



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

LUCIANA BISCARO HAMOY

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CONTRAPISO AUTONIVELANTE: UMA PROPOSTA DE SISTEMA CONSTRUTIVO
RACIONALIZADO PARA EDIFICAÇÕES.

Belém, Pará

2017

LUCIANA BISCARO HAMOY

CONTRAPISO AUTONIVELANTE: UMA PROPOSTA DE SISTEMA CONSTRUTIVO
RACIONALIZADO PARA EDIFICAÇÕES.

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Mestrado Acadêmico, como requisito necessário para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Santos Barata.

Área de Concentração: Tecnologias Construtivas, Conservação e Restauro.

Belém, Pará

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Hamoy, Luciana Biscaro, 1966-

Contrapiso autonivelante: uma proposta de sistema construtivo racionalizado para edificações / Luciana Biscaro Hamoy — 2017.

Orientador: Márcio Santos Barata

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Belém, 2017.

1. Argamassa. 2. Materiais de construção. 3. Pisos – Ruído - Avaliação.
I. Título.

CDD 23. ed. 691.5

LUCIANA BISCARO HAMOY

CONTRAPISO AUTONIVELANTE: UMA PROPOSTA DE SISTEMA CONSTRUTIVO
RACIONALIZADO PARA EDIFICAÇÕES

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Mestrado Acadêmico, como requisito necessário para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de Concentração: Tecnologias Construtivas, Conservação e Restauro.

Belém-PA, 30/08/2017.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Márcio Santos Barata (orientador)

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Gustavo da Silva Vieira de Melo (Membro Interno)

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Sandoval Jose Rodrigues Junior (Membro Externo)
Faculdade de Engenharia Civil – Universidade Federal do Pará

Ao meu pai José Venício (*in memoriam*);
A minha avó Antonia (*in memoriam*);
Ao meu avô Arthur (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

À Deus que me deu forças para nunca desistir.

A minha mãe que sempre incentivou e apoiou em todos os momentos de minha vida.

Ao meu marido Moysés que sempre esteve presente me ajudando e dando suporte logístico, emocional e financeiro para que eu conseguisse chegar ao fim desta empreitada, sem você não teria conseguido.

Aos meus filhos que são a razão pelo qual quero sempre melhorar.

Ao meu orientador Prof. Marcio Barata, pelo apoio, incentivo e ajuda nos momentos mais críticos, com quem aprendi muito e tenho certeza que guardarei estes ensinamentos pelo resto da vida.

Ao amigo Jerônimo que foi peça crucial para que conseguisse elaborar os traços e preparar os corpos de prova, bem como algumas medições.

Aos amigos do mestrado Gustavo e Lourenço que me apoiaram e incentivaram tornando os dias mais leves e divertidos.

A amiga Ananda que me ajudou com os ensaios de retração.

Aos professores do Mestrado da FAU que ampliaram os meus conhecimentos em especial ao Prof. Gustavo Melo pelo apoio no ensaio de impacto acústico sobre piso e Prof.^a Ana Klaudia Perdigão pelo incentivo para que este Mestrado acontecesse.

Aos professores e funcionários do laboratório de engenharia civil que possibilitaram a realização do ensaio de retração.

Aos alunos de graduação do curso de engenharia mecânica Gerardo e Pedro que ajudaram no ensaio de impacto acústico sobre piso.

Ao Eduardo proprietário da Empresa Supermassa que nos ajudou fornecendo areia, celulose e fíler calcário para nossa pesquisa.

Ao engenheiro Nader Rachid da Empresa AMEC Construtora e sua equipe que forneceu a infraestrutura, material e local para realizarmos os ensaios de impacto acústico sobre piso.

As empresas que nos forneceram o aditivo adesivo (Viapol), o aditivo compensador de retração (Chimica Edile), cimento (Votorantim).

A todos os meus familiares e amigos que torceram pelo meu sucesso.

“O sucesso não está apenas na conquista, mas em todo o percurso.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

HAMOY, Luciana B. **Contrapiso Autonivelante: Uma Proposta de Sistema Construtivo Racionalizado Para Edificações Comerciais, Industriais e Residenciais**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFPA – Belém, 2017.

As mudanças ocorridas na economia do Brasil durante a década 1990 provocaram significativas transformações na indústria da construção civil. O contrapiso autonivelante está entre estas novas tecnologias. Entretanto, apesar de tornar a confecção do piso mais rápida empregando mão de obra reduzida, sua utilização vem se caracterizando pela ausência de controle dos parâmetros reológicos das misturas e dosagem inadequada, provocando aparecimento de fissuras de retração, baixa resistência à aderência e abrasão, pega e endurecimento retardado, segregação durante o bombeamento e destacamento da argamassa. O trabalho teve por objetivo formular misturas de argamassas autonivelantes que apresentassem características reológicas adequadas como: alta coesão e alta fluidez, bombeabilidade, alta resistência mecânica e estabilidade dimensional e que atendesse aos critérios de desempenho acústico da norma de desempenho ABNT NBR 15575. O trabalho foi dividido em quatro etapas, sendo que as duas primeiras consistiram na definição das composições da mistura mais apropriadas e definição da dosagem de aditivo espessante (hidroxietilcelulose - HEC) e aditivo compensadores de retração (ACR). Na terceira etapa foi escolhida uma mistura de argamassa para avaliação das propriedades tanto no estado fresco quanto endurecido. No estado fresco, densidade de massa no estado fresco, teor de ar incorporado, exsudação, consistência inicial e tempo de retenção de fluxo. No estado endurecido, resistência à compressão e resistência de aderência. A quarta etapa consistiu em aplicar a argamassa em contrapiso de um edifício multifamiliar para avaliação do isolamento aos impactos de ruídos sobre piso. A composição da argamassa autonivelante definida nas etapas preliminares apresentou resultados que atenderam às propriedades no estado fresco e endurecido. No contrapiso, em conjunto com uma laje de concreto armado de 10 cm, atendeu as prescrições mínimas da norma de desempenho.

Palavras chave: argamassa autonivelante, contrapiso autonivelante, desempenho acústico, sistema construtivo, racionalização.

ABSTRACT

HAMOY, Luciana B. **Self-Leveling Underlayment: A Rationalized Building System Proposal for Commercial, Industrial and Residential Buildings**. Master's Thesis. Graduate Program in Architecture and Urbanism, UFPA - Belém, 2017.

The changes that occurred in the Brazilian economy during the 1990s caused significant changes in the construction industry. The self-leveling subfloor is among these new technologies. However, despite the fact that it makes the manufacture of the floor faster by employing a reduced labor force, its use has been being characterized by the absence of control of the rheological parameters of the mixtures and inadequate dosing, causing the appearance of retraction cracks, low resistance to adhesion and abrasion, and retarded hardening, segregation during pumping and detachment of the mortar. The aim of this work was to formulate self-leveling mortar mixtures that had suitable rheological characteristics such as high cohesion and high fluidity, pumpability, high mechanical strength (or resistance) and dimensional stability and that would meet the acoustic performance criteria of ABNT NBR 15575 performance standard. The work has been divided in four stages. The first two consisted of the definition of the most appropriate blend compositions and the definition of the thickening additive dosage (hydroxyethylcellulose - HEC) and compensating shrinkage additive. In the third stage a mortar mix was chosen for evaluating the properties in the fresh state when hardened. In the fresh state, fresh mass density, embedded air content, exudation, initial consistency and flow retention time. In the hardened state, compressive strength and adhesion resistance. The fourth step consisted in applying the mortar on the subfloor of a multifamily building to evaluate the insulation to the noise impacts on the floor. The composition of the self-leveling mortar defined in the preliminary stages presented results that met the properties in the fresh and hardened state. In the subfloor, together with a 10 cm reinforced concrete slab, it met the minimum requirements of the performance standard.

Key words: self-leveling mortar, self-leveling underlayment, acoustic performance, construction system, rationalization.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - SISTEMA DE PISOS CONVENCIONAL.	23
FIGURA 2 - CORTE DO SISTEMA DE PISO CONVENCIONAL.	24
FIGURA 3 - CORTE DO SISTEMA/VEDAÇÃO HORIZONTAL INTERNA.	25
FIGURA 4 - CORTE DO SISTEMA ADERIDO/VEDAÇÃO HORIZONTAL INTERNA.	26
FIGURA 5 - CONTRAPISO FLUTUANTE.	28
FIGURA 6 - RECUPERAÇÃO DAS ARQUIBANCADAS DO ESTÁDIO DO MARACANÃ (RJ).....	29
FIGURA 7 - LANÇAMENTO DA ARGAMASSA COM NÍVEL CONTROLADO POR NIVELETAS.....	29
FIGURA 8 - PROCESSO DE NIVELAMENTO COM RODO FURA BOLHAS.	30
FIGURA 9 - CONTRAPISO AUTONIVELANTE APLICADO EM OBRA	30
FIGURA 10- CURVA GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO.	36
FIGURA 11 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE SUSPENSÃO ONDE FOI USADO SUPERPLASTIFICANTE.	39
FIGURA 12 - AÇÃO DO EXPANSOR NA ARGAMASSA.	42
FIGURA 13 - CAMINHOS DE PERCORRIDOS PELO SOM PARA TRANSMISSÃO DE RUÍDO DE IMPACTO PARA SALAS ADJACENTES VERTICALMENTE.	45
FIGURA 14 – FLUXOGRAMA GERAL DA PESQUISA.	49
FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA FINA EMPREGADA NAS ETAPAS DE LABORATÓRIO.	51
FIGURA 16 - FLUXOGRAMA 1ª ETAPA.	53
FIGURA 17 - MEDIDAS DO DIÂMETRO DO MINI SLUMP	55
FIGURA 18 – TAMANHO DOS MINI <i>SLUMP</i> ENCONTRADOS NA LITERTURA (A, B) E EMPREGADO NA PESQUISA (C).	56
FIGURA 19 - ESQUEMA DE UTILIZAÇÃO DO SLUMP FLOW TESTE.	57
FIGURA 20 - DIMENSÕES DO SLUMP FLOW TEST.....	58
FIGURA 21 - MOLDE PARA ENSAIO DE EXSUDAÇÃO.....	59
FIGURA 22 - FLUXOGRAMA DOS ENSAIOS DA 2ª ETAPA.	61
FIGURA 23 - FLUXOGRAMA DA 3ª ETAPA.....	63
FIGURA 24 - APARELHO DE AR INCORPORADO USADO NA PESQUISA.	65
FIGURA 25 - CAIXA COM SUBSTRATO DE CONCRETO.	67
FIGURA 26 - CAIXA COM CONTRAPISO AUTONIVELANTE.	67
FIGURA 27 - APARELHO DE ENSAIO DE ADERÊNCIA.	68

FIGURA 28 - EMPREENDIMENTO SALINAS PARK RESORT.	70
FIGURA 29 - LOCAL DE LANÇAMENTO DA ARGAMASSA PARA CONTRAPISO AUTONIVELANTE.	70
FIGURA 30 - FLUXOGRAMA DA 4ª ETAPA.	71
FIGURA 31 - SLUMP FLOW TRAÇO FINAL.	71
FIGURA 32 – AVALIAÇÃO DA SEGREGAÇÃO DA ARGAMASSA AUTONIVELANTE.	72
FIGURA 33 - GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE AREIA DA OBRA E AREIA INDUSTRIALIZADA.	72
FIGURA 34 -LANÇAMENTO DA ARGAMASSA ATRAVÉS DA CALHA.	73
FIGURA 35 - ARGAMASSA LANÇADA NO CARRO DE TRANSPORTE A PARTIR DO CAMINHÃO BETONEIRA.	74
FIGURA 36 - CARRO PARA TRANSPORTE DA A ARGAMASSA.	74
FIGURA 37 - CONTRAPISO SENDO REGULARIZADO COM DESEMPENADEIRA MANUAL.	75
FIGURA 38 - POSIÇÃO FONTE E MICROFONE PARA MEDIÇÃO DO TR.	78
FIGURA 39 – POSIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS PARA ENSAIO DE RÚIDO DE IMPACTO.	79
FIGURA 40 - POSIÇÃO TAPPING MACHINE X MICROFONE.	80
FIGURA 41 - GRÁFICO DE CONSISTÊNCIA E RETENÇÃO DE FLUXO.	82
FIGURA 42 - GRÁFICO DA QUANTIDADE DE ÁGUA EXSUDADA.	83
FIGURA 43 - GRÁFICO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.	85
FIGURA 44 - TRAÇOS BSF – DOSAGENS DE ADITIVO COMPENSADOR DE RETRAÇÃO.	88
FIGURA 45 - GRÁFICO DE RETRAÇÃO LINEAR.	90
FIGURA 46 - GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.	92
FIGURA 47 - GRÁFICO DA RETENÇÃO DE FLUXO DAS ARGAMASSAS COM E SEM ADESIVO. ...	94
FIGURA 48 - GRÁFICO DA QUANTIDADE DE ÁGUA EXSUDADA.	95
FIGURA 49 - GRÁFICO DAS CURVAS L'NT X NPS NORMA 717-2.	101
FIGURA 50 - GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE A NORMA 717-2 E OS VALORES DE NORMA CORRIGIDOS.	102
FIGURA 51 - GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE CURVA DA NORMA CORRIGIDA E O NPS DE IMPACTO NORMALIZADO.	103
FIGURA 52 - GRÁFICO COMPARATIVO DE NPS.	103

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TIPOS DE CIMENTO.....	32
TABELA 2 - APLICAÇÕES DOS DIFERENTES TIPOS DE CIMENTO PORTLAND.....	33
TABELA 3 - LIMITE DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO.	35
TABELA 4 - VALORES DE REFERÊNCIA DO L'NT, W EM DIVERSOS PAÍSES.	43
TABELA 5 - LIMITES DE ISOLAMENTO AO RUÍDO DE IMPACTO.....	44
TABELA 6 - METODOLOGIA PARA CÁLCULO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DE RUÍDO DE IMPACTO.	46
TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CIMENTO.....	50
TABELA 8 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) – ABNT NBR 7215/ 2009.	50
TABELA 9 - CARACTERÍSTICAS DO ADITIVO ADESIVO VIAFIX CHAPISCO.	52
TABELA 10 - TRAÇO UTILIZADO NA 1ª ETAPA.....	54
TABELA 11 - REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA ESPALHAMENTO MINI SLUMP.....	56
TABELA 12 - TRAÇO UTILIZADO NA 2ª ETAPA.....	61
TABELA 13 - TRAÇO UTILIZADO NA 3ª ETAPA.....	63
TABELA 14 - COMPOSIÇÃO DO CONCRETO PARA SUBSTRATO DE ENSAIO DE ADERÊNCIA.....	66
TABELA 15 - CARACTERÍSTICAS DOS CÔMODOS ENSAIADOS.	76
TABELA 16 - ARRANJOS DE MEDIÇÃO ESTABELECIDOS PARA ENSAIOS DE ISOLAMENTO AO RUÍDO DE IMPACTO.....	76
TABELA 17 - RESULTADOS ENSAIO DE ESPALHAMENTO TRAÇOS INICIAIS.	81
TABELA 18 - TABELA DE ENSAIO DE CONSISTÊNCIA.	87
TABELA 19 - VALORES DE DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR INCORPORADO.	96
TABELA 20 - RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DO TRAÇO COM ADESIVO.	98
TABELA 21 - RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DO TRAÇO SEM ADESIVO.....	98
TABELA 22 - DADOS OBTIDOS NO ENSAIO NO CAMPO.....	100
TABELA 23 - VALORES DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL OBTIDA NA OBRA.	100
TABELA 24 – RESULTADOS DE ENSAIO DE IMPACTO ACÚSTICO SOBRE PISO.....	101

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas técnica
a/c	Relação água/cimento
a/ms	Relação água/materiais secos
ASTM	American Society for Testing and Materials
ACR	Aditivo compensador de retração
BRE	Building Reserch Establishment
BSI	British Standar Institution
CSTB	Centre Scientifique Techique du Batiment
C3A	Aluminato tricálcico
CSH	Silicato de cálcio hidratado
C3S	Silicato tricálcio
CP	Corpo de prova
DIN	Deustches Institut Fur Normung
DS	Metoxila
EFNARC	European Federation for Specialist Construction Chemical and Concret
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma do Mercosul
VMA	Aditivo modificador de viscosidade
UFPA	Universidade Federal do Pará
SBR	Borracha de Butadieno Estireno

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. JUSTIFICATIVA	20
3. OBJETIVOS	22
3.1. OBJETIVO GERAL	22
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
4. REFERENCIAL TEÓRICO	23
4.1. CONTRAPISO CONVENCIONAL	23
4.1.1. CONTRAPISO ADERIDO.....	26
4.1.2. CONTRAPISO NÃO ADERIDO.....	27
4.1.3. CONTRAPISO FLUTUANTE	27
4.2. CONTRAPISO AUTONIVELANTE	28
4.3. ARGAMASSA AUTONIVELANTE.....	31
4.4. MATERIAIS CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS	32
4.4.1. CIMENTO	32
4.4.2. AGREGADO MIÚDO	35
4.4.3. ÁGUA	36
4.4.4. ADITIVOS.....	37
4.4.4.1. Aditivos redutores de água.....	38
4.4.4.2. Aditivo modificador de viscosidade	39
4.4.4.2.1. Fíler calcário.....	39
4.4.4.2.2. Aditivo espessante (éteres de Celulose).....	40
4.4.4.3. Aditivo compensador ou redutor de retração (ACR).....	41
4.5. DESEMPENHO ACÚSTICO EM CONTRAPISOS AUTONIVELANTES.....	43
4.5.1. NÍVEL DE RUÍDO DE AMBIENTE (LRA)	47
4.5.2. TEMPO DE REVERBERAÇÃO	47
5. MATERIAIS E MÉTODOS	48
5.1. ETAPAS DA PESQUISA.....	48
5.2. CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL DOS TRAÇOS	50
5.2.1. CIMENTO	50
5.2.2. AGREGADO MIÚDO	50
5.2.3. ÁGUA	51
5.2.4. ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE	51

5.2.5. ADITIVO ESPESSANTE	52
5.2.6. FÍLER CALCÁRIO	52
5.2.7. ADITIVO EXPANSOR OU COMPENSADOR DE RETRAÇÃO (ACR)	52
5.2.8. ADITIVO ADESIVO	52
5.3. ENSAIOS	53
5.3.1. PRIMEIRA ETAPA: ENSAIOS PRELIMINARES.....	53
5.3.1.1. Ensaio no estado fresco	54
5.3.1.1.1. Consistência e tempo de retenção de fluxo.....	54
5.3.1.1.2. Ensaio de espalhamento (Slump Flow T50 Test).....	57
5.3.1.1.3. Quantidade de água exsudada	58
5.3.1.2. Ensaio no estado endurecido	60
5.3.1.2.1. Resistência à compressão axial	60
5.3.2. SEGUNDA ETAPA: DEFINIÇÃO DO PERCENTUAL DE INCORPORAÇÃO DO ADITIVO COMPENSADOR DE RETRAÇÃO (ACR).....	61
5.3.2.1. Ensaio no estado fresco	62
5.3.2.1.1. Ensaio de consistência.....	62
5.3.2.2. Ensaio no estado endurecido	62
5.3.2.2.1. Retração por secagem	62
5.3.2.2.2. Resistência à compressão axial	62
5.3.3. TERCEIRA ETAPA: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS AUTONIVELANTES COM E SEM ADESIVO.	63
5.3.3.1. Ensaio no estado fresco	64
5.3.3.1.1. Consistência e retenção de fluxo	64
5.3.3.1.2. Quantidade de água exsudada	64
5.3.3.1.3. Densidade aparente	64
5.3.3.1.4. Teor de ar incorporado.....	65
5.3.3.2. Ensaio no estado endurecido	66
5.3.3.2.1. Resistência de aderência à tração	66
5.3.3.2.2. Resistência à compressão axial	69
5.3.4. QUARTA ETAPA – ENSAIO DE CAMPO	70
5.3.4.1. Traço laboratório de Campo	71
5.3.4.2. Traço central de concreto.....	73
5.3.4.3. Ensaio de impacto acústico sobre piso	75
5.3.4.3.1. Parâmetros medidos:.....	77

5.3.4.3.2. Equipamentos usados nos ensaios:.....	77
5.3.4.3.3. Medição do nível de ruído ambiente (Lra).....	77
5.3.4.3.4. Tempo de reverberação.....	78
5.3.4.3.5. Cálculo do nível de pressão sonora de impacto ponderado (L'nT,w).....	79
6. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	81
6.1. PRIMEIRA ETAPA - TRAÇOS EXPERIMENTAIS	81
6.1.1. ENSAIO NO ESTADO FRESCO	81
6.1.1.1. Consistência e Tempo Retenção de Fluxo.....	81
6.1.1.2. Quantidade de água exsudação.....	83
6.1.2. ENSAIO NO ESTADO ENDURECIDO	85
6.1.2.1. Resistência à compressão axial.....	85
6.1.3. CONCLUSÃO DA PRIMEIRA ETAPA.....	86
6.2. SEGUNDA ETAPA: DEFINIÇÃO DO PERCENTUAL DE INCORPORAÇÃO DO ADITIVO COMPENSADOR DE RETRAÇÃO (ACR).....	87
6.2.1. ENSAIO NO ESTADO FRESCO	87
6.2.1.1. Ensaio de consistência.....	87
6.2.2. ENSAIO NO ESTADO ENDURECIDO	90
6.2.2.1. Retração linear	90
6.2.2.2. Resistência à compressão axial.....	92
6.2.3. CONCLUSÃO DA SEGUNDA ETAPA.....	93
6.2. TERCEIRA ETAPA: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS AUTONIVELANTES COM E SEM ADESIVO (SBR).....	94
6.3.1. ENSAIO NO ESTADO FRESCO	94
6.3.1.1. Ensaio de consistência.....	94
6.3.1.2. Quantidade de água exsudada	95
6.3.1.3. Densidade de massa e ar incorporado.....	96
6.3.2. ENSAIO NO ESTADO ENDURECIDO	97
6.3.2.1. Resistência à compressão axial.....	97
6.3.2.2. Resistência de aderência à tração	98
6.3.3. CONCLUSÃO DA TERCEIRA ETAPA	99
6.4. QUARTA ETAPA – ENSAIO NO CAMPO.....	100
6.4.1. ENSAIO NO ESTADO FRESCO	100
6.4.1.1. Consistência, retenção de fluxo e exsudação	100
6.4.1. ENSAIO NO ESTADO ENDURECIDO	100

6.4.1.1. Retração e resistência à compressão axial	100
6.4.1.2. Ensaio de Impacto acústico sobre piso	101
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
7.1. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	106
8. REFERÊNCIAS.....	107

1. INTRODUÇÃO

A década de 1990 trouxe significativas mudanças na indústria da Construção Civil brasileira através da necessidade de modernização no setor, mudando a forma de gestão empresarial, fazendo com que as empresas se tornassem novamente competitivas, buscando a melhoria da qualidade e aumento da produtividade (SOUZA E TAMAKI, 2004).

