência com relação à aplicação do revestimento já que a superfície é bastante lisa e vítrea, embora vários poros sejam visíveis.

A amostra de Mcc, que teve menor massa específica, é um material que depende fundamentalmente da energia de compactação exercida na aplicação. Estranhamente, os CP's de Mcc não tiveram ganho de resistência e esse fato pode ter relação com a maior perda de água dos corpos de prova Mcc em relação aos outros.

Para a abrasão, o processo executivo da argamassa seca (Mcc) pode ter sido a causa da grande perda observada. Uma compactação mal executada gera corpos de prova bem mais frágeis e menos representativos.

Com base nos resultados de cisalhamento inclinado, percebe-se que o contrapiso de traço Mcc teve o pior resultado. Neste caso, por se tratar de um estudo comparativo, não foi feita uma ponte de aderência entre o substrato e a argamassa tipo “farofa”, recomendada em diversas bibliografias. Assim, acredita-se que a ausência deste procedimento possa ter sido significativa para os baixos resultados de aderência encontrados. O fato das outras amostras serem bem mais fluidas contribuiu para que o material penetrasse nos macro e microporos, favorecendo o microagulhamento.

Na análise visual, a superfície da amostra Mcc, áspera e irregular, é ideal para assentamento de acabamentos e propiciam boa colagem.

A partir dos ensaios e das discussões feitas nos itens 7.2.5 e 7.3.6, conclui-se que o uso do contrapiso autonivelante em substituição aos materiais tradicionalmente utilizados é indicado, tendo em vista que seu comportamento mecânico foi comprovadamente satisfatório.

9 CONCLUSÕES

Com isto, as perguntas iniciais já podem ser respondidas:

“O contrapiso autonivelante (CPA), tecnicamente, é um material viável para ser usado em obras brasileiras?”

Sim. Tecnicamente, o CPA se mostrou viável e apresentou características adequadas para o seu uso, com altos valores de resistência, abrasão e aderência. Vai de encontro a uma necessidade de redução de mão de obra (atualmente escassa no mercado da construção civil) e não depende da execução para que a qualidade seja superior ao CPC.

“O contrapiso autonivelante (CPA) é mais interessante que o contrapiso convencional (CPC)? Por quê?”

De acordo com os ensaios, as características mecânicas do CPA se mostraram superiores às do CPC. Além disso, o CPA tem duas grandes vantagens em relação ao CPC, que são a qualidade e a produtividade, fazendo com que ele seja mais interessante que o CPC. No entanto, essa questão entra também no mérito dos custos de mercado e custos de produção, que não puderam ser tratados neste trabalho.

Por outro lado, a questão da industrialização dos sistemas produtivos é um caminho a se trilhar e não há que se falar em retrocesso. Os custos obviamente serão absorvidos pelas demandas de mercado e as soluções fatalmente serão incorporadas ao dia-a-dia da construção.

Com relação às amostras estudadas é possível concluir ainda que o material com redução de insumos (M_{ri}), apresentado na segunda fase de ensaios, é o melhor material dentre os ensaiados. Ele apresentou características físicas e mecânicas muito boas, superiores aos demais, e trás ainda a vantagem de ter uma diminuição significativa de insumos.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS

FUTUROS

Com este trabalho, pretende-se contribuir para um melhor entendimento do comportamento do concreto e argamassa autoadensáveis para contrapisos. Esta técnica apresenta alto potencial de utilização, embora ainda precise de muitos outros estudos complementares.

Abaixo são sugeridos alguns temas que não puderam ser desenvolvidos, mas que poderão trazer resultados importantes para compreender as características, os fenômenos e as recomendações deste material:

- i. Realizar os mesmo testes ou outros complementares, modificando os traços de argamassa tipo “farofa” e os traços da argamassa autonivelante;
- ii. Estudar a melhoria do traço com redução do uso de aditivos;
- iii. Fazer análise econômica do contrapiso autonivelante, com medições em campo das produtividades e avaliação dos custos de material;
- iv. Estudar outras soluções já disponíveis com argamassa ensacada misturada em argamassadeira no momento da execução;
- v. Estudar outros tipos de contrapiso já disponíveis no mercado com adição de espuma e baixa densidade;
- vi. Avaliar a aderência das argamassas autonivelantes para o assentamento de acabamentos de pisos, definindo as argamassas colantes mais recomendadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9935:2011. **Agregados – Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 12p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211:2005. **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 11p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11579:2012. **Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 4p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9776:1987. **Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. 3p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7251:1982. **Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro: ABNT, 1982. 3p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738:2003. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13279:2005. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 9p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 47:2002. **Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 23p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 51:2001. **Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles"**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 6p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 248:2003. **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6p.
- BARROS Mércia Maria S. Bottura de** Recomendações para a produção de contrapisos para edifícios // Boletim Técnico USP. - São Paulo : [s.n.], 1995.
- BAUER Luiz Alfredo Falcão** Materiais de Construção [Livro]. - Rio de Janeiro : LTC, 2011.

CARASEK Helena Argamassas [Seção do Livro] // Materiais de construção civil e princípios de ciência engenharia de materiais / ed. ISAIA Geraldo Cechella. - São Paulo : IBRACON, 2007. - Vol. 2 : 2.

CICHINELLI Gisele Construção Passo a Passo [Livro]. - São Paulo : Pini, 2009.

COSTA Mirian de Almeida [Online]. - Divisi Engenharia, 8 de Outubro de 2009. - 19 de Abril de 2013. - <http://www.divisiengenharia.com.br/site/cura-do-concreto/>.