As empresas começaram a buscar novas tecnologias na Europa e nos Estados Unidos para otimizar os processos produtivos e reduzir os custos com mão de obra. Dentro deste contexto surgiu contrapiso autonivelante, tecnologia que foi implantada na Europa na década de 1980, porém só começou a ser utilizado no Brasil na década de 1990. Estudos relevantes sobre este assunto foram feitos até os dias atuais por Ortega (2003), Martins (2009), Libre *et al.* (2010), Souza (2013), Rubim (2015), Araujo *et al.* (2015), Carvalho (2015), Silva (2016) entre outros.

O contrapiso autonivelante é um sistema de piso constituído por uma argamassa de elevada fluidez, podendo ser bombeada até o local da aplicação, reduzindo mão de obra e o tempo para execução do serviço uma vez que se autonivela durante a aplicação. Este processo é muito utilizado para pisos industriais e também para nivelar e reabilitar pisos danificados. É formulada a base de cimento de alta resistência como o cimento aluminoso, areia fina, água e aditivos. Ainda possibilita liberação de espaço no equipamento de transporte vertical para outros componentes tendo em vista que preferencialmente deve ser bombeado (EGLE, 2010).

Em Belém, assim como no Brasil, diferentemente da Europa e dos Estados Unidos, poucas são as empresas que utilizam esta tecnologia, seja pelo desconhecimento técnico a respeito da formulação, seja pela falta de controle dos parâmetros reológicos na produção das argamassas, o que vem provocando em diversas obras no país patologias como exsudação excessiva, segregação, destacamento e fissuração por retração. Por ser uma argamassa que utiliza alto teor de finos, é necessário que a dosagem seja precisa e as características dos insumos muito bem controladas, pois quaisquer mudanças afetam as propriedades das argamassas autonivelantes de forma significativa. O excesso ou falta de água ou de aditivos modifica a consistência e a fluidez da argamassa, desestabilizando-a.

Outro assunto que tem demandado a atenção das empresas de engenharia e construção na atualidade são as prescrições da norma ABNT 15.575, lançada em julho de 2013 que introduziu o conceito de desempenho, com parâmetros claros e objetivos a serem alcançados. Isto torna as empresas construtoras, projetistas, fornecedores de materiais além de outros membros da cadeia produtiva, responsáveis pela qualidade do material utilizado na obra, sua aplicação e seu desempenho. Um dos aspectos da norma de alcance muito célere pelo usuário são os parâmetros acústicos dos sistemas de piso e de vedação. No caso do sistema de pisos, tanto para ruídos aéreos como para ruídos de impacto.

Segundo Jones (2008), o desempenho acústico dos sistemas de piso é avaliado de acordo com o comportamento acústico frente ao ruído aéreo e ao ruído de impacto. Porém, devido às diferenças entre as soluções construtivas, nem sempre os pisos atendem aos dois requisitos ao mesmo tempo. O autor afirma ainda que o ruído aéreo consiste em sucessivas ondas de pressão ou vibrações que são geradas pela fala ou alto-falantes que são transmitidas pelo ar. O ruído de impacto é causado pelo contato intermitente entre sólidos, como por exemplo, queda de objetos, andar de pessoas, arrastar de cadeiras.

Desta forma, o presente trabalho tem como finalidade obter uma formulação para argamassas autonivelantes que elimine os problemas apresentados pelo contrapiso autonivelante como também avaliar o desempenho acústico do mesmo como sistema aderido com vistas ao atendimento às prescrições da norma ABNT NRB 15.575 (2013) no que tange ao desempenho acústico de pisos.

2. JUSTIFICATIVA

O contrapiso autonivelante é uma tecnologia empregada em diversos países com êxito na sua aplicação, tornando as construções mais rápidas e eficientes. No entanto, no Brasil está sendo pouco utilizada devido ao custo elevado e ao desconhecimento técnico relativos à sua produção. De acordo com Nakakura e Bucher (1997) e Tutikian *et al*, (2008, apud Martins, 2009), o contrapiso autonivelante apresenta uma série de vantagens pois sua aplicação demanda um número reduzido de operários, o que torna o local de trabalho mais seguro, o tempo para execução do piso tem uma redução significativa e sua textura é extremamente lisa, pois os agregados que fazem parte da formulação são de granulometria fina.

O contrapiso autonivelante, como todo material e sistema construtivo, requer especificações técnicas a respeito dos materiais constituintes, das dosagens, da forma de lançamento, de procedimentos executivos e do controle de aceitação. (SANTOS & SILVA, 2013).

O que se tem observado nas obras da região metropolitana de Belém e também em outras cidades brasileiras, em muitos casos, é o emprego de misturas sem controle dos parâmetros reológicos, com fissuração, exsudação excessiva na superfície, baixa resistência de aderência e de abrasão, pega e endurecimento retardado. Ocorrem também problemas inerentes à execução como, por exemplo, a falta de controle da espessura, ausência de preparo do substrato e disposição de juntas, segregação durante o bombeamento, problemas estes que levam também à ocorrência de fissuração e destacamento da argamassa.

Outra dificuldade observada quanto à utilização da mistura para contrapiso autonivelante industrializado é o custo elevado dos produtos industrializados e a dificuldade para se encontrar empresas especializadas na aplicação desta tecnologia. Além disto, ainda há resistência por parte do setor de construção de edificações na utilização desta tecnologia pelas patologias apresentadas e pelo custo elevado.

Com a entrada em vigor da norma de desempenho, há também uma preocupação por parte dos engenheiros, arquitetos e construtores com a execução de sistemas de contrapiso, de modo que satisfaçam plenamente as condições de desempenho acústico, pelo menos no nível mínimo exigido.

Para se alcançar os parâmetros mínimos exigidos pela norma é necessário o emprego de mantas acústicas, que dificultam a execução do contrapiso sobre elas, pois não permitem a confecção de mestras, necessárias para o nivelamento da argamassa. O emprego de argamassas autonivelantes sobre as mantas acústicas eliminaria essa dificuldade, permitindo uma maior produtividade de execução do contrapiso flutuante sobre as mantas.

Diante do panorama, justifica-se um estudo que investigue os materiais e a dosagem adequada para obtenção de misturas de contrapiso com características autonivelantes satisfatórias, sem a ocorrência de segregação, exsudação, fissuração, destacamento ou desgaste excessivo com a liberação de material pulverulento. Um trabalho que investigue não só o material, mas também o seu desempenho acústico no sistema aderido ao substrato.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Produzir uma mistura de argamassa com características autonivelantes e avaliar suas propriedades e o desempenho acústico como sistema de contrapiso aderido.

3.2. Objetivos Específicos

1. Produzir diversas misturas de argamassa com características autonivelantes de modo a definir consumo de cimento, proporção cimento: agregado miúdo, percentual de aditivo espessante e superplastificante, o emprego ou não do fíler calcário;
2. Definir através do ensaio de retração por secagem e de resistência à compressão da argamassa definida na primeira etapa, o percentual ótimo de aditivo compensador de retração;
3. Avaliar as propriedades tecnológicas, tanto no estado fresco como no estado endurecido, da argamassa autonivelante definida nas duas etapas anteriores, com e sem aditivo adesivo;
4. Avaliar os parâmetros acústicos conforme as recomendações da norma brasileira de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013) no estado endurecido do sistema de contrapiso autonivelante lançado em uma obra.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados aspectos relacionados à definição de contrapiso convencional, autonivelante, materiais empregados e procedimentos executivos, assim como os critérios de avaliação de desempenho acústico de pisos.

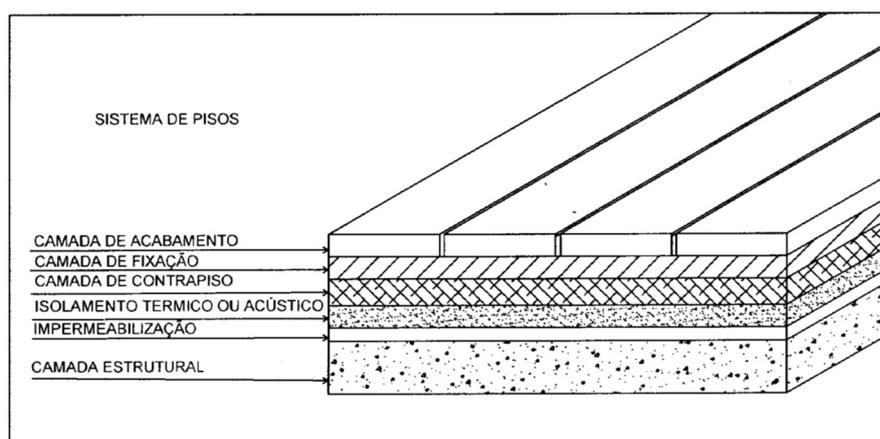
4.1. Contrapiso convencional

O contrapiso é uma camada fundamental para o sistema de pisos e tem inúmeras definições. No Brasil, devido as suas grandes dimensões, diversidade de climas e especificidades regionais é difícil chegar a uma espessura única para a camada de contrapiso. Deste modo, os autores divergem nesta questão.

Cichinelli (2006) descreve o contrapiso como uma camada de argamassa lançada sobre uma base (laje estrutural ou lastro de concreto) para regularização. Segundo a autora a espessura do contrapiso pode variar de 2 a 6 cm, dependendo da função e no caso de contrapisos internos de edifícios habitacionais e comerciais empregam consumo de cimento entre 200 e 250 kg/m³ de argamassa.

A ABNT NBR 15.575-3 (ABNT, 2013) define que a camada de contrapiso é o extrato com as funções de regularizar o substrato, proporcionando uma superfície uniforme de apoio, coesa, aderido ou não e adequada à camada de acabamento, podendo eventualmente servir como camada de embutimento, caimento ou declividade. A Figura 1 sintetiza o esquema do sistema de pisos com suas camadas como é apresentado pela NBR 15.575 no seu capítulo sobre pisos.

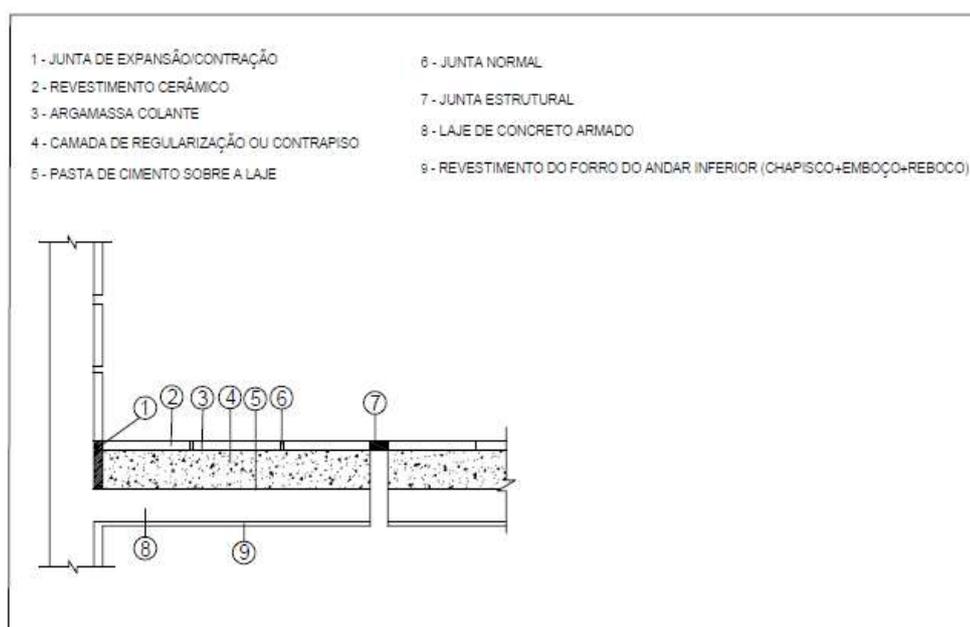
Figura 1 - Sistema de pisos convencional.



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15.575-3 (2013)

Segundo Fiorito (2009), é possível nivelar a superfície anterior ao contrapiso, proporcionando a situação em que o contrapiso seja colocado quando faltar apenas 20 a 25 mm para atingir o nível do piso. Se maior, há a necessidade de uma camada de enchimento ou de regularização. O autor também afirma que o sistema de piso possui várias camadas (Figura 2). São elas: laje ou lastro de concreto simples; camada de pasta de cimento; camada de argamassa de regularização; contrapiso; camada de argamassa colante com espessura uniforme de 3 a 6 mm, dependendo das dimensões da superfície da peça cerâmica; e revestimento cerâmico.

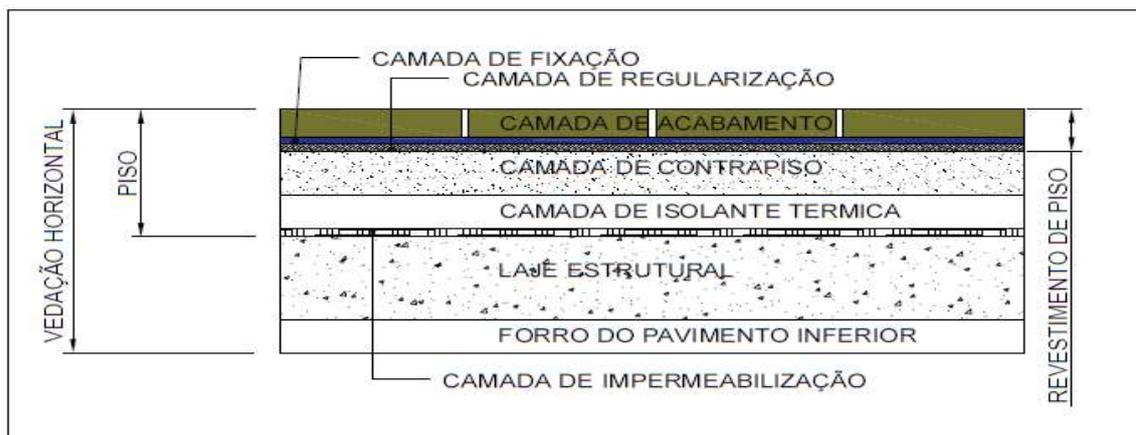
Figura 2 - Corte do sistema de piso convencional.



Fonte: Adaptado do manual de argamassas e revestimento (FIORITO, 2009)

Barros (1991, apud Godoy, 2000) define que contrapiso de argamassa deve ser constituído de uma única camada de material lançado sobre uma base adequadamente preparada. Características como espessura, rugosidade superficial, resistência mecânica, porosidade e durabilidade devem estar adequadas ao atendimento de suas funções principais, além de conferir estanqueidade, tornar possível a colocação do revestimento de piso, transmitir à laje de suporte as cargas de utilização, possibilitar a existência de desníveis necessários entre os ambientes contíguos e a declividade nas áreas molhadas. A Figura 3 mostra o corte do sistema de vedação horizontal interna, segundo os autores supracitados.

Figura 3 - Corte do sistema/vedação horizontal interna.



Fonte: Adaptado de Barros (1991, apud Godoy, 2000)

Para Souza (2007), as espessuras mínimas e máximas dos contrapisos são de 2,0 a 7,8 cm, para os ambientes internos de uma unidade habitacional. Além disto, o contrapiso tem várias funções como regularizar a base, deixando-a mais plana, nivelar a superfície, oferecer caimentos necessários para ralos, embutir as instalações e melhorar o conforto acústico.

O contrapiso deve apresentar algumas características e propriedades que são levantadas por Elder e Vandenberg (1977), pela DIN (*Deutsches Institut für Normung*) 18560 (1981); Pye (1984); Barros *et al* (1991). São elas: condições superficiais favoráveis para a aderência com o revestimento de piso; interfaces piso-contrapiso e base-contrapiso têm que ter a capacidade de absorver deformações decorrentes das solicitações de uso, também chamada de aderência; resistência mecânica, ou seja, é a capacidade de manter a integridade física do contrapiso quando solicitado por ações durante as fases de execução e utilização; capacidade de absorver deformações que é a propriedade que o contrapiso deve apresentar de se deformar sem apresentar fissuras que comprometam o seu desempenho; compacidade, que é a capacidade do contrapiso em resistir ao esmagamento; durabilidade, que varia em função das condições de exposição do contrapiso e da compatibilidade com o revestimento de piso.

Segundo Barros *et al.* (1991), tendo por base a DIN 18560 e a BS (British Standards Institution) 8204, os contrapisos são classificados no que diz respeito a sua interação com a base da seguinte forma:

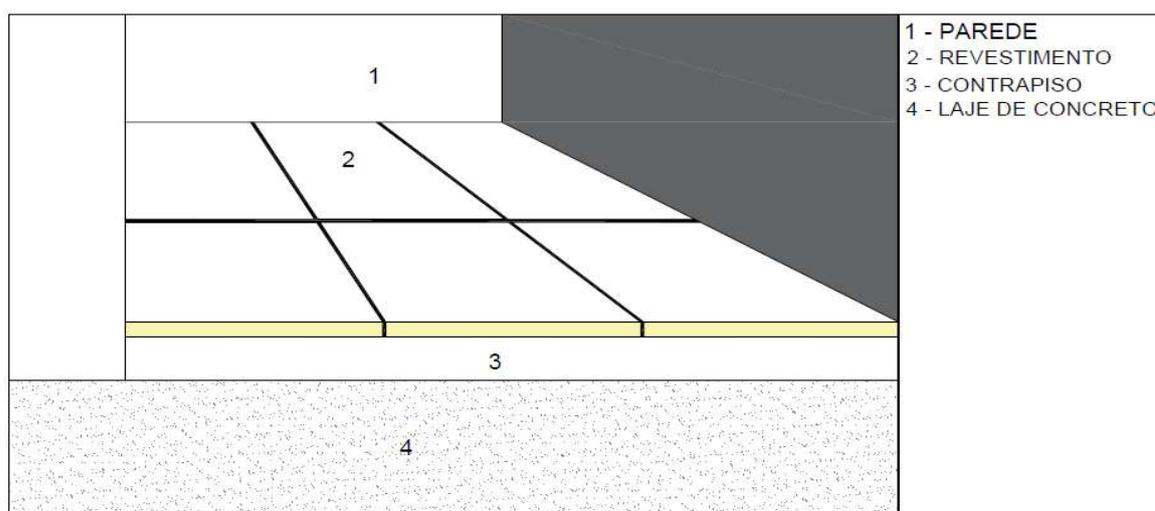
4.1.1. Contrapiso aderido

Tipo de contrapiso que apresenta uma total aderência com a base, podendo ter pequenas espessuras de 20 a 40 mm, trabalhando conjuntamente com a laje.

As proposições do CSTB (Centre Scientifique et Technique du Batimet), de Elder e Vandenberg (1977), da BS 800 e do BRE (Building Research Establishment) para execução de contrapiso aderido, levam em conta as etapas de avaliação das condições da base, que é fundamental no projeto de contrapiso e determina os níveis reais da laje acabada; marcação e lançamento dos níveis de contrapiso, que permite a demarcação de suas espessuras finais.

Segundo Barros *et al.* (1991), as etapas iniciais de preparação de lançamento de um contrapiso aderido necessitam ser bem executadas, pois delas depende a boa fixação do contrapiso à laje. É importante lembrar que para que o contrapiso exerça suas funções adequadamente, no caso, nivelar superfícies, embutir as instalações, criar desníveis entre os ambientes, formar caimentos necessários para ralos e melhorar o desempenho acústico e térmico, torna-se necessário que todas as etapas de execução sejam cumpridas, tomando sempre o cuidado para evitar o consumo excessivo de materiais. A Figura 4 mostra um desenho com as camadas do contrapiso aderido.

Figura 4 - Corte do sistema aderido/vedação horizontal interna.



Fonte: Adaptado de Pierrard e Akkerman (2013)

Para a marcação de níveis, a laje deve estar completamente limpa, sem entulhos, restos de argamassa ou outros materiais aderidos à base que podem ser removidos com ajuda da ponteira e marreta. Esta etapa é imprescindível antes do início da confecção do contrapiso aderido.

4.1.2. Contrapiso não aderido

Tipo de contrapiso no qual a característica de aderência com a base não é fundamental no desempenho, dispensando o preparo e a limpeza da base. Neste caso, a espessura não deve ser superior a 35 mm (BARROS *et al.* 1991).

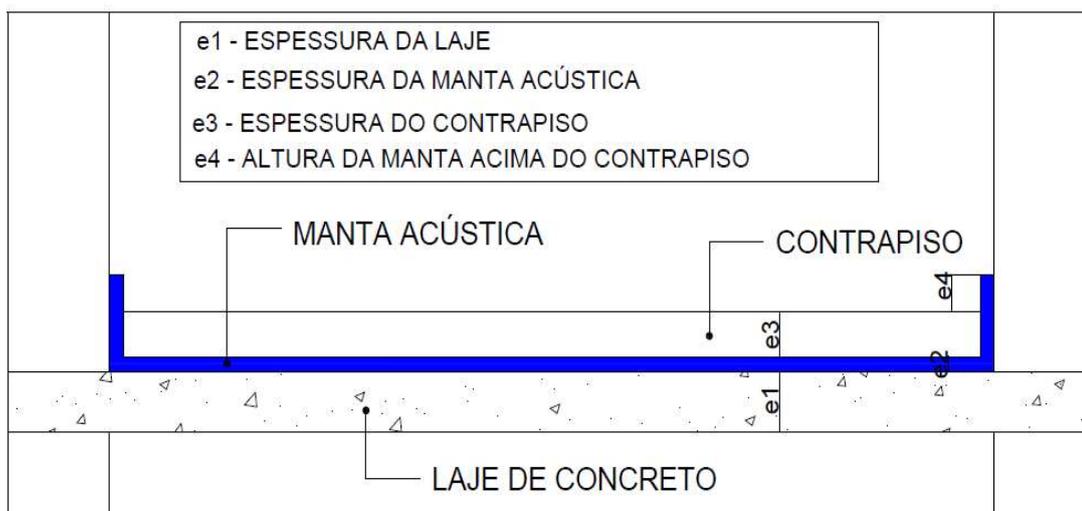
4.1.3. Contrapiso flutuante

Os contrapisos flutuantes são aqueles no qual existem camadas intermediárias de isolamento ou impermeáveis entre o contrapiso e a base, impedindo totalmente a aderência. Neste caso, a camada de contrapiso varia entre 40 mm e 70 mm (BARROS *et al.* 1991).

Em contraposição ao contrapiso aderido, que é o mais utilizado quando não empregamos isolantes acústicos, no contrapiso flutuante podem ser utilizados materiais isolantes incorporados ao sistema de pisos para minimizar a transmissão de ruídos pelo conjunto das vedações. A execução do contrapiso flutuante deve começar com a limpeza dos entulhos, restos de argamassas e materiais aderidos. É importante mencionar que dependendo da espessura do contrapiso, é necessária colocação de uma malha de ferro de 4,2 mm de diâmetro com espaçamento de 10 cm.

A colocação da manta acústica deverá acompanhar o pavimento de modo que não fiquem vazios ou bolsas de ar abaixo da manta (Figura 5). A sobreposição entre as faixas de mantas acústicas nas emendas deverá seguir a especificação do fabricante, uma vez que, para alguns tipos, a sobreposição entre mantas nas emendas é necessária, sendo que para outros, emprega-se fita adesiva, não sendo necessária e nem mesmo recomendada a sobreposição entre mantas. Esses procedimentos são fundamentais para garantir que não haja contato entre a argamassa de regularização e a estrutura, o que poderia comprometer parcialmente o desempenho acústico do sistema (PEINADO, 2014).

Figura 5 - Contrapiso Flutuante.



Fonte: Adaptado de Pierrard e Akkerman (2013)

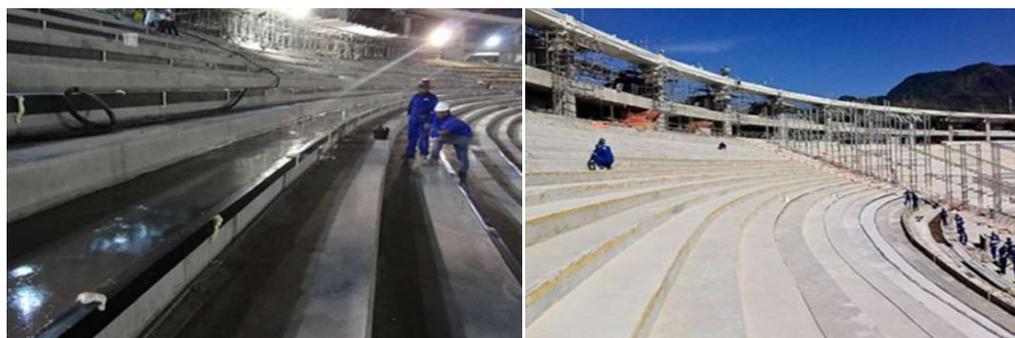
4.2. Contrapiso autonivelante

Para Souza (2013), o contrapiso autonivelante 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 de suporte as cargas de utilização; proporcionar os níveis necessários aos ambientes contíguos, não sendo possível executar desníveis e declividades para os ambientes.

Corsini (2015) afirma que o contrapiso autonivelante é executado com uma argamassa à base de cimento de alto desempenho. O material é autoadensável, monocomponente e bastante fluido. O material pode ser usado em edificações e em obras de infraestrutura urbana, como edifícios-garagem, estacionamentos, pátios e pisos industriais.

A solução já foi usada, por exemplo, como piso dos pavimentos do edifício-garagem do Aeroporto de Cumbica e como nivelamento de arquibancadas no estádio do Maracanã na cidade do Rio de Janeiro–RJ, como mostra a Figura 6, antes do lançamento e após o lançamento.

Figura 6 - Recuperação das arquibancadas do Estádio do Maracanã (RJ).



(a)

(b)

Fonte: <http://www.weber.com.br/reparos-reforços-e-proteção-de-concreto/ajuda-e-dicas/obras-referenciais/grautes-e-autonivelantes-recuperam-estrutura-de-arquibancadas-do-maracana.html>

Após a preparação da base com limpeza e retirada do pó e crostas e colocação ou não de manta acústica, as niveletas ou galgas devem ser posicionadas a fim de garantir que a argamassa autonivelante lançada esteja na altura adequada em relação ao previsto em projeto arquitetônico para cada nível de contrapiso (Figura 7).

Figura 7 - Lançamento da argamassa com nível controlado por niveletas.



Fonte: Peinado, (2014).

Durante o processo de lançamento, emprega-se rodo fura-bolhas, rodos de nivelamento, desempenadeiras manuais ou equipamentos similares, a fim de expulsar o ar e dar acabamento da argamassa autonivelante lançada (Figura 8).

Figura 8 - Processo de nivelamento com rodo fura bolhas.



Fonte: Peinado (2014)

Finalizado o lançamento da argamassa autonivelante e efetuada a operação de acabamento com o rodo, deve-se aguardar a pega da argamassa de modo a dar início ao procedimento de cura (Figura 9). Normalmente, o prazo entre o lançamento do contrapiso autonivelante e o início do processo de cura é de 24 horas. Após a secagem da argamassa autonivelante, procede-se à cura do material por, no mínimo, três dias (PEINADO, 2014).

Figura 9 - Contrapiso autonivelante aplicado em obra



Fonte: Revista Técnica edição 192 – março 2012

4.3. Argamassa autonivelante

Martins (2009) define argamassa autonivelante como uma argamassa autoadensável com características específicas ao apresentar sua superfície lisa e regular e sob o ponto de vista reológico como uma suspensão de partículas na qual estas se distribuem de forma relativamente uniforme através do meio líquido. Afirma também que a argamassa autonivelante é uma argamassa capaz de preencher os espaços vazios e se autoadensar apenas sobre o efeito da gravidade e de sua própria capacidade de fluxo, sendo caracterizada pela grande capacidade de fluir e se adensar, sem segregar. Essa capacidade é obtida com o equilíbrio entre alta fluidez com grande mobilidade e moderada viscosidade e coesão entre as partículas que constituem a mistura.

Segundo diversos autores como Nakakura e Bucher (1997); Ortega (2003) Apud Martins (2009) a execução de contrapiso com argamassa autonivelante é um balizador na mudança da concepção do processo produtivo, sendo um progresso na cadeia destes e propiciando benefícios econômicos, tecnológicos e ambientais para a construção civil. É um processo no qual a execução do piso é rápida, com mecanização do sistema e redução da interferência humana, diminuindo custos, excessos e desperdício de material.

Os autores anteriormente citados ainda afirmam que para atender aos requisitos operacionais de instalação, carga, solicitação e durabilidade, é necessário modificar as características reológicas da pasta para argamassa autonivelante em estado fresco e suas propriedades físico-mecânicas no estado endurecido através de aditivos químicos e adições minerais.

As propriedades físicas dos compostos como a forma das partículas dos agregados, morfologia da superfície, índice de finura, tamanho, distribuição, propriedades físico-químicas do aglomerante (reação de hidratação e interações entre quantidade de água/materiais secos), devem ser levadas em consideração no preparo da mistura, pois afetarão as propriedades e desempenho da pasta e acarretarão em variações nos resultados. (FELEKOĞLU *et al.*, 2006).

De acordo com Araujo *et al.* (2015), as argamassas autonivelantes apresentam características particulares e específicas, como alta fluidez, baixa viscosidade, acentuada aderência, capacidade de nivelar-se pelo seu próprio peso e inexistência de exsudação. Afirmando ainda que uma das principais vantagens deste tipo de

argamassa são as características de aplicabilidade, com velocidade de aplicação superior às argamassas convencionais e uso reduzido de mão de obra, levando a uma redução dos custos, o que justifica o crescente interesse pela aplicabilidade dessas em contrapisos.

Para Barluenga e Olivares (2010), a argamassa autonivelante usada como camada de substrato para pavimentos deve possuir algumas propriedades finais como baixa densidade (1,7-1,8 g/cm³), grande capacidade de fluxo (diâmetro de espalhamento entre 250-300 mm) sem segregação, moderada resistência à compressão (8 a 10 MPa aos 28 dias) e baixa retração (inferior a 1,2 mm/m).

4.4. Materiais constituintes das argamassas

4.4.1. Cimento

Existem hoje inúmeros tipos de cimento, de acordo com a Tabela 1. Estudos de grande relevância para o setor da construção civil utilizando argamassa autonivelante vêm sendo realizados com diversos tipos de cimento, sendo que cada tipo é considerado adequado para cada pesquisa específica em questão.

Tabela 1 - Tipos de cimento.

Tipo de Cimento	Adições	Sigla	Norma
Cimento Portland Comum	Escória, pozolana ou filler (até 5%)	CP I-S 32	5732
		CP I-S 40	
Cimento Portland Composto	Escória (6-34%)	CP II-E 32	11578
		CP II-E 40	
	Pozolana (6-14%)	CP II-Z 32	
	Filler (6-10%)	CP II-F 32	
Cimento Portland de Alto-Forno	Escória (35-70%)	CP III 32	5735
		CP III 40	
Cimento Portland Pozolânico	Pozolana (15-50%)	CP IV 32	5736
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	Materiais carbonáticos (até 5%)	CP V-ARI	5733
Cimento Portland Resistente aos Sulfatos	Estes cimentos são designados pela sigla RS. Ex.: CP III-40 RS, CP V-ARI RS		5737

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland

Para cada tipo de cimento é indicado uma aplicação conforme mostra a Tabela 02.

Tabela 2 - Aplicações dos diferentes tipos de cimento Portland.

TABELA DE APLICAÇÃO DOS TIPOS MAIS COMUNS DE CIMENTO PORTLAND		
APLICAÇÃO		TIPOS UTILIZADOS
Argamassa de revestimento e assentamento de tijolo e blocos		Todos
Concreto simples (sem armadura)		Todos
Concreto magro (para passeios e enchimentos)		Todos
Concreto Armado com função estrutural		Todos
Concreto protendido	com protensão das barras antes do lançamento do concreto	Comum (CP I, CPI-S), Composto CP II-Z, CP II-F)
	com protensão das barras após o endurecimento do concreto	Todos
Concreto armado para desforma rápida	curado por aspersão de água ou produto químico	Todos
	curado a vapor ou com outro tipo de cura térmica	Todos
Elemento pré-moldado de concreto e artefatos de cimento	desforma após cura, curados por aspersão de água	Todos
	desforma rápida, curados por aspersão de água	Comum (CP I, CPI-S), Composto CP II-Z, CP II-F)
	desforma rápida, curados a vapor ou com outro tipo de cura térmica	Todos
Pavimento de concreto simples ou armado		Todos
Pisos industriais de concreto		Todos
Solo-cimento		Todos
Argamassa e concretos para meios agressivo (água do mar e de esgoto)		Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV)

Fonte: <http://www.ecivilnet.com> (2015)

No trabalho realizado por Martins (2009) sobre Procedimento para Dosagem de Pastas para Argamassa Autonivelante, o cimento utilizado foi o CP V ARI RS, da marca Votorantim, o qual segundo a autora caracteriza-se por ser um cimento de alta resistência, com finura muito maior que os demais existentes, alta resistência à compressão nas primeiras idades. No trabalho foi incorporada pozolana ao cimento, material considerado importante quando se trabalha com argamassas ou concretos que requerem alta fluidez no estado fresco. Ainda segundo a mesma autora na produção de contrapisos autonivelantes podem ser utilizados todos os tipos de cimento, mas o cimento Portland é o mais empregado nas obras por ser facilmente produzido e comercializado no Brasil

Souza (2013), em sua dissertação de mestrado sobre Análise de Desempenho do Contrapiso Autonivelante em Relação ao Sistema Tradicional, utilizou CPII F 32, cimento composto com adição de filer, com diversas possibilidades de aplicação e propriedades, podendo atender desde estruturas em concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento, sendo o cimento mais utilizado no Brasil.

Rubin (2015), em sua dissertação de mestrado intitulada Argamassas Autonivelantes Industrializadas para Contrapiso: Análise do Desempenho Físico-Mecânico Frente às Argamassas Dosadas, utilizou o CP IV devido a sua disponibilidade no mercado e sua grande empregabilidade em projetos de sistemas de pisos, em obras da construção civil da região sul do Brasil.

Carvalho (2015) utilizou o cimento CP V ARI em sua dissertação de mestrado: Análise da Retração por Secagem em Argamassas Autonivelantes Utilizando Adições Minerai s Como Substitutos Parciais do Cimento Portland, por apresentar características fundamentais e indispensáveis que devem ser consideradas nas argamassas autonivelantes, como elevada resistência inicial e final, mas também pela disponibilidade comercial deste produto.

Silva (2016) também utilizou na realização dos experimentos de sua dissertação de Mestrado: Desenvolvimento de Formulações de Argamassas Autonivelantes para Pisos e Avaliação da Retração por Secagem, o cimento CPV ARI, justificando que o mesmo possui característica de alta resistência inicial. A escolha também foi pautada na finura desse tipo de cimento em relação aos demais e pela rapidez de endurecimento que ele pode conferir ao material, o que se relaciona com a liberação em pouco tempo do piso para trânsito de pessoas e máquinas.

Heinen *et al.* (2012) no trabalho Desenvolvimento de Argamassas Autonivelantes a partir do Resíduo Industrial do Fosfogesso apresentado no Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído em Juiz de Fora (MG), utilizou o cimento aluminoso por ser o mais compatível com o fosfogesso que é um resíduo da produção de ácido fosfórico, utilizado pela indústria de fertilizantes.

O cimento CP II – Z apresentou segundo Souza (2016) menores retrações autógenas e hidráulicas do que os demais cimentos, o que provavelmente está relacionado a quantidade de C_3A presente neste cimento.

Metha (1987) afirma que os cimentos pozolânicos apresentam maior retração por secagem do que o cimento Portland comum. O alto teor de CSH (silicato de cálcio hidratado) é o responsável por esta retração adicional.

Quanto ao limite de consumo do cimento para controlar a retração, os parâmetros fornecidos pela EFNARC (2002) são de 350 kg/m^3 a 450 kg/m^3 . Consumos superiores a 500 kg/m^3 seriam perigosos devido ao aumento da retração e inferiores a 350 kg/m^3 só poderão ser utilizados se adicionado à mistura materiais de elevada finura como pozolanas, entre as quais cinzas volantes.

4.4.2. Agregado miúdo

De acordo com a definição da ABNT NBR 9935 (2011), agregado miúdo é um agregado originado através de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas ou provenientes de processos industriais. É chamada de areia natural se resultante de ação de agentes da natureza, de areia artificial quando proveniente de processos industriais; de areia reciclada quando proveniente de processos de reciclagem; e de areia de britagem quando proveniente do processo para quebrar rochas e matéria-prima crua em partículas menores e pedaços, conforme normas específicas.

Para a ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009) são agregados miúdos aqueles que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm, com limites estabelecidos na Tabela 3 em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248/2003 - Agregados – Determinação da composição granulométrica.

Tabela 3 - Limite de distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)	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

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

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

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

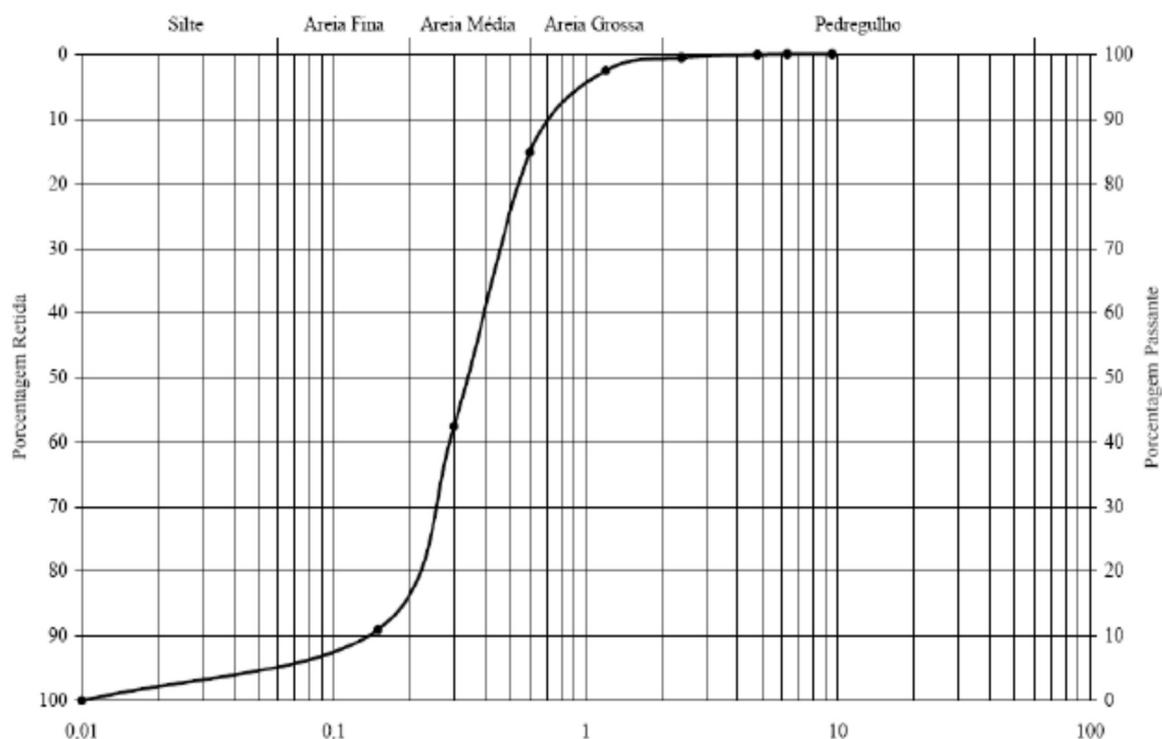
Fonte: ABNT NBR NM 248/2003

Freitas (2007) afirma que, em uma composição, o ideal é aumentar ao máximo a resistência mecânica do conjunto, sem perder as características mecânicas fundamentais para o bom desempenho do conjunto argamassa substrato (resistência

a tração). Reforça ainda que na composição da argamassa predomina material inerte de origem mineral, sendo necessário adequar cada faixa a aplicação ideal.

A Figura 10 mostra uma curva granulométrica também segundo a ABNT NBR 248/2003.

Figura 10- Curva granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: ABNT NBR NM 248/2003

Estudos feitos por Carasek *et al.* (2001) afirmam que quanto maior o teor de areia empregada na confecção da argamassa menor a resistência de aderência.

4.4.3. 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).

O excesso de água de amassamento pode provocar a exsudação dos compostos da argamassa e a migração da água da mistura para a superfície do material. Com o acúmulo de água na superfície haverá uma secagem heterogênea que resultará em manchas escuras na superfície e consequente diminuição da resistência do material (SILVA, 2011).

4.4.4. Aditivos

Para o estudo da argamassa autonivelante é imprescindível o uso de aditivos para obter características reológicas desejadas. Deve ser aplicado o aditivo superplastificante para garantir uma fluidez adequada e reduzir a tensão de escoamento e o aditivo promotor (ou modificador) de viscosidade para auxiliar na estabilidade da mistura (MARTINS, 2009).

Utilizam-se também, em alguns casos, aceleradores de pega, aditivos modificadores de viscosidade, incorporadores de ar, retardador de pega entre outros, conforme a necessidade da mistura (MELO, 2005).

Para Gasparo *et al.* (2008), para cumprir todos os requisitos de autonivelamento, configuração inicial e propriedades finais, um composto autonivelante deve conter pelo menos 10 (dez) diferentes componentes mais água. Entre estes componentes um número de aditivos orgânicos são necessários para proporcionar as propriedades de trabalhabilidade.

Segundo Castro e Quarcioni (2013), os aditivos modificam as propriedades de argamassas e concretos no estado fresco e endurecido, porém com o desconhecimento das propriedades e ações de um aditivo pode ocorrer incompatibilidade entre este material e o cimento utilizado, gerando efeitos adversos às argamassas e concretos tais como: rápida perda de abatimento, resultando em baixa coesão e aumento na porosidade. A ação como retardador pode não ocorrer, gerando sérios problemas no lançamento, adensamento e acabamento do material; e a ação como acelerador pode não ocorrer, gerando problemas de acabamento e de resistência nas idades iniciais.

4.4.4.1. Aditivos redutores de água

Para Carvalho (2015), os aditivos redutores de água, também conhecidos como superplastificantes (SP) são divididos em três grupos:

- Superplastificantes de Primeira Geração, ex: lignosulfatos;
- Superplastificantes de segunda geração, ex: Sais sulfonados de melanina;
- Superplastificantes de terceira geração, ex: Policarboxilatos.

Ensaio realizado por Sahmaran *et al.* (2006) avaliaram a influência de adições minerais e aditivos químicos na produção de argamassas auto adensáveis. Foram utilizados três tipos de aditivos superplastificantes: Éter carboxílico (0,5 a 2,5%), policarboxilato (1 a 2%) e melanina formaldeído (1,5 a 2,5%) em massa de cimento. A mistura composta por policarboxilato apresentou o resultado mais eficiente nos testes de trabalhabilidade.

Ainda segundo os mesmos autores a característica das argamassas com superplastificantes é a alta viscosidade, que é uma vantagem do ponto de vista da segregação, assim como a composição química e os constituintes mineralógicos do cimento também são fatores importantes para o desempenho destes aditivos.

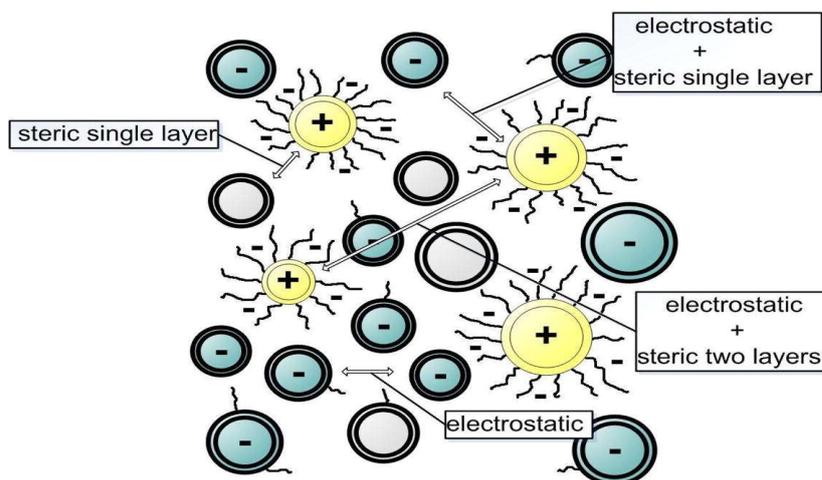
Segundo Nakamura (2009), os superplastificantes usam menores dosagens e conseguem produzir concretos de alto desempenho. Os aditivos a base de policarboxilatos podem levar a uma diminuição da relação água-cimento de 30%, porém o uso excessivo pode levar a segregação e limitar a duração do efeito fluidificante.

Estudos feitos por Martins *et al.* (2002) mostraram que as argamassas com aditivo possuem uma menor relação água/cimento, considerando um mesmo espalhamento. A aplicação dos aditivos redutores de água aumentou a coesão e a resistência mecânica em 35% e que foram mais eficientes na retenção de água do que as argamassas sem aditivo diminuindo custos quando empregadas em concretos, e a probabilidade de ocorrências futura de problemas patológicos como retração pela perda excessiva de água.

O objetivo da adição de superplastificantes a uma suspensão é aumentar a fluidez e evitar a aglomeração de partículas causada pela atração entre partículas carregadas de forma oposta que formam agregados e aumentar a fluidez. Os dispersantes aderem na superfície das partículas, exercendo forças de repulsão entre

elas (FERRARI *et al.*, 2010). A Figura 11 mostra a ação das forças de dispersão em um traço no qual foi usado superplastificantes.

Figura 11 - Representação esquemática de uma suspensão onde foi usado superplastificante.



Fonte: Ferrari *et al.* (2010)

4.4.4.2. Aditivo modificador de viscosidade

Segundo ensaios realizados por Libre *et al.* (2010), argamassas autonivelantes no estado fresco podem apresentar propriedades reológicas indesejáveis quando compostas por altas doses de aditivos modificadores de viscosidade. Nestes ensaios ficou determinado que para manter o escoamento de adensamento ideal para cada 1% de aditivo modificador de viscosidade do tipo polissacarídeo deve-se adicionar 1% de aditivo superplastificante (policaboxilato) ou aumentar em 17% a relação água/cimento. Concluiu-se, portanto, que o aditivo modificador de viscosidade deteriora a trabalhabilidade reduzindo em pelo menos 30% o fluxo de consolidação das misturas.