CSTB Centre Scientifique Et Technique Du Bâtiment Modalités d'essais des anduits extérieurs d'imperméabilisation de mur à base de liants hydrauliques. - 1982. - Cahier n° 1779.

EGLE Telma Técnica ed.164 [Online] // PINI. - Novembro de 2010. - 28 de Janeiro de 2013. - <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/164/contrapiso-autonivelante-com-prazo-de-execucao-reduzido-e-custos-191782-1.asp>.

FAUSTO Amauri Pedro e MOSER Douglas Emerson Concreto com ar incorporado: Efeitos na resistência mecânica // 53º Congresso brasileiro do concreto. - Curitiba : IBRACON, 2011.

FERREIRA Eliene Pires Comportamento e Desempenho do Reforço à Flexão de Lajes de Concreto Armado através do Aumento da Seção na Região Comprimida // Dissertação de mestrado. - [s.l.] : UFMG, 2003. - pp. 28-35.

FIORITO Antonio J.S.I. Manual de argamassas e revestimentos : estudos e procedimentos de execução [Livro]. - São Paulo : Pini, 2009.

FRANCO Eliete de Medeiros A ergonomia na construção civil: uma análise do posto do mestre-de-obras // Dissertação de Mestrado. - Florianópolis : UFSC, 1995.

FREITAS João Marcelo Couri de Influência da variação dos constituintes no desempenho de argamassas de revestimento // Dissertação de Mestrado. - Belo Horizonte : UFMG, 2007.

GODOY Eduardo Henrique Pinheiro de Diretrizes para produção de contrapisos estanques // Botelim Técnico USP. - São Paulo : [s.n.], 2000.

GOMES Paulo César Correia e BARROS Alexandre Rodrigues Métodos de dosagem de concreto autoadensável [Livro]. - São Paulo : Pini, 2009.

HELENE Paulo e ANDRADE Tibério Concreto de cimento portland [Seção do Livro] // Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de

materiais / ed. ISAIA Geraldo Cechella. - São Paulo : IBRACON, 2007. - Vol. 2 : 2.

IBGE [Online] // IBGE. - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 21 de Setembro de 2012. - 2013 de Janeiro de 2013. - http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=2222&id_pagina=1.

LAPA José Silva Estudo de viabilidade técnica de utilização em argamassas do resíduo de construção oriundo do próprio canteiro de obra // Dissertação de mestrado. - Belo Horizonte : UFMG, 2011.

MARTINS Eliziane Jubanski Procedimento para dosagem de pastas para argamassa auto-nivelante // Dissertação de Mestrado. - Curitiba : UFPR, 2009.

MARTINS Juliana Equipe de Obra [Online] / ed. PINI. - Novembro de 2012. - 28 de Janeiro de 2013. - <http://www.equipededeobra.com.br/construcao-reforma/53/artigo272035-1.asp>.

MATTOS Aldo Dórea Como preparar orçamentos de obras [Livro]. - São Paulo : Pini, 2006.

MIRANDA Tiago Câmara dos Deputados [Online]. - 27 de Abril de 2011. - 13 de Março de 2012. - <http://www2.camara.gov.br/agencia/noticias/ADMINISTRACAO-PUBLICA/196187-DEFICIT-HABITACIONAL-NO-BRASIL-E-DE-5,5-MILHOES-DE-MORADIAS.html>.

NAKAKURA Elza [et al.] Mãos à Obra pro [Online]. - Associação Brasileira de Cimento Portland, 2012. - 28 de Janeiro de 2013. - <http://www.maosaobra.org.br/fasciculos/fasciculo-pisos/base-de-concreto-e-contrapiso/execucao-passo-a-passo-argamassa-de-regularizacao/>.

OLIVEIRA Ronaldo Sabino de Concreto autoadensável: solução ou modismo // Monografia Curso de Especialização em Construção Civil da Excola de Engenharia da UFMG. - Rio de Janeiro : [s.n.], 2011.

Prefeitura Municipal de Belo Horizonte - Urbel Construa Bem - Manual de apoio ao auto construtor. - Belo Horizonte : I&T, Dezembro de 1994. - Vol. 3.

REPETTE Wellington Longuini Concreto - Ensino, Pesquisa e Realizações [Seção do Livro] / A. do livro IBRACON. - São Paulo : G.C. Isaia, 2005. - Vol. 2.

RIBEIRO Carmem Couto, PINTO Joana Darc Silva e STARLING Tadeu Materiais de Construção Civil [Livro]. - Belo Horizonte : UFMG, 2006.

SILVA Narciso Gonçalves da Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica // Tese de doutorado. - Florianópolis : UFSC, 2011.

SOUZA Ubiraci Espinele Lemes de Equipe de Obra ed. 14 [Online]. - PINI, Dezembro de 2007. - 28 de Janeiro de 2013. - <http://www.equipededeobra.com.br/construcao-reforma/14/artigo67899-1.asp>.

SOUZA Ubiraci Espinelli Lemes de Equipe de obra ed. 12 [Online]. - PINI, Julho de 2007. - 28 de Janeiro de 2013. - <http://www.equipededeobra.com.br/construcao-reforma/12/artigo56461-1.asp>.

TISAKA Maçahiko Orçamento na construção civil : consultoria, projeto e execução [Livro]. - São Paulo : PINI, 2006.

TUTIKIAN Bernardo Fonseca e DAL MOLIN Denise Carpena Concreto auto-adensável [Livro]. - São Paulo : Pini, 2008.

Wikipédia [Online]. - 2012 de Novembro de 2012. - 09 de Janeiro de 2013. - http://pt.wikipedia.org/wiki/Pesquisa_Nacional_por_Amostra_de_Domic%C3%A9lios.