4.4.4.2.1. Fíler calcário

Segundo Tutikian *et al.* (2008) o fíler é uma adição mineral com partículas muito finas e sua ação se resume a um efeito puramente físico de empacotamento dos grãos e de criação de núcleos para hidratação do cimento. Os fílers podem ser calcários, de areia fina ou mesmo de outras adições minerais como o pó granítico.

Em estudos realizados por Ye *et al.* (2007) foi observado que o fíler calcário influencia a hidratação e atua como acelerador durante o início da hidratação das pastas de cimento. Segundo os autores o fíler calcário não participa da reação química, fato que pode ser comprovado pela análise térmica e pelas imagens obtidas com Microscópio Eletrônico. Entretanto, Repette (2005) afirma que o fíler calcário não é um material verdadeiramente inerte, pois, se adicionado a cimentos com elevado teor de C₃A (Aluminato tricálcico), reage para formar monocarbonoaluminato de cálcio, que tem propriedade aglutinante.

Ainda segundo o autor pode-se diminuir o retardo da pega e a fluidez do concreto quando se adicionam altas doses de superplastificantes devido ao aumento da velocidade de hidratação do cimento fornecendo pontos de nucleação do hidróxido de cálcio e do C-S-H (silicato de cálcio hidratado), aumentando a taxa de hidratação do C₃S (silicato tricálcio). Esse fato pode afetar a manutenção de fluidez do concreto,

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 µm) pode acarretar aumento expressivo da tensão de escoamento do concreto (DE LARRAD, 1999 *apud* REPETTE, 2005).

Segundo Araujo *et al.* (2015), as adições minerais como fíler calcário e resíduo da biomassa da cana de açúcar às argamassas autonivelantes propiciaram melhoria nas propriedades reológicas, físicas e mecânicas como coesão, viscosidade adequada e resistência satisfatórias.

4.4.4.2.2. Aditivo espessante (ésteres de Celulose)

Os éteres de celulose afetam a quantidade de ar incorporado na argamassa colante. Quanto maior a atividade superficial dos éteres, maior a incorporação de ar no sistema e menor será a densidade da argamassa no estado fresco o que é um comportamento desejável pelo aplicador final porque melhora a trabalhabilidade da argamassa, facilitando sua aplicação (BREA *et al.*, 2009)

Ainda segundo os mesmos autores o atraso na cura do cimento é influenciado pelo grau de substituição dos éteres de celulose. Quanto maior a substituição com grupos metoxilas (DS) irá provocar menor retardo e favorece o desenvolvimento de

resistência de aderência na cura ao ar e os éteres de celulose hidroxipropil metilcelulose e hidroxietil metil celulose (MS) têm um comportamento similar no desempenho das argamassas colantes, quando os parâmetros de substituição DS e MS são similares.

O emprego de retentores de água a base de éter de celulose na confecção de argamassas para assentamento para alvenaria estrutural de blocos de concreto é viável na medida em que provoca um aumento na capacidade de retenção de água das argamassas e não exerce influência na resistência a compressão dos corpos de prova prismáticos, porém a resistência à compressão das juntas de assentamento, o módulo de elasticidade dos prismas e a resistência à aderência na flexão sofreram reduções significativas (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

4.4.4.3. Aditivo compensador ou redutor de retração (ACR)

Para Melo Neto *et al.* (2007), a utilização de aditivos compensadores de retração (ACR) em concretos de autodesempenho provocou a redução da resistência à compressão causada provavelmente pela substituição de parte do cimento pelo próprio aditivo e reduziu, porém, não eliminou a retração por secagem em qualquer relação água/aglomerante avaliada, sendo que a redução foi superior ao percentual de substituição do cimento pelo aditivo. Com relação a retração autógena, já agiu de forma mais eficiente, conseguindo a compensação total.

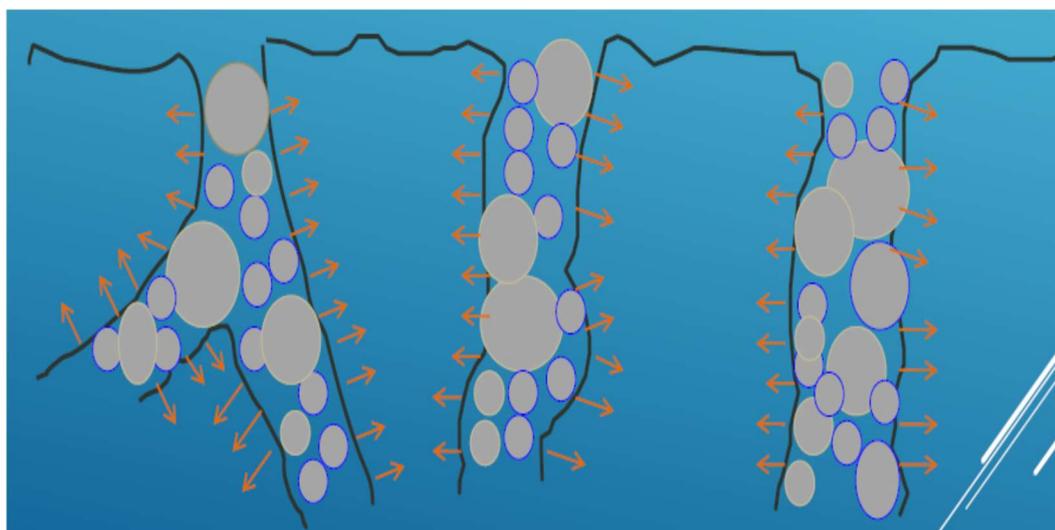
O emprego de adições quimicamente ativas, como o aditivo redutor de retração, o polímero superabsorvente e o cimento compensador de retração no que diz respeito a fluidez e a perda dessa característica ao longo do tempo, desde a mistura até a aplicação do concreto autoadensável não são recomendadas para concretagem que requerem tempo, pois estes aditivos alteram a sintética da hidratação do cimento e resultam em uma menor quantidade de água livre na mistura para propiciar a fluidez (SOUZA, 2016).

A introdução de aditivo expensor permite a diminuição substancial do valor da retração com aumento simultâneo da resistência às fissuras, impermeabilidade à água, e resistência à compressão em concretos, demonstrado alta eficiência, técnica e econômica (ALIMOV *et al.*, 2017).

De acordo com Rodrigues (2016), hoje em dia, os cimentos expansivos são a base de aditivos expansores a base de óxido de cálcio ou sulfatos aluminatos. O

princípio expansivo dos óxidos de cálcio consiste que sua hidratação é uma reação expansiva, pois a passagem de CaO para Ca(OH)_2 implica em um aumento de volume expressivo. A reação do óxido de cálcio com a água é muito rápida e libera grande quantidade de calor. Por esta razão o óxido de cálcio é calcinado a 1.600°C de modo a ocasionar a densificação de suas partículas e conseqüentemente aumento na granulometria das suas partículas. Isto permite a hidratação gradual nas primeiras idades do concreto. As partículas do óxido de cálcio supercalcinado ao hidratarem se transformam em Ca(OH)_2 , com aumento de volume, preenchendo os vazios do concreto ou da argamassa, compensando deste modo a retração (Figura 12).

Figura 12 - Ação do expansor na argamassa.



Fonte: Chimica Edile do Brasil

4.5. Desempenho acústico em contrapisos autonivelantes.

Catai *et al.*, (2006), explica, que o ruído de impacto pode ser definido como picos de energia acústica de duração inferior a 1 s, em intervalos superiores a 1 s.

No intuito de melhorar a qualidade de vida da população, diversos países estão mais rigorosos quanto aos critérios para isolamento acústico, sendo assim, Rasmussen, (2010) (Tabela 4), comparou os parâmetros normatizados de 16 países, fazendo uma síntese e minimizando as variações adotadas em relação a fatores como dimensão dos ambientes, principalmente no que diz respeito à adaptação do espectro de baixa frequência.

Tabela 4 - Valores de referência do $L'_{nT,w}$ em diversos países.

ISOLAMENTO DE RUÍDO DE IMPACTO		
PAÍSES	ÍNDICES	NÍVEL DE RUÍDO TRANSMITIDO ENTRE PISO DE SEPARAÇÃO (dB)
USA	$L'_{nT,w}$	≤ 55
AUSTRÁLIA	$L'_{nT,w}$	≤ 60
CANADA	$L'_{nT,w}$	≤ 55
BÉLGICA	$L'_{nT,w}$	≤ 48
AUSTRIA	$L'_{nT,w}$	≤ 56
DINAMARCA	$L'_{nT,w}$	≤ 58
INGLATERRA	$L'_{nT,w} + C_i$	≤ 62
FINLÂNDIA	$L'_{nT,w}$	≤ 53
FRANÇA	$L'_{nT,w}$	≤ 58
ALEMANHA	$L'_{nT,w}$	≤ 53
IRLÂNDIA	$L'_{nT,w}$	≤ 65
HOLANDA	$L'_{nT,w}$	≤ 59
NORUEGA	$L'_{nT,w}$	≤ 53
POLÓNIA	$L'_{nT,w}$	≤ 58
SUÉCIA	$L'_{nT,w} + C_i$	≤ 58
JAPÃO	$L'_{nT,w}$	≤ 65

Fonte: Adaptado de Nader Elhaj, 2002 por Rezende *et al.*, 2014.

No Brasil, a consciência da importância do problema somada à busca de oferecer cada vez mais valor agregado aos seus produtos impôs a muitas empresas do ramo da Construção Civil o desafio de buscar soluções para melhorar o conforto acústico nos seus empreendimentos, porém comparado a outros países, o nível de exigência no Brasil fica muito abaixo dos valores mínimos.

A Norma de Desempenho, ABNT NBR 15.575 de 2013, provocou uma movimentação no setor da Construção Civil com relação aos critérios de desempenho

acústico em edificações residenciais, principalmente no que diz respeito ao critério para avaliação do isolamento ao ruído de impacto em pisos.

Segundo a norma ABNT NBR 15.575, parte 1 (ABNT, 2013), é necessário que um ambiente apresente adequado isolamento acústico das vedações internas e entre os ambientes, para que um edifício habitacional proporcione conforto acústico a seus moradores, devendo ser considerado no projeto o nível de ruído externo à edificação e os valores limites estabelecidos para uso interno dos ambientes, a redução do ruído entre o lado externo e o lado interno de ambientes de uso específico, inclusive fachadas.

A Tabela 5 mostra os limites mínimo, intermediário e superior de isolamento acústico ao ruído de impacto de sistema de pisos ponderado ($L'_{nT, w}$) de acordo com a norma ABNT NBR 15.575, parte 3.

Tabela 5 - Limites de isolamento ao ruído de impacto.

Isolamento ao Ruído de Impacto sobre Sistema de Pisos					
Parâmetro		Critério	Desempenho		
			Min	Int	Sup
Nível de pressão sonora de Impacto Padrão	$L'_{nT, w}$	Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	$\leq 80\text{dB}$	$\leq 65\text{dB}$	$\leq 55\text{dB}$
		Sistema de pisos de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginásticas, salão de festa, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas.	$\leq 55\text{ dB}$	$\leq 50\text{ dB}$	$\leq 45\text{ dB}$

Obs.: Valores mínimos são normativos (obrigatórios) e os demais informativos (facultativos).

Fonte: ABNT NBR 15.575-3.

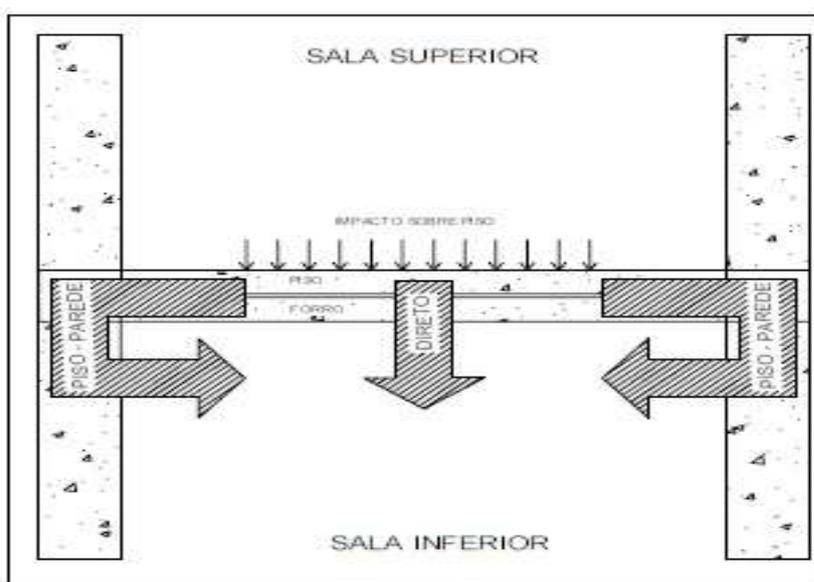
Segundo Pierrard e Akkerman (2013), os sistemas de piso possuem desempenho de isolamento ao ruído aéreo ($D'_{nt, w}$) e de impacto ($L'_{nt, w}$) que dependem das suas propriedades (densidade, espessura, rigidez, dimensões e características estruturais de contorno) e de elementos opcionais como contrapiso normal de argamassa de cimento e areia ou contrapiso flutuante interpondo um material resiliente (mola) entre a laje e o contrapiso reforçado.

Em pesquisa realizada por NUNES *et al.*, (2014) no qual foram analisados 7 (sete) sistemas de piso, verificou-se que os sistemas de pisos homogêneos com laje de concreto maciço atenderam aos requisitos de desempenho acústico da NBR 15.575, com variações decorrentes dos vínculos estabelecidos na execução dos revestimentos. Os sistemas heterogêneos com lajes mistas (aço-concreto) podem apresentar fragilidades no isolamento acústico, mas as deficiências decorrentes da reduzida espessura e da ausência de vínculo entre as peças podem ser mitigadas com a utilização de materiais leves e de base cimentícia, em camadas alternadas.

Em estudos realizados por Sato e Jeon (2006) no qual comparam ruídos provocados pelo ruído de impacto de objetos caindo sobre piso e ruído causado por crianças pulando e saltando, consideram o segundo como o ruído que mais incomoda em prédios de apartamentos.

Segundo Schoenwald *et al.*, (2010), quando um piso está submetido a uma fonte de impacto no quarto superior, haverá caminhos de transmissão de som que são necessários para obter uma estimativa de isolamento de som de impacto entre a sala superior e inferior: Caminho direto (piso-teto), caminho da lateral (parede-chão) através da junção do rolamento de carga (LB), caminho lateral (parede-chão) através da junção sem carga (NLB), como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Caminhos de percorridos pelo som para transmissão de ruído de impacto para salas adjacentes verticalmente.



Fonte: adaptado de SCHOENWALD *et al.*, (2010).

Jeon *et al.*, (2004) avaliou os sistemas de isolamento de som de impacto sobre piso em construções de concreto armado, e verificou que os sons de impacto em piso, que foram gerados pelas fontes padrão de impacto pesado, produziram ruído e vibração e a relação entre os níveis de som e as respostas do som, se transmitem facilmente para o espaço abaixo através das paredes.

Segundo Pierrard *et al.*, (2015), a transmissão de ruído de impacto entre duas unidades habitacionais sobrepostas em uma edificação é produzida pelo próprio sistema de pisos (transmissão direta) e pelos elementos laterais ou paredes (transmissão indireta). A maneira como estas transmissões influenciam dependem das soluções construtivas e da geometria do recinto e o desempenho do isolamento ao ruído de impacto de um sistema de pisos de um edifício ($L'nT, w$) é inferior ao desempenho do mesmo sistema de pisos ensaiado em laboratório (LnT, w).

Para avaliar o atendimento dos limites de desempenho de isolamento ao ruído de impacto, conforme procedimentos padronizados especificados em normas internacionais, a metodologia proposta consiste em medições acústicas. A norma de desempenho autoriza a realização das medições por dois métodos, com procedimentos diferentes: engenharia e controle, conforme Tabela 6.

Neste ensaio foi usado o método da engenharia por ser o mais completo segundo ABNT 15575/2013.

Tabela 6 - Metodologia para cálculo do isolamento acústico de ruído de impacto.

ISOLAMENTO ACÚSTICO AO RUÍDO DE IMPACTO			
DESCRIÇÃO	PARÂMETRO	MÉTODO	NORMA
Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado	$L'nT, w$	Engenharia	ISO 140-7 ISO 717-2
		Controle	ISO 10052 ISO 717-2

Fonte: Pierrard e Akkerman (2013)

Para o cálculo do ruído de impacto padrão ponderado é necessário utilizar além dos valores da ruído de impacto coletados durante a medição, o valor do nível de ruído ambiente e a medida do tempo de reverberação.

4.5.1. Nível de Ruído de Ambiente (Lra)

Segundo a norma ABNT NBR 10.151/2000, o nível de ruído Ambiente (Lra) é o nível de pressão sonora equivalente ponderado em "A", no local e horário considerados, na ausência do ruído gerado pela fonte sonora em questão.

4.5.2. Tempo de reverberação

Segundo a norma da ABNT: NBR 12179/92, o tempo de reverberação:

"É o tempo necessário para que um som deixe de ser ouvido, após a extinção da fonte sonora, e expresso em segundos. O tempo de reverberação é medido como o tempo necessário para que o som sofra um decréscimo de intensidade de 60 dB." (ABNT, 1992, pág.2).

É caracterizado como sendo o tempo necessário para que a intensidade de um som se torne inaudível, ou seja, decaia 60 dB (10^{-6}) do seu valor inicial, a partir da interrupção da fonte sonora, por isso pode ser chamado também de T60. Esse valor de -60 dB significa um decaimento na intensidade de 1 milhão de vezes, e foi estipulado por W. C. Sabine, que considerou como sendo uma intensidade grande o suficiente para proporcionar um decréscimo sonoro no qual o ouvinte não ouviria mais o som emitido.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Etapas da pesquisa

O programa experimental adotado para o desenvolvimento desta pesquisa é mostrado no fluxograma da Figura 14, sendo dividido em 5 (cinco) etapas, que serão detalhadas a seguir.

Primeira Etapa: A primeira etapa consistiu na execução de diversos traços para definição dos seguintes parâmetros de dosagem: consumo de cimento, relação cimento: areia, o emprego ou não do fíler calcário, percentual de incorporação do aditivo espessante e do superplastificante. Foram avaliadas 05 (cinco) composições de argamassas, com e sem fíler calcário, através dos ensaios no estado fresco de determinação da consistência (mini *slump*), tempo de retenção de fluxo e exsudação, e no estado endurecido, de resistência à compressão axial.

Segunda Etapa: Após a definição da composição ideal na primeira etapa, a segunda etapa teve como objetivo determinar o percentual de incorporação de aditivo compensador de retração mais eficiente na composição de argamassa. A avaliação baseou-se tanto no estado fresco (consistência) como no endurecido (retração linear por secagem e resistência à compressão axial).

Terceira Etapa: Esta etapa teve objetivo analisar as propriedades da argamassa autonivelante definida na primeira e segunda etapa, com e sem o emprego de aditivo adesivo. As propriedades avaliadas no estado fresco foram consistência, tempo de retenção de fluxo, exsudação, densidade de massa aparente e ar incorporado). No estado endurecido, resistência de aderência à tração e resistência à compressão axial.

Quarta Etapa: Esta etapa teve como objetivo avaliar as propriedades da argamassa autonivelante, definida nas etapas anteriores, lançada como contrapiso de uma laje de um empreendimento habitacional de múltiplos pavimentos. Foram investigadas as propriedades no estado fresco (consistência) e no estado endurecido (resistência à compressão axial e ensaio de impacto acústico sobre piso).

Figura 14 – Fluxograma geral da pesquisa.



5.2. Caracterização do material dos traços

5.2.1. Cimento

O cimento utilizado na pesquisa foi o CP II – Z – 32 da Cimentos do Brasil S A (CIBRASA). A caracterização do cimento fornecida pelo fabricante é mostrada na Tabela 7 e 8.

Tabela 7 - Características Físicas do Cimento.

Determinações		Und.	Prescrição	Valor Obtido
Ret. # peneira 200 (0,075mm)		%	< 12,00	1,1
Ret. # peneira 325 (0,044mm)		%	-	8,2
Área Específica		m ² /kg	Min. 260	555
Massa Específica		g/cm ³	-	3
Cons. Normal		%	-	31,8
Tempo de Pega	Início	min.	Min. 1:00	03:10
	Fim	min.	Max. 10:00	04:45
Expansibilidade	Quente	mm	Max. 5,00	1
	Frio	mm	-	-

Fonte: CIBRASA

Tabela 8 - Resistência à Compressão (MPa) – ABNT NBR 7215/ 2009.

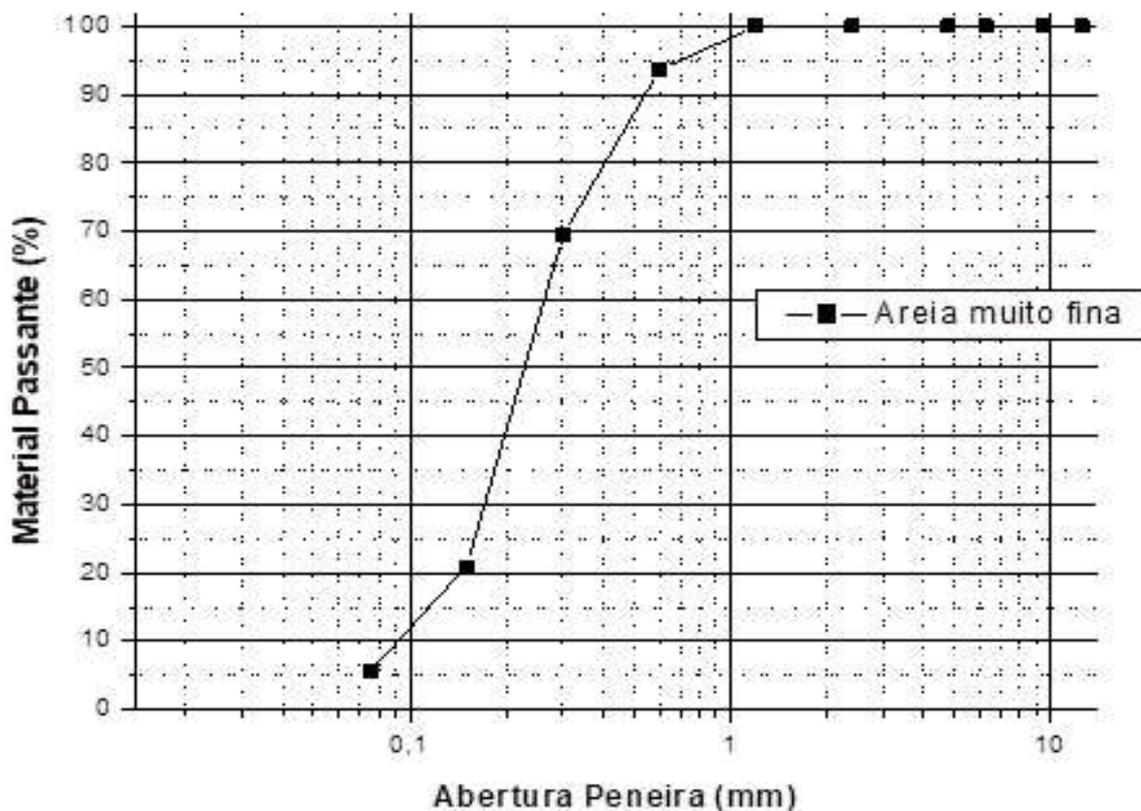
Idade	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
Especificado	-	≥ 1	≥ 2	≥ 32
Obtido	-	25,2	35,4	46,6

Fonte: CIBRASA S.A

5.2.2. Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado na composição das argamassas em laboratório (1^a, 2^a e 3^a etapa) foi uma areia seca, muito fina, industrializada, fornecida pela empresa Supermassa Ltda para a pesquisa. A determinação da distribuição granulométrica foi realizada de acordo com as prescrições da norma ABNT NBR NM 248/2003 - Agregados – Determinação da composição granulométrica. A Figura 15 mostra o gráfico desta distribuição.

Figura 15 - Distribuição granulométrica da areia fina empregada nas etapas de laboratório.



Fonte: a autora

5.2.3. Água

A água utilizada na pesquisa foi a água fornecida pela Companhia de Saneamento do Pará (Cosanpa).

5.2.4. Aditivo superplastificante

O aditivo superplastificante empregado na pesquisa foi o MC POWERFLOW 1180, da MCBAUCHEMIE, a base de polímeros policarboxilatos (PCE).

5.2.5. Aditivo espessante

O aditivo espessante empregado foi o hidroxietil celulose (HEC), de baixa densidade.

5.2.6. Fíler calcário

O fíler calcário empregado na pesquisa foi da empresa CARBOMIL, constituído basicamente por carbonato de cálcio passante 100% na peneira de abertura 0,075mm.

5.2.7. Aditivo expensor ou compensador de retração (ACR)

O aditivo compensador de retração (ACR) utilizado nas composições das argamassas autonivelantes foi o Dry D1 NG, fornecido pela empresa Chimica Edile do Brasil Ltda. Trata-se de um óxido de cálcio tratado termicamente a 1.600°C, com granulometria controlada.

5.2.8. Aditivo adesivo

O aditivo adesivo usado foi o Viafix Chapisco, fornecido pela Viapol Ltda. Trata-se de um adesivo não reemulsionável à base de resina estireno-butadieno (SBR). A Tabela 09 apresenta as características técnicas do produto fornecido pelo fabricante.

Tabela 9 - Características do aditivo adesivo VIAFIX chapisco.

CARACTERÍSTICA TÉCNICA DO PRODUTO	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	VIAFIX CHAPISCO
AÇÃO PRINCIPAL	INCORPORADOR DE ADERÊNCIA, RESISTÊNCIA E PLASTICIDADE PARA CONCRETOS E ARGAMASSAS
COMPOSIÇÃO BÁSICA	SOLUÇÃO AQUOSA DE ESTIRENO-BUTADIENO
ASPECTO	LIQUIDO
COR	BRANCA
PH	8,5 A 10,0
DENSIDADE A 25° C	1,001 A 1,003 g/cm³
VISCOSIDADE BROOKFIELD (F1/100 RPM, 25°C)	MINIMO 20 cPs

Fonte: Viapol Ltda

5.3. Ensaio

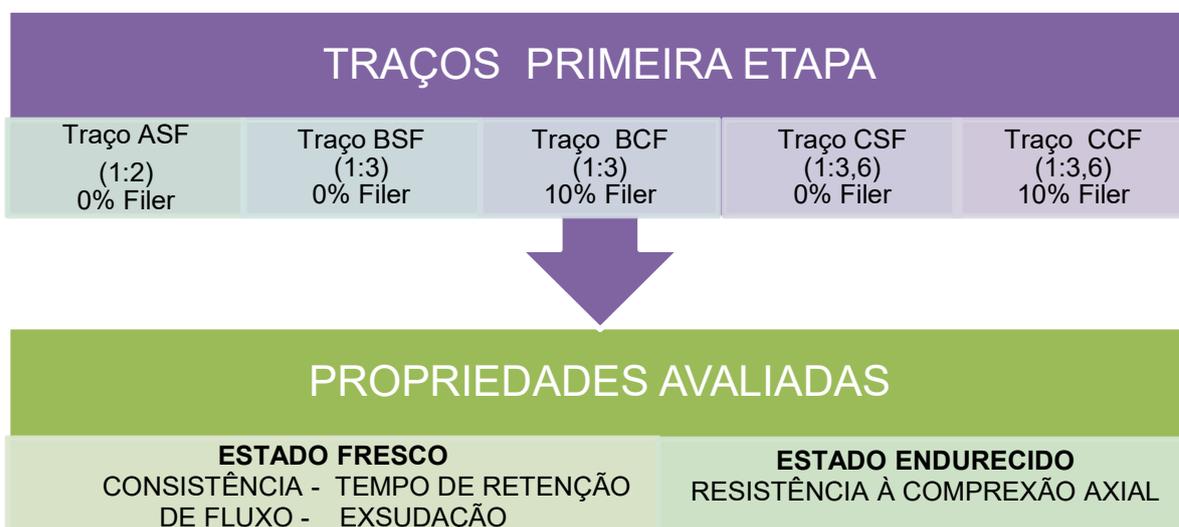
5.3.1. Primeira etapa: Ensaio preliminares

O estudo preliminar dos traços iniciais foi desenvolvido tomando por base uma série de testes preliminares, bem como as recomendações da literatura coletadas na revisão bibliográfica.

Foram elaboradas 5 (cinco) composições de argamassa nas seguintes proporções cimento: agregado em massa: traço ASF (1:2), sem fíler calcário; traço BSF (1:3), sem fíler calcário, traço BCF (1:3), com 10% de fíler calcário; traço CSF (1:3,6), sem fíler calcário; traço CCF (1:3,6), com fíler calcário. As variáveis de controle para este estudo inicial foram a relação cimento/agregado e o uso ou não do fíler calcário. Vale ressaltar que não foi utilizado o traço A (1:2) com fíler calcário tendo em vista que o traço sem fíler não apresentou exsudação.

O percentual de ACR adicionado às argamassas foi mantido fixo, de acordo com as recomendações do fabricante, ou seja, 15kg por metro cúbico de argamassa. Em termos percentuais representa 2,68% sobre a massa de cimento para o traço A, 3,63% para os traços B e para os traços C, 4,25%. Os percentuais de HEC foram 0,12% para o traço A e de 0,18% para os traços B e C. Os percentuais de aditivo superplastificante foram bastante elevados, em torno de 0,95% a 1,35%, dependendo do tipo de argamassa. Os parâmetros avaliados para seleção do traço são mostrados no fluxograma da Figura 16.

Figura 16 - Fluxograma 1ª etapa.



Os traços estudados possuem em sua constituição cimento, areia, água, celulose (HEC), fíler calcário, aditivo superplastificante e aditivo compensador de retração (ACR) e as dosagens sofreram correções de água e aditivo superplastificante para melhorar a fluidez da argamassa. Para cada correção foram determinadas as consistências através do mini *slump*. Os ensaios realizados nesta fase serviram para definir o traço que melhor atendesse as características autonivelantes. A Tabela 10 mostra a composição dos traços experimentais.

Tabela 10 - Traço utilizado na 1ª etapa.

TRAÇOS 1ª ETAPA m³ - CIMENTO CP II Z - NASSAU					
MATERIAIS	TRAÇO A SF	TRAÇO BSF	TRAÇO BCF	TRAÇO CSF	TRAÇO CCF
CIMENTO (Kg)	544	400	360	338	305
AREIA (Kg)	1118	1240	1238	1274	1276
AGUA (L)	379	371	371	379	379
SUPERPLASTIFICANTE (L)	5,6	4,76	5,57	4,6	3,37
HEC (Kg)	6,7	7,15	7,15	6,1	6,1
ACR (Kg)	15	15	15	15	15
FÍLER CALCÁRIO (Kg)			40		40

Fonte: a autora

5.3.1.1. Ensaio no estado fresco

5.3.1.1.1. Consistência e tempo de retenção de fluxo

Segundo Martins, (2009) as medidas para argamassa autonivelantes devem ser medidas de acordo com sua fluidez, portanto não deve ser avaliada de forma padrão no que se refere aos ensaios consistência, sendo assim deve ter uma metodologia própria para avaliar este material quanto homogeneidade na mistura; coesão entre partículas e fluidez adequada.

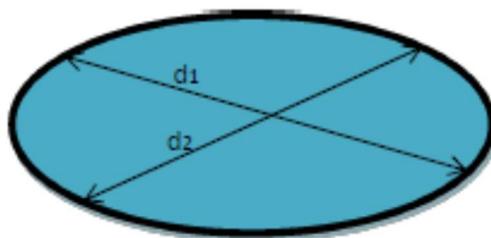
A qualidade da argamassa, principalmente a fluidez e possibilidades de uso, nos é informada pela caracterização da mesma no estado fresco.

O equipamento empregado para a mistura das argamassas foi uma betoneira de laboratório de 120 litros. O tempo de mistura dos materiais foi de aproximadamente 5 minutos, sendo que os materiais foram colocados na seguinte ordem:

100% areia;
80% água,
100% cimento;
100% HEC;
100% ACR;
20% água
100% superplastificante

A argamassa foi colocada dentro do mini slump centralizado em uma placa de madeira compensada plastificada de dimensões 50 x 50 cm, nivelada e untada com desmoldante. Em seguida, o excedente de argamassa era regularizado através de uma régua de metal. Após isto, o mini slump era removido e verificado após alguns 2 minutos o espalhamento da argamassa, sendo tomadas duas medidas perpendiculares (Figura 17). O valor do espalhamento foi obtido da média das duas medidas perpendiculares obtidas no mini *slump*. Para avaliação do tempo de retenção de fluxo as medidas de espalhamento foram tomadas a cada 15 minutos durante uma hora e trinta minutos.

Figura 17 - Medidas do diâmetro do mini slump



Fonte: a autora

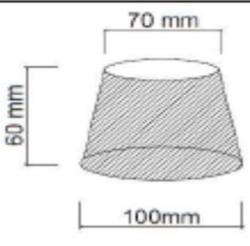
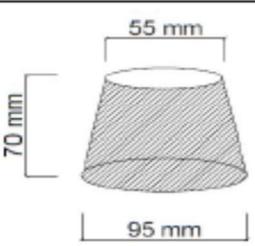
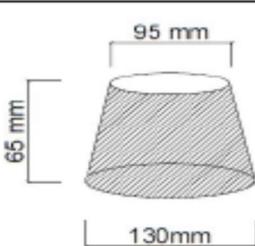
O equipamento utilizado nesta pesquisa para determinação da consistência e do tempo de retenção de fluxo foi o molde cilíndrico (mini *slump*). A metodologia de ensaio foi adaptada da norma ABNT NBR 13276/2016. Os equipamentos utilizados foram uma placa de madeira compensada resinada de tamanho 50 x 50 cm, um molde cônico de metal (mini *slump*), régua metálica de 50 cm e recipiente de plástico graduado. A Tabela 11 mostra as medidas de espalhamento para que as argamassas sejam consideradas autonivelantes encontradas na bibliografia:

Tabela 11 - Referência bibliografica espalhamento mini slump

AUTORES	ANO	MEDIDA DO ESPALHAMENTO (mm)	VOLUME DO MINI SLUMP UTILIZADO NO ENSAIO (cm ³)
EFNARC	2002	240 a 260	1375,32
Pera & Ambroise	2004	250 a 300	1266,26
Georgin <i>et al.</i>	2008	250 a 270	1375,32
Martin	2009	250 a 350	1375,32
Katsiadramis <i>et al.</i>	2010	240 a 260	1375,32
Barluenga & Olivares	2010	250 a 270	1375,32
Rizwan e Bier	2012	≥ 260	1375,32
Jawaher <i>et al.</i>	2013	271 a 300	1375,32
Carvalho	2015	240 a 275	1375,32
Araujo <i>et al.</i>	2015	250 a 370	1375,32

É importante ressaltar que os tamanhos dos moldes de mini *slump* encontrados na literatura (Figura 18a e 18b) possuem volumes menores do que o utilizado na pesquisa (Figura 18c), o que altera o valor do espalhamento obtido. Considerou-se para o molde de mini *slump* empregado nesta pesquisa, de 2.606,53 cm³, um espalhamento igual ou superior a 300 mm para que a mistura seja considerada autonivelante.

Figura 18 – Tamanho dos Mini *slump* encontrados na literatura (a, b) e empregado na pesquisa (c).

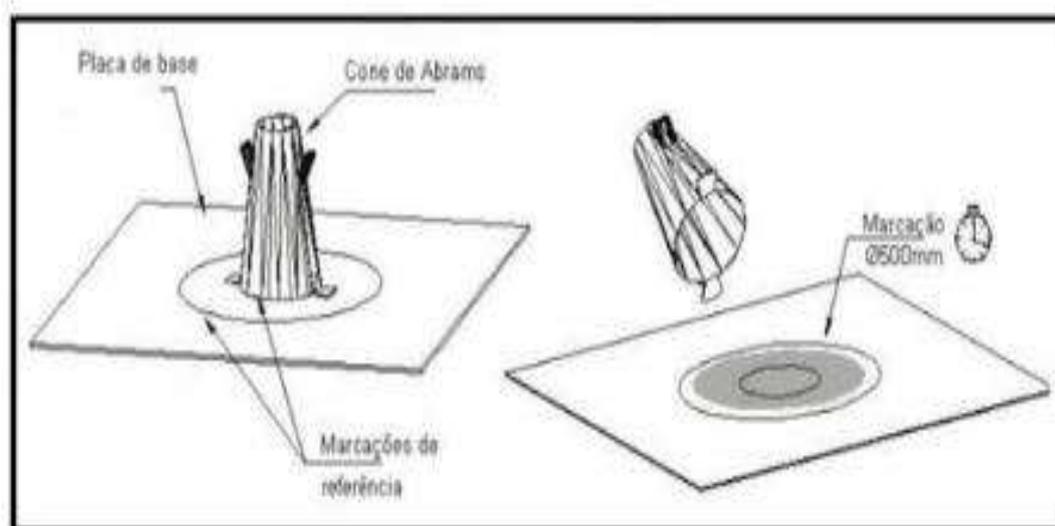
		
(a) Fonte: EFENARC, (2002)	(b) Fonte: PERA & AMBROISE, (2004)	(c) Fonte: a autora

5.3.1.1.2. Ensaio de espalhamento (Slump Flow T50 Test)

O ensaio foi utilizado para medir a capacidade da argamassa autonivelante de fluir livremente sem segregar. É um ensaio simples que exige poucos materiais na execução. Foi usada uma placa de madeira compensada plastificada de 100 x 100cm, untado com desmoldante. A placa possuía marcações de duas circunferências concêntricas, de diâmetros 20 cm e 50 cm. A área entre as circunferências foi pintada de vermelho para marcação do tempo que a argamassa autoadensável necessitava para alcançar a segunda circunferência, que se traduz no tempo para alcançar o espalhamento de 50 cm (T_{50}).

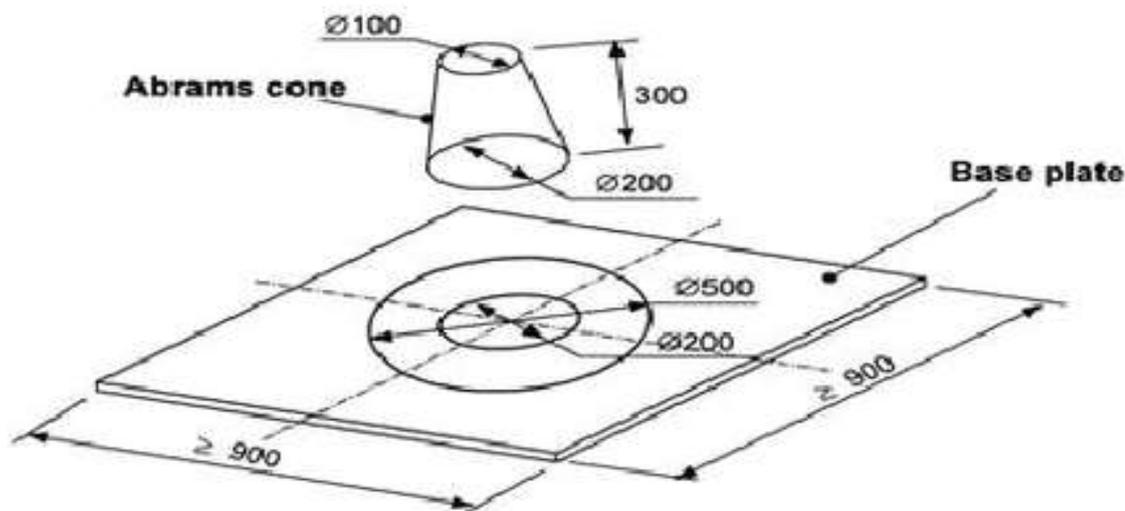
Para execução do ensaio foi colocada a placa sobre um chão firme e nivelado e um tronco de cone de metal (cone de Abrams) no centro da base (Figura 19 e 20), segurando-o firmemente. A argamassa foi colocada no cone com ajuda de um balde até o limite superior sem derramar e o adensamento é feito pela ação da gravidade, a seguir foi retirado o cone e a argamassa fluiu livremente até parar. O diâmetro do espalhamento foi medido em duas direções perpendiculares e a média destas medidas é o valor do espalhamento (Slump Flow Test). Além deste parâmetro foi observada a existência de segregação e o aspecto das bordas da argamassa.

Figura 19 - Esquema de utilização do slump flow teste.



Fonte: ABNT NBR 15823 - 2 / 2017

Figura 20 - Dimensões do slump flow test.



Fonte: Grdic *et al* (2008)

5.3.1.1.3. Quantidade de água exsudada

A exsudação da argamassa e a migração da água da mistura para a superfície do material comprometem, segundo Rubim (2015), o acabamento da camada de regularização e aumentam o aparecimento de manifestações patológicas como manchas e redução da resistência.

A metodologia para determinação da quantidade de água exsudada consistiu de uma adaptação da norma ABNT NBR 15558 (2008), que abrange estudos em concreto. Adaptou-se o tamanho do recipiente, pois a argamassa autonivelante não requer recipientes grandes devido a finura do material e a forma de compactação da mistura, que neste caso também não foi necessário, pois a mistura é bastante fluida.

O material utilizado no ensaio foi recipiente cilíndrico em PVC, filme plástico, pipeta plástica, balança semi-analítica e pipeta de vidro graduada em mililitros (mL). As dimensões do recipiente de PVC foram 100 cm de diâmetro e 109 cm de altura (Figura 21). Após o preenchimento dos moldes com a mistura, o recipiente foi fechado com filme plástico para evitar perda de água para o ambiente. A coleta de água exsudada foi efetuada através da pipeta, de 15 em 15 minutos durante uma hora e trinta minutos. O tempo estipulado no ensaio foi o mesmo para a análise do tempo de retenção de fluxo.

Figura 21 - Molde para ensaio de exsudação.



Fonte: Rubim (2015)

O cálculo da quantidade de água exsudada, expressa em porcentagem é expresso pelas equações 1, 2 e 3 respectivamente, de conformidade com a norma ABNT NBR 15558/2008.

$$V = \frac{V_1}{A} \quad (1)$$

$$m_{ar} = \frac{m_{am} \cdot m_e}{m_t} \quad (2)$$

$$E = \frac{m_{ae}}{m_{ar}} \cdot 100 \quad (3)$$

Sendo:

V_1 – volume de água exsudada medido durante um intervalo de tempo selecionado expresso em mililitros (mL).

A - é área exposta da argamassa do recipiente, expressa em centímetros quadrados (cm^2)

E – é a quantidade de água exsudada, expressa em porcentagem (%).

m_{ar} – é a massa de água da argamassa do recipiente, expressa em gramas (g).

m_t – é a massa total do traço, expressa em gramas (g).

m_{am} – é a água de mistura do traço, expressa em gramas (g).

m_e – é a massa da mostra ensaiada, expressa em gramas (g).

m_{ae} – é a massa de água exsudada, expressa em gramas (g), ou o volume total de água retirado do corpo de prova, expresso em centímetros cúbicos (cm^3), multiplicado por $1\text{g}/\text{cm}^3$.

5.3.1.2. Ensaio no estado endurecido

5.3.1.2.1. Resistência à compressão axial

Os ensaios de resistência à compressão do concreto foram realizados para as idades de 1, 7 e 28 dias, de acordo com as prescrições da norma ABNT NBR 5738 (2015) e ABNT NBR 5739 (2007). Foram utilizados corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 100 x 200 mm, curados em tanques de água saturada com cal hidratada, sendo que nas primeiras vinte e quatro horas após a moldagem, os corpos-de-prova eram mantidos nos moldes nas condições laboratoriais (ao ar). Em seguida, desmoldados e colocados no tanque, no qual permaneciam submersos até o dia da execução do ensaio. A remoção do tanque ocorria 08 (oito) horas antes da execução do ensaio, quando eram secos ao ar para eliminação da água em excesso. Para cada idade foram moldados 03 exemplares, o que perfaz um total de 09 (nove) espécimes de resistência à compressão para cada mistura. Os ensaios de resistência à compressão foram executados em uma prensa servo-hidráulica de acionamento elétrico, da marca EMIC, com capacidade para 200 toneladas e taxa de carregamento controlado.

5.3.2. Segunda etapa: definição do percentual de incorporação do aditivo compensador de retração (ACR)

Finalizada a primeira fase preliminar, na qual permitiu a escolha do traço que melhor atendeu as propriedades exigidas para uma argamassa autonivelante como estabilidade da mistura, trabalhabilidade, espalhamento, maior resistência à compressão e menor exsudação.

A segunda etapa teve como objetivo avaliar o melhor percentual de incorporação do ACR. Foram investigadas quatro misturas, uma de referência, sem aditivo (0%), com 3,63%, 4,84%, e 7,25%. A dosagem de 3,63% equivale a 15kg de ACR por metro cúbico de argamassa, quantidade recomendada pelo fabricante. A Figura 22 mostra o fluxograma dos ensaios e a Tabela 12 as quantidades de materiais empregados nos traços.

Figura 22 - Fluxograma dos ensaios da 2ª etapa.



Tabela 12 - Traço utilizado na 2ª etapa.

TRAÇOS 2ª ETAPA m³ - CIMENTO CP II Z - NASSAU				
MATERIAIS	TRAÇO SEM EXPANSOR	TRAÇO 3,63% EXPANSOR	TRAÇO 4,84% EXPANSOR	TRAÇO 7,25% EXPANSOR
CIMENTO (Kg)	413	400	393	383
AREIA (Kg)	1240	1240	1239	1239
AGUA (L)	373	373	373	372
SUPERPLASTIFICANTE (L)	4,42	4,42	4,42	4,42
HEC (Kg)	7,44	7,15	7,10	6,90
ACR (Kg)		15	20	30

5.3.2.1. Ensaio no estado fresco

5.3.2.1.1. Ensaio de consistência

Este ensaio foi realizado usando os mesmos procedimentos descritos no item 5.3.1.1.1. desta pesquisa.

5.3.2.2. Ensaio no estado endurecido

5.3.2.2.1. Retração por secagem

Este ensaio foi realizado de acordo com as prescrições da norma ABNT NBR 15261/2015 Foram moldados 03 corpos de prova para cada tipo de mistura, de dimensões 25 x 25 x 285 mm. Após a moldagem, os corpos de prova prismáticos permaneceram em ambiente de laboratório (cura ao ar) durante 24 horas. Em seguida foram desformados e dispostos em uma câmara climática, com temperatura de 23°C e 50% de umidade. Os corpos de prova foram mantidos nestas condições nos quais foram realizadas leituras diárias do comprimento por sete (7) dias. O cálculo da variação dimensional foi determinado de acordo com a equação 4:

$$\varepsilon_i = \frac{L_i - L_0}{0,25} \quad (4)$$

ε_i – é a medida da variação dimensional, caracterizada como retração (quando negativa) ou expansão (quando positiva), na idade “i”, arredondada ao centésimo mais próximo, em milímetros por metro.

L_i = é a leitura na idade final, em milímetros.

L_0 = é a leitura efetuada após a desforma, em milímetros.

5.3.2.2.2. Resistência à compressão axial

Para este ensaio foram usados os procedimentos e cálculos descritos no item 5.3.1.2.1 desta pesquisa.

5.3.3. Terceira etapa: Avaliação das propriedades das argamassas autonivelantes com e sem adesivo.

Após definido o traço, bem como a porcentagem de ACR, a quarta etapa do trabalho avaliou as propriedades das argamassas tanto no estado fresco quanto no endurecido, com e sem aditivo adesivo, cujo percentual de incorporação foi de 25% em relação a quantidade de água total da argamassa de referência, sem adesivo. As propriedades avaliadas no estado fresco foram consistência, tempo de retenção de fluxo, exsudação, densidade de massa aparente e ar incorporado. No estado endurecido foram resistência à compressão e resistência de aderência à tração. A Tabela 13 mostra a composição das argamassas empregadas nesta etapa;

Figura 23 - Fluxograma da 3ª etapa.



Tabela 13 - Traço utilizado na 3ª etapa.

TRAÇOS 3ª ETAPA m³ - CIMENTO CP II Z - NASSAU		
MATERIAIS	TRAÇO SEM ADESIVO	TRAÇO COM ADESIVO
CIMENTO (Kg)	400	400
AREIA (Kg)	1240	1240
ÁGUA (L)	367	275
SUPERPLASTIFICANTE (L)	4,48	4,10
HEC (Kg)	7,15	7,15
ACR (Kg)	15	15
ADESIVO (L)		9,2

5.3.3.1. Ensaio no estado fresco

5.3.3.1.1. Consistência e retenção de fluxo

O ensaio de consistência e retenção de fluxo nesta etapa foi realizado de acordo com a descrição feita no item 5.3.1.1.1. desta pesquisa através do mini slump, slump flow e T_{50} .

5.3.3.1.2. Quantidade de água exsudada

O ensaio de exsudação nesta etapa foi realizado de acordo com a descrição apresentada no item 5.3.1.1.2. da pesquisa. O ensaio de exsudação foi realizado para as duas formulações.

5.3.3.1.3. Densidade aparente

A metodologia do ensaio foi de acordo com a norma ABNT NBR 13278/ 2005. Os equipamentos utilizados consistiram de balança analítica, recipiente cilíndrico metálico, de dimensões 20 x 23 cm, régua metálica de 30 cm de comprimento. A execução do ensaio iniciou-se com a calibração do recipiente através da pesagem do recipiente vazio (m_v) e a seguir pesou-se o recipiente com água (m_a). O cálculo do volume do recipiente foi feito através da equação 5.

$$V_r = m_a - m_v$$

(5)

Após o preparo da argamassa, preencheu-se o recipiente cilíndrico sem necessidade de dar golpes e nem quedas no mesmo devido à fluidez da argamassa autonivelante que se adensou por gravidade. O recipiente foi novamente pesado e registrado a massa do molde com argamassa (m_c). O cálculo da densidade de massa da argamassa (d), no estado fresco, em quilograma por metro cúbico(kg/m^3) foi calculado pela equação 6:

$$d = \frac{m_c - m_v}{V_r} \cdot 1000 \quad (6)$$

Onde:

m_c – massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio, em gramas;

m_v – massa do recipiente cilíndrico vazio, em gramas;

V_r – volume do recipiente cilíndrico, em centímetros cúbicos

5.3.3.1.4. Teor de ar incorporado

O ensaio de ar incorporado foi realizado através do método pressométrico adaptado da NBR NM 47/2000 para concretos, tendo em vista que não existem normas para argamassa autonivelante. O teor de ar incorporado é o volume de ar aprisionado ou incorporado na argamassa e expresso em porcentagem do volume total da argamassa em estado fresco. Nesse trabalho foi usado um aparelho de determinação de ar incorporado da marca SOLOTESTE (Figura 24), com capacidade de um litro.

Figura 24 - Aparelho de ar incorporado usado na pesquisa.



Fonte: a autora

5.3.3.2. Ensaio no estado endurecido

5.3.3.2.1. Resistência de aderência à tração

Este ensaio foi adaptado da norma ABNT NBR 13528/2010. Teve por finalidade determinar a resistência de aderência à tração entre o substrato e as argamassas autonivelantes. A execução deste ensaio consistiu primeiramente em confecção da placa de concreto para compor o substrato para o contrapiso, cura do concreto do substrato por 28 dias, lançamento das argamassas autonivelantes (contrapiso) sobre o concreto, cura das argamassas por 28 dias e a determinação da resistência de aderência à tração.

- **Preparação do substrato**

Adotou-se um concreto de fck 25MP para constituir o substrato, com abatimento de tronco de cone de 15 ± 2 cm. A composição do concreto do substrato é mostrada na Tabela 14. Para cada tipo de argamassa autonivelante, foram confeccionadas duas placas de concreto de substrato em formas de madeira compensada, de dimensões 25 x 35 x 9 cm (comprimento x largura x altura) (Figura 25). No total foram quatro placas de concreto, de dimensões de 25 x 35 x 5 cm, tendo em vista que o concreto não preencheu completamente a altura das formas de madeira, mas sim somente até 5cm. O restante da altura foi preenchido com as argamassas autonivelantes (contrapiso). Antes da aplicação das argamassas, o concreto do substrato foi curado ao ar durante 28 dias.

Tabela 14 - Composição do concreto para substrato de ensaio de aderência.

QUANTIDADE DE MATERIAIS POR m ³ DE CONCRETO	
CIMENTO (Kg)	380
AREIA (Kg)	620
ÁGUA (L)	205
SEIXO FINO (Kg)	1080
ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE (mm)	150
TRAÇO UNITÁRIO	1 : 1,64 : 2,86
RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO	0,54

Fonte: a autora

Figura 25 - Caixa com substrato de concreto.



Fonte: a autora

- **Lançamento do contrapiso no substrato**

A argamassa para contrapiso autonivelante foi preparada em duas formulações, conforme mostrado na Tabela 8. Cada composição foi lançada em duas caixas já preparadas com substrato de concreto (Figura 26), preenchendo 4 cm finais da altura das caixas. Antes da aplicação, as superfícies das placas de concreto, curado por 28 dias, foram limpas para remoção de partículas soltas. Após o lançamento do contrapiso, o conjunto substrato (concreto)/contrapiso (argamassa) foram curados ao ar durante 28 dias.

Figura 26 - Caixa com contrapiso autonivelante.



Fonte: a autora

Para cada placa foram confeccionados 06 corpos de prova, perfazendo um total de 12 corpos de prova para cada tipo de argamassa (com e sem adesivo). O espaçamento mínimo entre cada corpo-de-prova, e deste em relação aos cantos e quinas foi de 5 cm. A confecção dos corpos de prova consistiu na execução de cortes de dimensões 5 x 5 cm com a serra circular, de modo que alcançasse toda a espessura do contrapiso, no caso 4 cm, inclusive ultrapassando 2 mm dentro do substrato de concreto. Após a limpeza do local de corte, foram coladas as pastilhas de aço de dimensões 5 x 5 cm com resina epoxídica, permanecendo em cura por 24 horas antes da realização do ensaio. Foi utilizado um equipamento de arrancamento da marca SOLOTESTE (Figura 27). A equação 7 mostra como é determinada a resistência de aderência à tração.

Figura 27 - Aparelho de ensaio de aderência.



Fonte: a autora

$$Ra = \frac{F}{A}$$

(7)

Onde:

Ra – é a resistência à tração, expressa em megapascals (MPa);

F – é a força de ruptura expressa em newtons (N);

A – é a área do corpo-de-prova, expressa em milímetros quadrados (mm²).

Após a ruptura de cada corpo-de-prova verificou-se o tipo de configuração de ruptura, como ruptura no substrato, ruptura na interface substrato/argamassa, ruptura na argamassa, ruptura na argamassa/cola ou ruptura na interface pastilha/cola.

5.3.3.2.2. Resistência à compressão axial

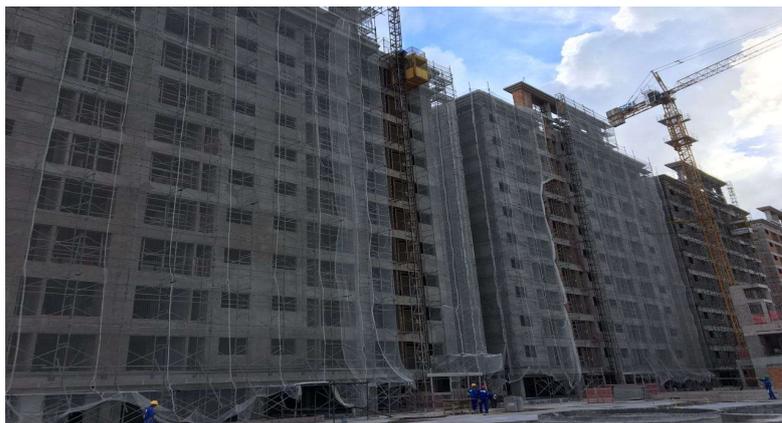
Para este ensaio foram usados os procedimentos descritos no item 5.2.1.3 desta pesquisa. Foram moldados dezoito (18) corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 5 x 10 cm, rompidos aos 1, 3, 7, 14, 21 e 28 dias sendo três para cada idade.

5.3.4. Quarta etapa – ensaio de campo

A execução do contrapiso autonivelante em escala real foi realizada em um empreendimento imobiliário, denominado SALINAS PARK RESORT, localizado no município de Salinópolis, no nordeste do Estado do Pará. O empreendimento consiste de 04 torres, cada uma com 10 pavimentos tipos, destinado a hotelaria (Figura 28). A empresa AMEC CONSTRUTORA é a responsável pela construção do empreendimento.

O local da aplicação da argamassa autonivelante foi no 3º pavimento tipo do bloco D, no espaço de um dormitório de dimensões de 3,85 x 2,70 m, perfazendo uma área de 10,40 m². (Figura 28 e 29). A Figura 30 resume as etapas do ensaio de campo.

Figura 28 - Empreendimento SALINAS PARK RESORT.



Fonte: a autora

Figura 29 - Local de lançamento da argamassa para contrapiso autonivelante.



Fonte: a autora.

Figura 30 - Fluxograma da 4ª etapa



5.3.4.1. Traço laboratório de Campo

Em decorrência da alteração da areia, foi necessária, antes da execução da argamassa na central de concreto, a realização de uma dosagem preliminar no laboratório da obra, com vistas a ajustar as quantidades de água e aditivo superplastificante.

Os parâmetros avaliados no estado fresco foram os espalhamentos *no slump flow* (Figura 31), *mini slump*, T₅₀ e avaliação visual da segregação, que foi feita através da colocação da argamassa em um béquer de vidro de 500mL. Durante por 30 minutos observou-se a existência ou não de segregação da mistura no béquer (Figura 32). A Figura 33 mostra a distribuição granulométrica da areia natural fina empregada na obra com a areia utilizada nos ensaios preliminares.

Figura 31 - Slump flow traço final.



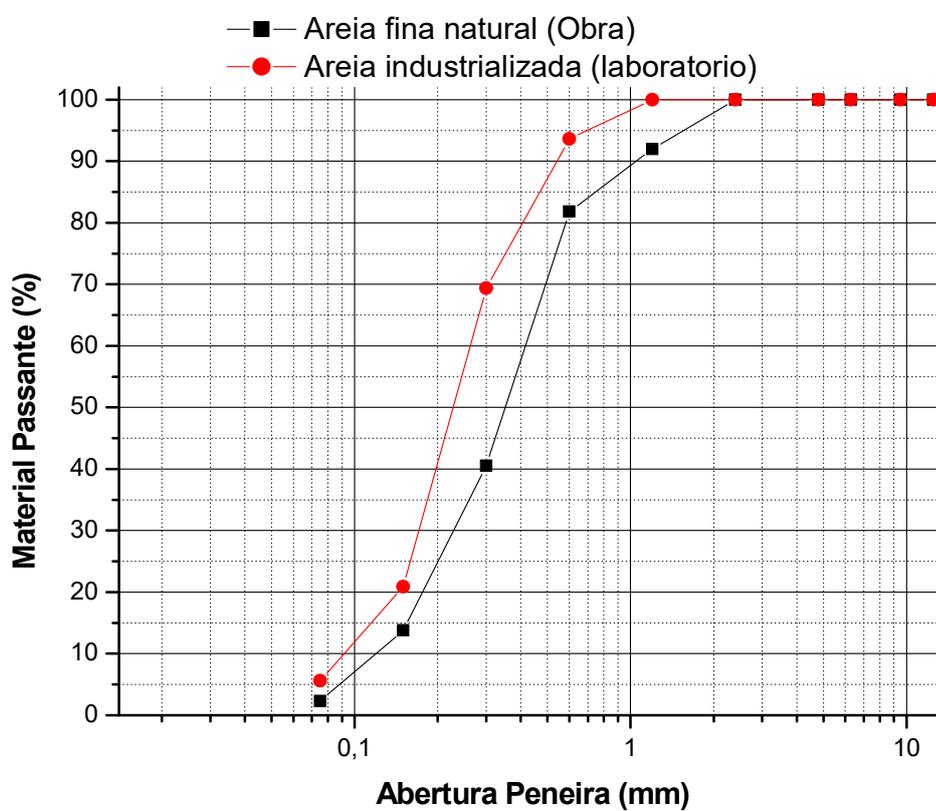
Fonte: a autora

Figura 32 – Avaliação da segregação da argamassa autonivelante.



Fonte: a autora

Figura 33 - Gráfico comparativo entre areia da obra e areia industrializada.



Fonte: a autora

5.3.4.2. Traço central de concreto

A argamassa autonivelante foi produzida em uma central de concreto, com os materiais medidos em peso. O volume produzido foi de aproximadamente 1 m³, quantidade necessária para preencher a espessura de 10 cm de contrapiso. Vale ressaltar que esta espessura de contrapiso é bastante elevada, o que favorece o surgimento de fissuras por conta da retração por secagem.

O substrato do local de aplicação foi uma laje maciça de concreto, não acabada, com a superfície irregular (rugosa). Antes da aplicação, a superfície foi limpa, com a remoção de partículas soltas. Não houve qualquer tipo de tratamento sobre a superfície para melhorar as condições de aderência, tendo em vista a rugosidade da superfície do concreto.

Definida a composição, com os ajustes necessários de água e de aditivo superplastificante, a argamassa foi dosada na central de concreto em caminhão betoneira de capacidade de 8 m³. O processo de pesagem dos materiais e ajuste da consistência no caminhão betoneira teve a duração de 30 minutos. Após isso, a descarga da argamassa ocorreu através da calha do caminhão betoneira em carros de transporte de argamassa, de capacidade de 0,5 m³, disponíveis no canteiro da obra. (Figuras 34 e 35).

Figura 34 -Lançamento da argamassa através da calha.



Fonte: a autora

Figura 35 - Argamassa lançada no carro de transporte a partir do caminhão betoneira.



Fonte: a autora

O lançamento da argamassa autonivelante na laje de piso do 3º pavimento tipo (local de lançamento) ocorreu através dos carros de transporte. Foram utilizados dois carros, por conta do volume de argamassa de 1m³, transportados através do elevador de obra (cremalheira). Na parte frontal dos carros há placas removíveis, tipo guilhotina, que ao serem suspensas permitiram a descarga da argamassa autonivelante (Figura 36). A consistência autonivelante da argamassa permitiu o escoamento e o preenchimento do contrapiso na espessura necessária, sem a necessidade de nivelamento.

Figura 36 - Carro para transporte da a argamassa.



Fonte a autora

O acabamento foi realizado manualmente por dois funcionários utilizando desempenadeiras de aço (Figura 37). O processo como um todo, desde a pesagem, ajuste da consistência no caminhão betoneira, chegada ao local, descarga, transporte,

lançamento e acabamento da superfície teve a duração de aproximadamente 70 minutos. Tempo que ocasionou a perda de consistência autonivelante.

Figura 37 - Contrapiso sendo regularizado com desempenadeira manual.



Fonte: a autora

Os procedimentos de transporte e acabamento superficial empregado não são os mais apropriados para argamassa autonivelante. O ideal é que o transporte da argamassa tivesse ocorrido por bombeamento e o acabamento superficial por meio de rodas fura bolha e de nivelamento ou pela desempenadeira tipo *flow*. Entretanto, adaptou-se o procedimento acima descrito em decorrência da indisponibilidade do equipamento de bombeamento e de acabamento de superfície no local da obra.

A avaliação da argamassa no estado endurecido foi através da resistência à compressão, realizada conforme procedimento descrito no item 5.3.1.2.1. Foram moldados quatro (4) corpos-de-prova que foram ensaiados para compressão axial aos 7 e aos 28 dias. Aos 28 dias foi realizado o ensaio de impacto acústico sobre o contrapiso.

5.3.4.3. Ensaio de impacto acústico sobre piso

O ensaio foi realizado no 3º andar do bloco D de um empreendimento imobiliário residencial multipavimentos no município de Salinas/PA, no qual a empresa AMEC Engenharia LTDA disponibilizou o espaço de um dormitório para o lançamento do contrapiso autonivelante. O ensaio foi realizado após 28 dias de lançamento do contrapiso.

O espaço cedido não estava com o acabamento finalizado, com janelas e portas instaladas, como indica a norma. Contudo, foi disponibilizado pela empresa fechamento provisório em madeira das janelas. As paredes já estavam rebocadas. O

forro estava apenas chapiscado e o piso sem acabamento final, ou seja, somente com o contrapiso, sem o revestimento cerâmico. Antes do início dos ensaios de impacto acústico sobre piso, foram coletados dados a respeito do local onde os ensaios foram realizados, conforme mostrado pela Tabela 15.

Tabela 15 - Características dos cômodos ensaiados.

TIPO DE CONSTRUÇÃO	TIPO DE PISO	ESPESSURA TOTAL DO SUBSTRATO + CONTRAPISO (cm)	ÁREA DE PISO (m ²)	VOLUME DO AMBIENTE RECEPTOR E EMISSOR (m ³)	ÁREA DA SUPERFÍCIE REFLETORA DO AMBIENTE RECEPTOR E EMISSOR (m ²)	PE DIREITO DO AMBIENTE RECEPTOR E EMISSOR (m ²)
EDIFICAÇÃO DE PADRÃO MÉDIO	LAJE CONVENCIONAL (10 cm) + CONTRAPISO AUTONIVELANTE (10 cm)	20,00	10,40	31,20	39,30	3,00

Fonte: a autora

Como a área das salas, tanto receptora quanto emissora, eram menores que 20 m², com vedação tipo 2, a norma ISO 16283-1/2014 estabelece a adoção de um número específico de posições dos equipamentos, conforme Tabela 16. Foram feitas medições no interior do ambiente, para obtenção dos Níveis de Pressão Sonora de Impacto padrão ponderado.

Tabela 16 - Arranjos de medição estabelecidos para ensaios de isolamento ao ruído de impacto.

ÁREA DE PISO DA SALA EMISSORA (m ²)	Nº DE POSIÇÕES	ÁREA DE PISO DA SALA RECEPTORA (m ²)			
		≤ 50		> 50	
		VEDAÇÃO 1	VEDAÇÃO 2	VEDAÇÃO 1	VEDAÇÃO 2
< 20	MÁQUINA DE RUÍDOS	4	4	4	4
	MNPS FIXOS	4	4	8	8
20 a 50	MÁQUINA DE RUÍDOS	8	4	8	4
	MNPS FIXOS	4	4	8	8
> 50	MÁQUINA DE RUÍDOS	8	8	8	8
	MNPS FIXOS	4	4	8	8

Vedação tipo 1: Vigas de madeira, paredes de concreto com nervuras e vigas de concreto e divisórias sólidas com uma espessura inferior a 100 mm. Qualquer tipo de revestimento do piso.

Vedação tipo 2: Vedações de concreto sólido, com uma espessura igual ou superior a 100 mm, e vedações de concreto oco (nervurado).

Fonte: ISO 16283-1 (2014)

5.3.4.3.1. Parâmetros medidos:

Para determinar o nível de ruído de impacto padrão ponderado ($L'_{nT, w}$) foram tomadas as seguintes medidas no ambiente de recepção:

Tempo de reverberação – TR;

Nível de pressão sonora no ambiente de recepção – L_i ;

Nível de pressão sonora do ruído ambiente – L_{ra} .

5.3.4.3.2. Equipamentos usados nos ensaios:

Nas medições feitas no interior do ambiente analisado os equipamentos utilizados foram:

- **Medidor de nível de pressão sonora tipo 1**, de dois canais, *Investigator*, modelo 2260 da marca B&K, n° de série 2572851;
- **Microfone: de 1/2"**, marca Bruel & Kjaer, do tipo 4189;
- **Calibrador**: para calibrar o medidor de pressão sonora, como forma de verificar a validade das medições feitas;
- **Fonte emissora**: fonte dodecaédrica omnidirecional, marca Bruel & Kjaer, do tipo 4296;
- **Amplificador de sinal**: do tipo 2716 da marca Bruel & Kjaer;
- **Tapping machine**: Brüel & Kjaer, sendo do Tipo Analyzer 3207.

5.3.4.3.3. Medição do nível de ruído ambiente (L_{ra})

Foram tomadas três (3) medidas do nível de ruído ambiente durante o ensaio. Este valor é necessário para que os valores de NPS de impacto medidos no ambiente receptor não sofram interferência por sons estranhos como ruídos do ambiente exterior ou ruídos produzidos pelo próprio equipamento de medição, conforme preconiza a norma ISO 140/1998.

Para o registro do NPS do ruído ambiente o microfone foi posicionado a 1,30 m do piso e o medidor de pressão sonora foi utilizado durante 15 s com o ambiente sem equipamentos geradores de ruído para que fosse possível gravar somente o

ruído de fundo habitual. Neste caso após a coleta de dados, foi verificado que o Li médio era superior a 6 dB do sinal e do ruído de fundo combinados em cada banda de frequência, o que segundo Araujo *et al.*, (2013) é um valor no qual a correção não é necessária, pois é considerado ideal. A equação 8 mostra entre o NPS médio e o Lra.

$$D = L_{\text{médio}} - L_{\text{ra}} \geq 6 \text{ dB} \quad (8)$$

Onde,

D – Diferença;

Li – Média logarítmica entre nível de pressão sonora no ambiente de recepção.

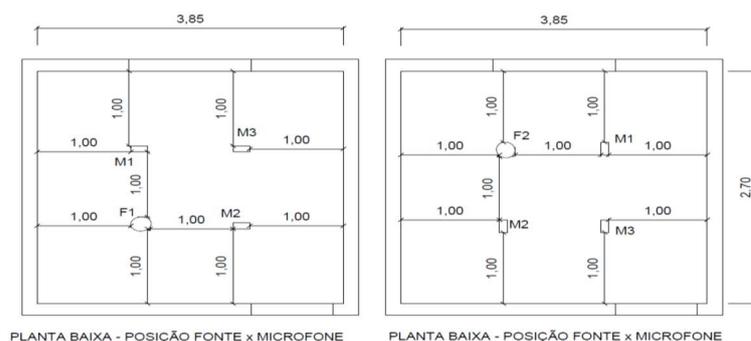
Lra - Nível de pressão sonora do ruído ambiente

5.3.4.3.4. Tempo de reverberação

A medição do tempo de reverberação foi feita por um medidor de nível de pressão sonora, devidamente calibrado, além de uma fonte sonora, adaptando as recomendações da ISO 354/2003, em terça de oitava nas frequências entre 100 Hz e 3,1 kHz. Para cada frequência foi determinado o tempo de um minuto para a leitura dos níveis sonoros. Na Figura 38 estão identificadas as posições adotadas para microfone e fonte sonora. O cálculo da média do tempo de reverberação para cada frequência é dado pela soma dos valores obtidos dividido pelo número de combinações usadas.

- 2 posições de fonte sonora onidirecional;
- 3 posições de microfone para cada posição da fonte sonora.

Figura 38 - Posição fonte e microfone para medição do TR.

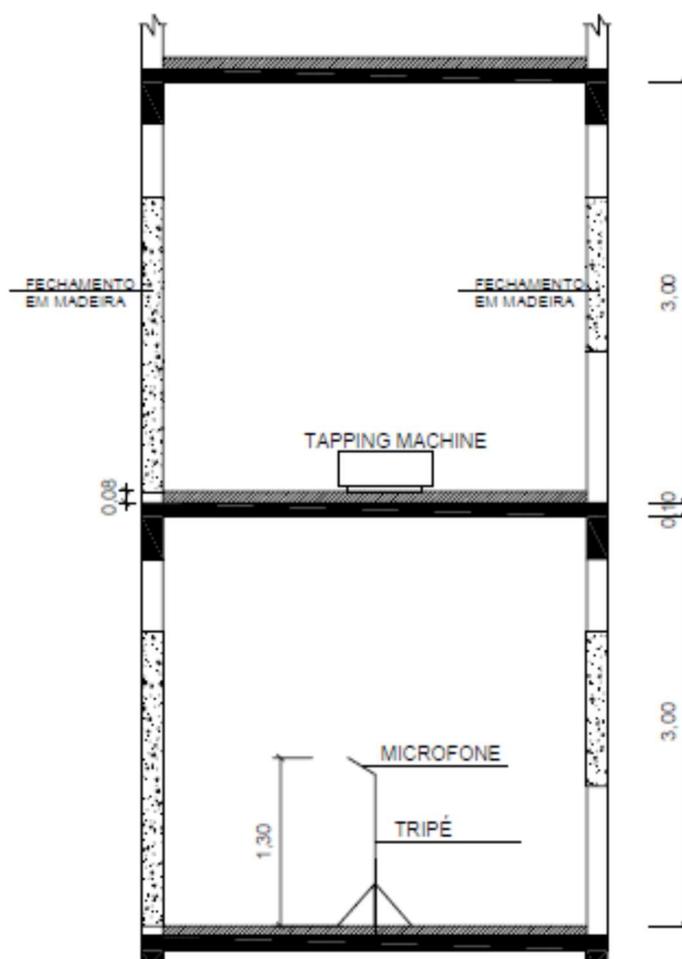


Fonte: a autora

5.3.4.3.5. Cálculo do nível de pressão sonora de impacto ponderado ($L'_{nT,w}$)

Para este ensaio a máquina de impacto (*tapping machine*) foi posicionada no andar superior (ambiente emissor) em quatro (4) posições diferentes, combinadas com quatro (4) posições de microfone e o medidor de NPS no andar inferior (ambiente receptor) como mostra a Figura 39:

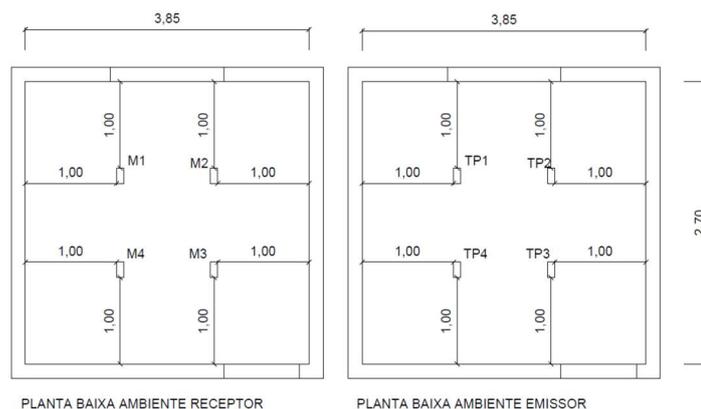
Figura 39 – Posição dos equipamentos para ensaio de ruído de impacto.



Fonte: a autora

Foram tomadas 16 medidas usando um medidor de NPS conforme registrado em bandas de terças de oitava nas frequências de 100 Hz a 3,15 kHz combinadas para cada posição da *tapping machine* (TP) x microfone (M), cujas distâncias obedeceram às exigências das normas ISO 10140-3 e ISO 10140-5 (Figura 40). O cálculo do Limedio é dado pela equação 9. A equação 10 mostra o Cálculo do L'_{nT} (nível de pressão sonora normalizado).

Figura 40 - Posição *tapping machine* x microfone.



Fonte: a autora

$$L_{\text{médio}} = 10 \log_{10} \frac{1}{n} \sum 10^{L_j/10}$$

(9)

Onde:

L_j – é o NPS de impacto de L_1 a L_j em n posições diferentes no ambiente de recepção em dB, por banda de frequência j .

L_i – é o NPS de impacto. Média logarítmica do NPS, em bandas de terça de oitava, no ambiente de recepção, quando o piso em teste é submetido aos impactos da *Tapping Machine*, expresso em dB.

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log_{10} (TR/T_0)$$

(10)

Sendo,

T_0 - um valor padrão igual 0,5 s.

TR – Tempo de reverberação

6. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta etapa são apresentados e analisados os resultados obtidos através dos ensaios previstos no programa experimental desta pesquisa.

6.1. Primeira etapa - traços experimentais

6.1.1. Ensaio no estado fresco

6.1.1.1. Consistência e Tempo Retenção de Fluxo

Os valores de referência para o ensaio de consistência e retenção de fluxo foram apresentados no item 5.3.1.1.1. A Tabela 17 mostra os valores obtidos para os traços experimentais iniciais.

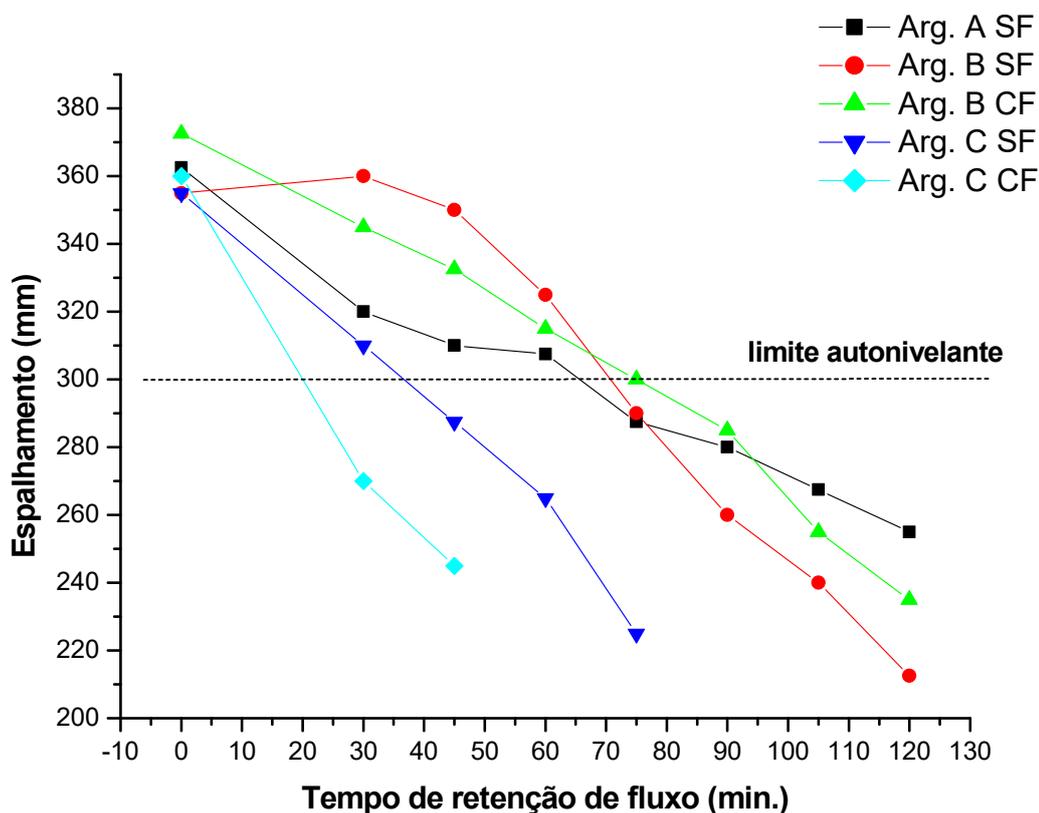
Tabela 17 - Resultados ensaio de espalhamento traços iniciais.

TRAÇOS	MINI SLUMP (cm)	SLUMP FLOW (cm)	T50 (s)	FOTO SLUMP FLOW	OBSERVAÇÃO
ASF	36,00	82,50	1		TRAÇO SEM EXSUDAÇÃO VISÍVEL
BSF	35,50	92,00	1		TRAÇO SEM EXSUDAÇÃO VISÍVEL
BCF	37,25	96,50	1		TRAÇO COM EXSUDAÇÃO VISÍVEL
CSF	35,50	86,00	1		TRAÇO COM EXSUDAÇÃO E SÉGREGAÇÃO VISÍVEL
CCF	36,00	90,50	1		TRAÇO COM EXSUDAÇÃO E SÉGREGAÇÃO VISÍVEL

A Figura 41 mostra o tempo de retenção de fluxo das argamassas autonivelantes avaliadas. Os resultados demonstraram que a argamassa ASF apresentou uma queda na retenção de fluxo com o passar o longo do tempo, não apresentado manutenção alguma no tempo de retenção de fluxo, mas ao final de 60

minutos apresentou um espalhamento acima de 300 mm e após este tempo começou a apresentar enrijecimento do material.

Figura 41 - Gráfico de consistência e retenção de fluxo.



A argamassa BSF apresentou uma tendência de permanência inicial nos valores de retenção de fluxo até 40 minutos com valores de 345 mm de espalhamento. Após 45 minutos começou a apresentar uma perda de consistência com o passar do tempo. Contudo, até os 70 minutos o espalhamento foi de 300 mm, limite considerado autoadensável. No traço de argamassa BCF (com fíler calcário), observa-se um comportamento divergente da argamassa anterior, com uma queda acentuada de retenção de fluxo com o passar do tempo, caracterizando perda de trabalhabilidade. Entretanto ainda características autonivelantes até 65min.

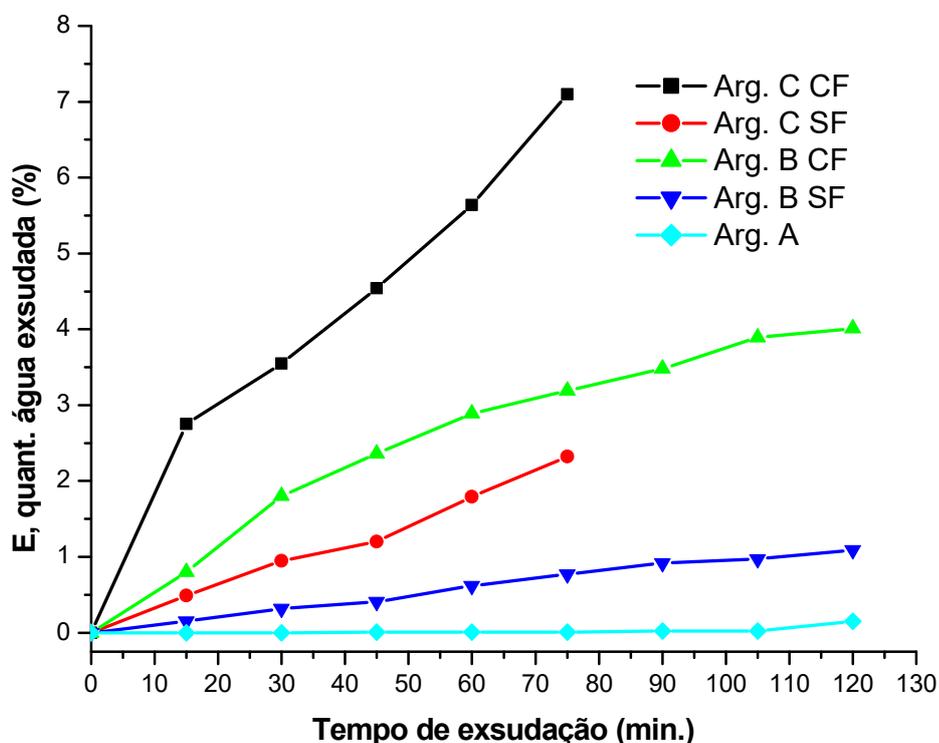
A argamassa CSF apresentou um espalhamento abaixo de 300 mm aos 40 minutos enquanto que a argamassa com mesmo traço e adição de fíler calcário (CCF) ocorreu perda já aos 20 minutos.

É notório que a incorporação de fíler calcário acelerou o processo de pega e hidratação do cimento, pois aumentam a formação de hidróxido de cálcio devido às reações C_3A e C_3S conforme já observado por Sahmaran *et al.* (2006). Essas quedas na retenção de fluxo e no espalhamento inviabilizam o uso das argamassas de traço C e B com fíler calcário, pois dificultariam o bombeamento, entupindo a tubulação. Jawara *et al.* apud Rilem (2000) mencionam que os valores de retenção de fluxo para concretos autoadensáveis são em torno de 60 a 90 minutos. Concluiu-se, portanto, que a argamassa que apresentou melhor comportamento de consistência e retenção de fluxo foi o traço BSF.

6.1.1.2. Quantidade de água exsudação

A Figura 42 apresenta os resultados obtidos no ensaio de exsudação, expressos pelo percentual de água exsudada (E %) em um determinado intervalo de tempo.

Figura 42 - Gráfico da quantidade de água exsudada.



Os valores da exsudação da argamassa ASF foram desprezíveis e isso se deve ao elevado teor de consumo de cimento, em torno de 560 k/m^3 e a relação água/cimento em torno de 0,66. O elevado teor de finos e o emprego de aditivo espessante HEC, ambos contribuem para a coesão do material levando a exsudação a ser praticamente nula.

A argamassa com traço BSF também apresentou resultados satisfatórios com uma quantidade de água acumulada de 1,01%, o que não ocorreu com a argamassa com traço BCF, que apresentou uma exsudação substancial em torno de 4%. O mesmo padrão de comportamento foi observado para as argamassas com traço C, que possuem menor consumo de cimento. Esses resultados foram diferentes do encontrado por Fiorentin apud Rubim (2015). Possivelmente isto ocorreu pelo fato do cimento empregado possuir partículas mais finas que o filer calcário, tendo em vista que este cimento possui uma área específica bastante elevada, em torno de $5.550 \text{ cm}^2/\text{g}$.

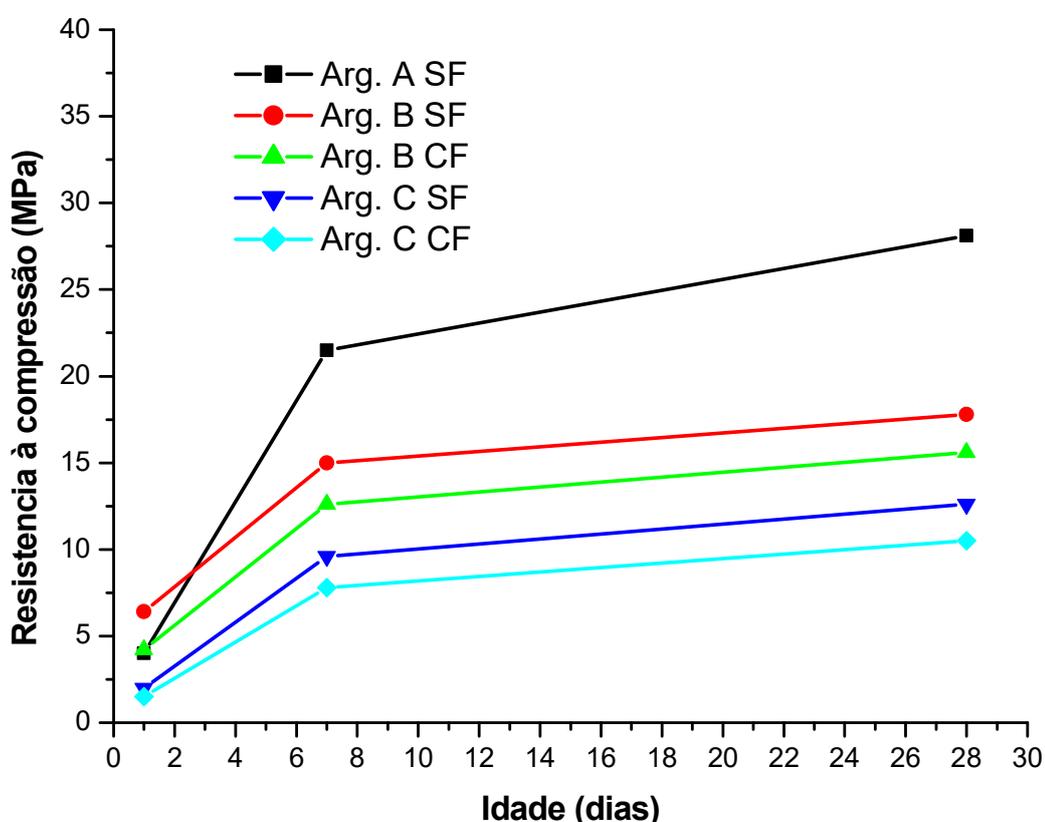
Em suma as argamassas que apresentaram melhores resultados foram os traços ASF e BSF, com quantidades de água exsudada praticamente desprezível, entre 0,15% a 1%. A argamassa ASF encontrou valores muito próximos dos obtidos por Rubim (2015) para argamassas industrializadas, em torno de 0,15%. Essas argamassas apresentaram baixa exsudação e inexistência de segregação em razão do alto teor de finos e uso moderado de aditivo espessante. A baixa exsudação é um aspecto muito positivo tendo em vista o tipo de aplicação a que esta argamassa se destina. A exsudação forma uma película de baixa resistência na superfície do piso contribuindo para o desgaste do material.

6.1.2. Ensaio no estado endurecido

6.1.2.1. Resistência à compressão axial.

Os resultados dos valores médios obtidos no ensaio de resistência à compressão axial são apresentados na figura 43.

Figura 43 - Gráfico da resistência à compressão axial.



A argamassa ASF, com maior consumo de cimento, apresentou uma resistência de 3,9 MPa em 24 horas e 27 MPa aos 28 dias. As argamassas de composição B, com consumo intermediário de cimento, com e sem fíler calcário, apresentaram resistência de compressão as 24 horas de 4 a 6,5 MPa e aos 28 dias de 15 a 18 MPa. As argamassas de composição C, com e sem fíler calcário, apresentaram resistência à compressão axial às 24 horas de 1,5 a 2 MPa e aos 28 dias de 10 a 13 MPa.

Levando em consideração que as argamassas autonivelantes têm como finalidade a utilização em pisos, devem ter uma resistência inicial elevada para que o tráfego possa ser liberado. As argamassas que atenderam esta especificação foram as argamassas A e B.

Com relação à resistência final, Nakakura (1997) indica um intervalo de resistência conforme o tipo de tráfego. No caso, de 5, 10 e 12 MPa, correspondendo ao tráfego leve, médio e pesado, respectivamente. A EFNARC (2002) especifica a resistência mínima a compressão axial para pisos cimentícios autonivelantes de 20 MPa.

Diante destes valores o único traço que atendeu a estas especificações é a argamassa ASF. Entretanto, levando em consideração os critérios de Nakakura (1997), apenas as argamassas ASF e BSF estariam dentro do critério pesado.

As argamassas B e C com fíler calcário tiveram suas resistências à compressão axial inferiores aos dos traços sem fíler, fato este que está relacionado ao efeito da diluição ocasionado pela substituição de 10% de cimento por fíler calcário.

6.1.3. Conclusão da Primeira Etapa

Levando em consideração os resultados obtidos, o traço que melhor atendeu em termos de propriedades foi o traço BSF, tanto do ponto de vista técnico como econômico. O traço em questão possui espalhamento dentro dos limites esperados para argamassa autonivelante, com tempo de retenção de fluxo acima de 60 minutos, exsudação de 1,05%, dentro do valor aceitável e resistência à compressão axial nas primeiras 24 horas entre 4 a 6 MPa, permitindo assim a rápida liberação dos ambientes, além do consumo de cimento por metro cúbico, em torno de 416 kg/m³, dentro do valor preconizado pela EFNARC, (2002) entre 350 kg/cm³ e 450 kg/m³. O traço 1:3 (BSF) também se justifica por ser economicamente mais viável que o traço 1:2 (ASF). O restante do programa experimental desta pesquisa foi conduzido com este traço.

6.2. Segunda etapa: definição do percentual de incorporação do aditivo compensador de retração (ACR)

Nesta etapa, o traço BSF foi dosado com diferentes quantidades de ACR: 3,63%, 4,75% e 7,25%, além da mistura de referência, sem aditivo. A ação esperada para o expansor seria mitigar a retração, que é um fenômeno muito recorrente em argamassas fluidas, provocando fissuras.

6.2.1. Ensaio no Estado Fresco

6.2.1.1. Ensaio de consistência

Os resultados de consistência estão apresentados na Tabela 18. Todas as argamassas estudadas apresentaram consistência acima do valor para serem consideradas autonivelantes, ou seja, acima de 300 mm como já foi mencionada na etapa anterior.

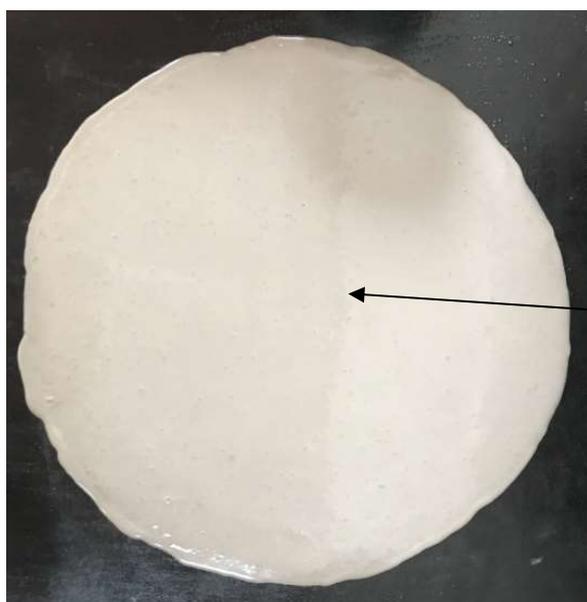
Tabela 18 - Tabela de ensaio de consistência.

EXPANSOR (%)	VALOR MÉDIO DO MINI SLUMP (mm)	OBSERVAÇÃO
SEM EXANSOR	350	TRAÇO COM EXUDAÇÃO E SEM SEGREGAÇÃO VISÍVEL
3,63%	340	TRAÇO SEM EXUDAÇÃO E SEGREGAÇÃO VISÍVEL
4,75	345	TRAÇO SEM SEGREGAÇÃO, COM EXSUDAÇÃO VISÍVEL
7,25	330	TRAÇO COM EXUDAÇÃO SEM SEGREGAÇÃO VISÍVEL

Fonte: a autora

O traço que apresentou as melhores características reológicas, ou seja, consistência autoadensável, ausência de exsudação e segregação foi a argamassa com incorporação de 3,63% de ACR (Figura 44 c, d), que é o percentual recomendado pelo fabricante. As demais argamassas sem ACR e com 4,84% e 7,25% apresentaram uma desestabilização na mistura e exsudação excessiva.

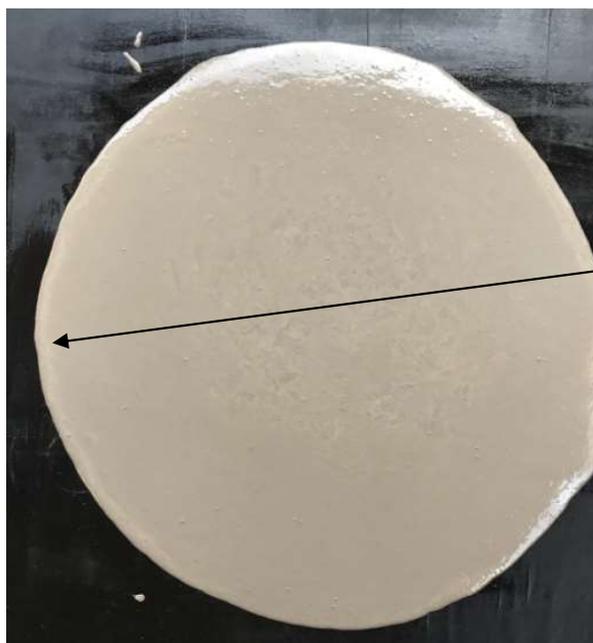
Figura 44 - Traços BSF – dosagens de aditivo compensador de retração.



(a) Sem ACR



(b) Sem ACR (detalhe)



(c) 3,63% de ACR



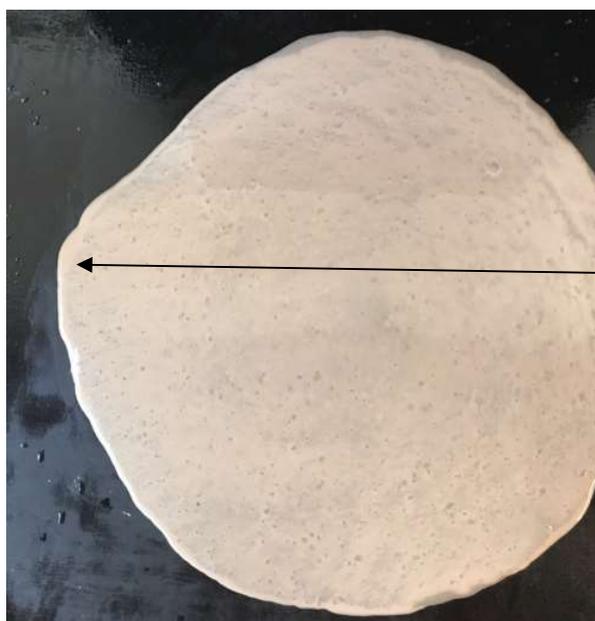
(d) 3,63% de ACR (detalhe)



(e) 4,84% de ACR



(f) 4,84% de ACR (detalhe)



(g) 7,25% de ACR



(h) 7,25% de ACR (detalhe)

Fonte: a autora

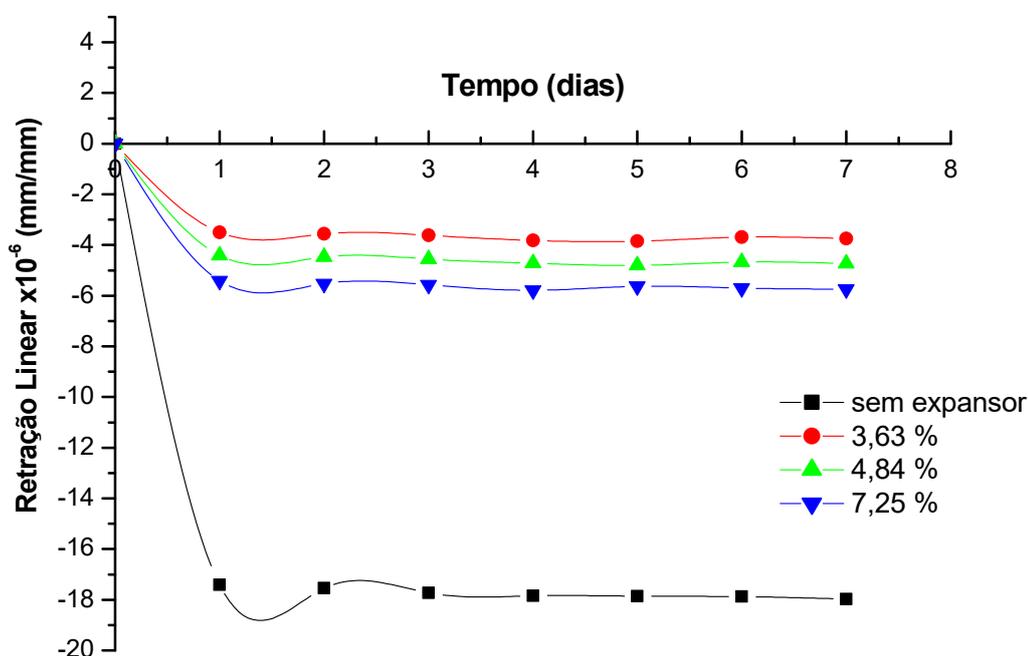
A exsudação foi mais acentuada para o percentual maior de ACR, no qual pode ser percebida a desestabilização na mistura, descaracterizando a circunferência formada no espalhamento. Quanto maior o percentual de substituição do cimento pelo ACR, mais acentuada foi a exsudação em decorrência da granulometria do expensor ser maior que a do cimento.

6.2.2. Ensaio no Estado Endurecido

6.2.2.1. Retração linear

Análise da variação dimensional foi feita para quatro formulações nas seguintes proporções de ACR 0%, 3,63%, 4,84% e 7,25%. Os valores obtidos são apresentados na figura 45.

Figura 45 - Gráfico de Retração Linear.



(*) Os ensaios foram realizados em câmara seca climatizada a 23° C e umidade de 50% durante sete dias.

Fonte: a autora

Como pode ser verificada no gráfico, para todas as formulações há uma retração acentuada no primeiro dia, porém com o passar do tempo os resultados tendem a ficar estabilizados. Por esta razão, o ensaio de retração por secagem foi conduzido até o 8º dia de hidratação.

A maior retração inicial foi apresentada na argamassa sem ACR com cerca de 18mm/m. A incorporação do aditivo expansor ocasionou uma redução expressiva na deformação oriunda da retração por secagem, com deformações não ordem de

3,5mm/m, o que representa uma diminuição de 80% na deformação de retração por secagem e demonstra que é imprescindível o uso do aditivo expensor na formulação das argamassas autonivelantes. Entretanto, ao contrário do que era esperado, a argamassa com menor percentual de aditivo expensor foi que a apresentou a menor deformação de retração por secagem. Teores mais elevados de aditivo expensor aumentaram essa deformação. Acredita-se que este comportamento anômalo seja por conta da desestabilização das argamassas no estado fresco com a incorporação de 4,84% e 7,25% de aditivo compensador de retração (ACR), que ocasionou a exsudação das misturas, proporcionando um caráter heterogêneo às argamassas.

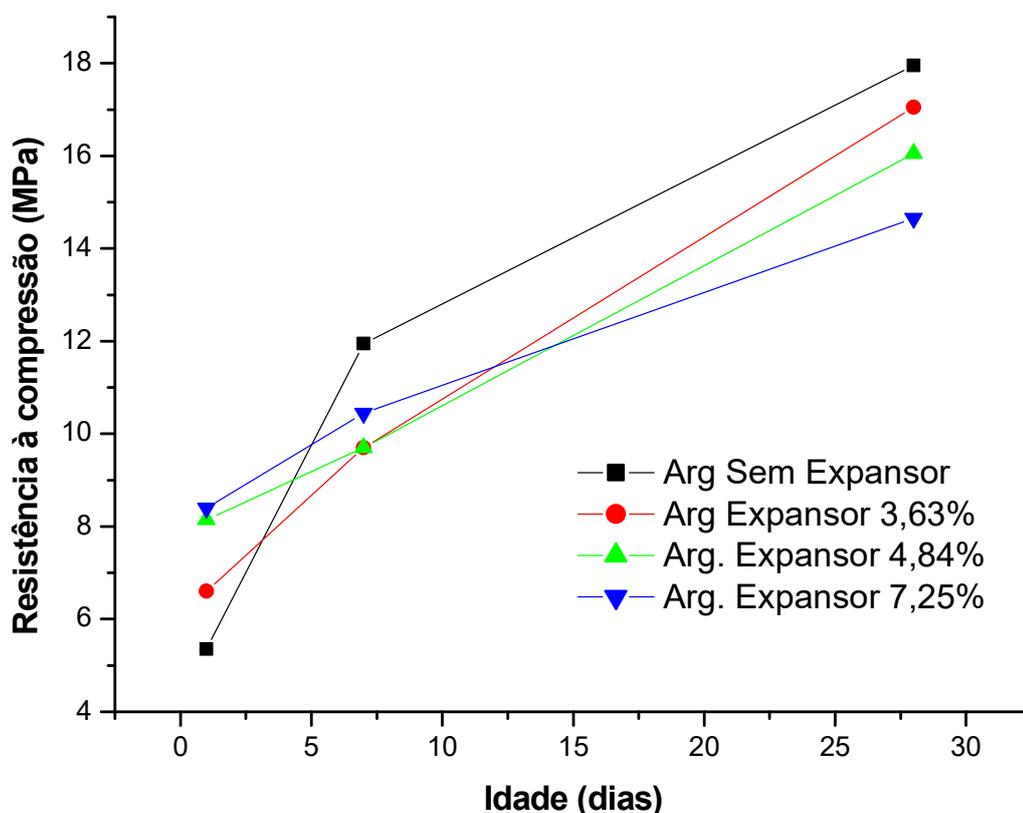
As deformações observadas no ensaio foram bastante elevadas em comparação com os resultados encontrados na literatura, com valores de 0,5 e 0,8 mm (SILVA, 2016), 0,6 a 0,8mm (LESSA & COUTINHO, 2013), 5,0 mm/m (BARLUENGA E OLIVARES, 2010).

Nas argamassas formuladas para este trabalho, os consumos de cimento ficaram próximos de 400 kg/m³ e as relações água/ cimento foram de aproximadamente 0,90. Este último fator é o responsável pelas deformações de retração por secagem serem mais elevadas. Nos trabalhos encontrados nas literaturas, os consumos de cimento foram superiores a 500 kg/m³ e as relações água/cimento inferiores a 0,40, o que inviabilizaria economicamente o uso destas argamassas autonivelantes no âmbito nacional.

6.2.2.2. Resistência à compressão axial

Os resultados de resistência à compressão são mostrados na Figura 46. O ensaio de retração linear demonstrou que as argamassas autonivelantes não podem ser usadas sem ACR, portanto, em que pese os maiores valores de resistência terem sido obtidos com a argamassa sem ACR, este não pode deixar de ser empregado na dosagem das argamassas autonivelantes.

Figura 46 - Gráfico de resistência à compressão axial.



Fonte: a autora

A argamassa com incorporação de 3,63% de ACR apresentou resultados satisfatórios de resistência inicial e final, sendo ligeiramente inferior às das argamassas sem ACR. Para a idade de 01 dia, 6 MPa, e aos 28 dias a resistência alcançou 17,5 MPa,

6.2.3. Conclusão da Segunda Etapa

Levando em consideração os resultados obtidos, o traço que melhor atendeu foi o traço BSF com incorporação de 3,63% de ACR. O traço em questão possui espalhamento dentro dos limites esperados para argamassa autonivelante, exsudação visual praticamente nula, resistência à compressão axial nas primeiras 24 horas de 6 MPa, o que contribui para a liberação rápida dos espaços, além do valor aos 28 dias estar dentro do valor fornecido pela literatura para tráfego pesado. Os valores para retração linear indicam que este percentual de ACR age positivamente no combate a fissuração nos primeiros dias, que no contrapiso autonivelante é devido à quantidade de água utilizada na produção do traço.

6.2. Terceira etapa: Avaliação das propriedades das argamassas autonivelantes com e sem adesivo (SBR)

Nesta etapa foram avaliadas as propriedades dos traços BSF com adição de 3,63% de ACR, com e sem aditivo adesivo na água de amassamento.

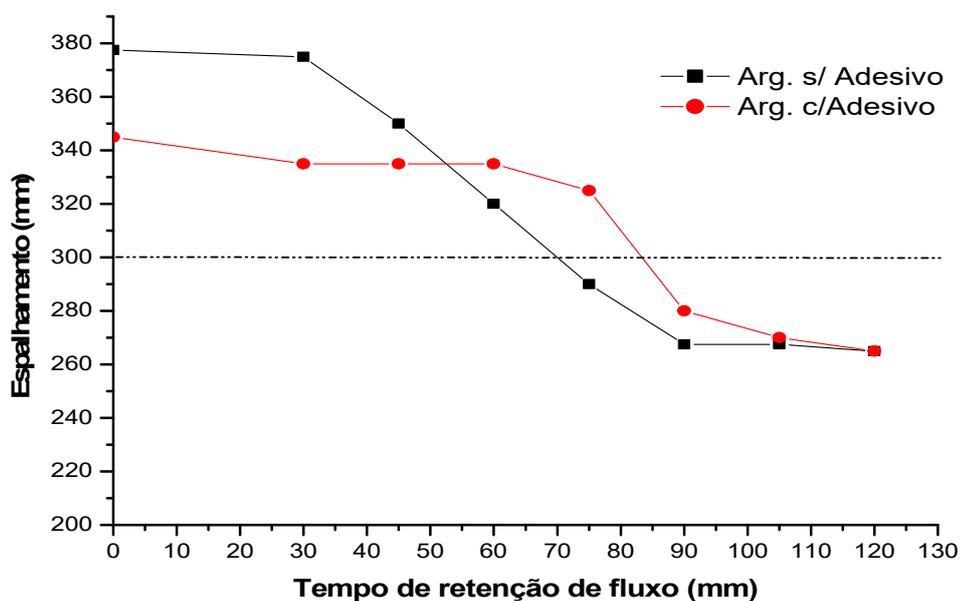
6.3.1. Ensaio no Estado Fresco

6.3.1.1. Ensaio de consistência

Os resultados de consistência e tempo de retenção de fluxo das argamassas com e sem adesivo são mostradas na Figura 47. A argamassa sem adesivo apresentou um valor de espalhamento superior ao da argamassa com adesivo, 377,5 mm em comparação a 345 mm. Do & Soh (2003) também observaram que a consistência de argamassa autonivelante decresce com o aumento do teor de SBR.

Na argamassa com adesivo se observou um tempo de retenção de fluxo superior ao da argamassa sem adesivo, com uma consistência autoadensável até aproximadamente 85 minutos. Houve também uma tendência de uma retenção de fluxo até 75 minutos, com valores de espalhamento de 325 mm.

Figura 47 - Gráfico da retenção de fluxo das argamassas com e sem adesivo.



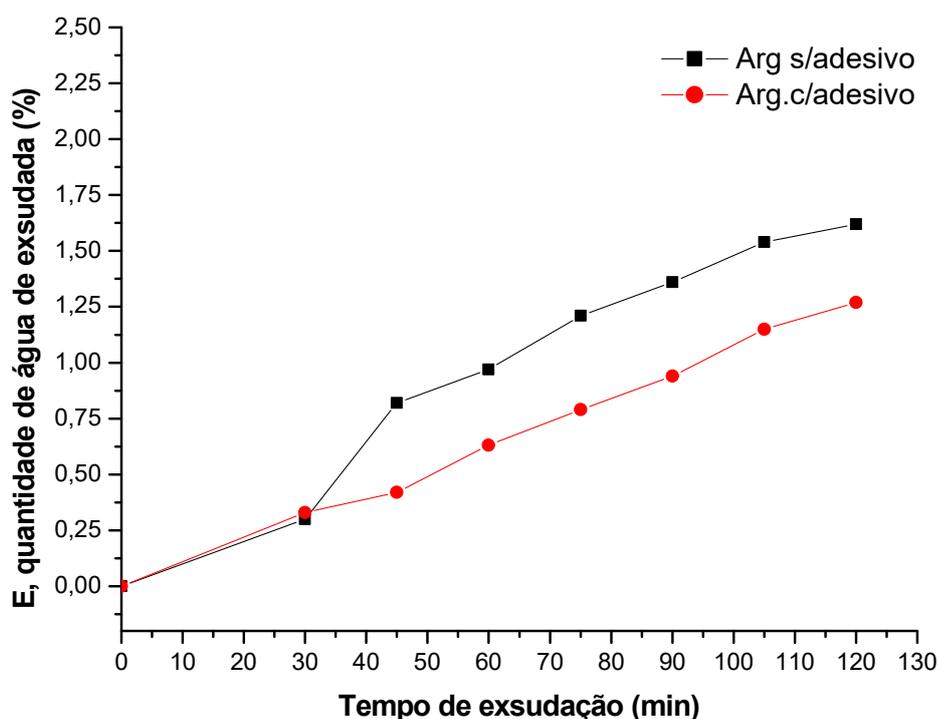
Na argamassa sem adesivo, a permanência dos valores de retenção de fluxo foi inferior ao da argamassa com adesivo, se mantendo constante apenas até 30 minutos, com valor de espalhamento de 375 mm. Após os 30 minutos, a argamassa sem adesivo apresentou uma tendência de perda de retenção de fluxo com o passar do tempo, com perda acentuada de trabalhabilidade. Contudo, até os 70 minutos seu espalhamento foi de 300 mm, limite considerado autoadensável.

Os dois traços, com e sem adesivo, apresentaram resultados de tempo de retenção de fluxo satisfatórios do ponto de vista de aplicabilidade na obra. Entretanto, a incorporação do aditivo adesivo à argamassa autonivelante ocasionou um retardo na hidratação do cimento, prolongando o tempo de aplicabilidade da argamassa, o que é favorável.

6.3.1.2. Quantidade de água exsudada

Os resultados obtidos no ensaio de exsudação estão expressos pelo percentual de água exsudada (E %) em um determinado intervalo de tempo como mostra a Figura 48.

Figura 48 - Gráfico da quantidade de água exsudada.



Ambas as argamassas, com e sem adesivo, apresentaram resultados satisfatórios, com quantidades de água acumulada de 1,27% e 1,62%, respectivamente ao final de 120 minutos.

Essas argamassas apresentaram baixa exsudação e inexistência de segregação em razão do alto teor de finos e uso moderado de aditivo espessante HEC. No caso da argamassa com adesivo, a quantidade de água exsudada foi ligeiramente inferior, possivelmente em razão da quantidade total de água empregada ter sido inferior ao da argamassa sem adesivo, visto que o aditivo adesivo substituiu em 25% o total da água empregada no traço e possui um teor de sólidos de 40%.

A respeito da argamassa sem adesivo, os resultados de quantidade de água exsudada acumulada variaram de 1,15% na primeira etapa a 1,62% na terceira etapa. Essa variação demonstra a sensibilidade deste tipo de argamassa a pequenas variações na composição e característica dos materiais constituintes.

6.3.1.3. Densidade de massa e ar incorporado

A Tabela 19 apresenta os valores obtidos para densidade de massa e ar incorporado.

Tabela 19 - Valores de densidade de massa e teor de ar incorporado.

Traço	Densidade de massa aparente no estado fresco	Ar incorporado
Sem adesivo	2,119 g/cm ³	1,20%
Com adesivo	2,098 g/cm ³	1,80%

Os resultados encontrados para densidade de massa foram de 2,098 a 2,119g/cm³, que são valores elevados quando comparado com os resultados encontrados na literatura. Barluenga & Olivares, (2010) obteve 1,8 g/cm³, Rubim, (2015) 1,7 g/cm³, Araujo (2015) 2,21 g/cm³, Do & Soh (2003) 1,55 g/cm³. Acredita-se que estes valores elevados sejam em decorrência dos baixos percentuais de ar incorporado, entre 1,2% e 1,8%.

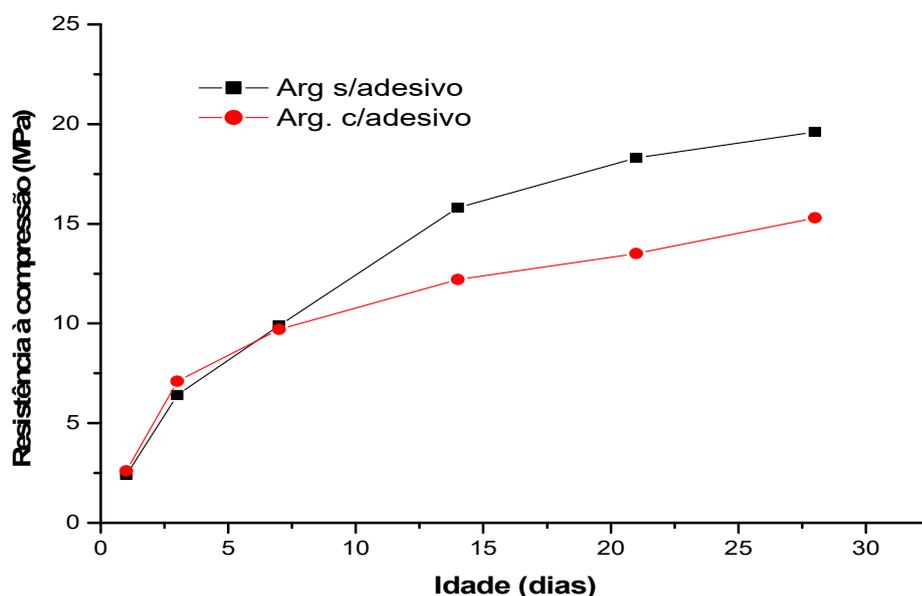
Ao contrário do que se esperava, os teores de ar incorporado foram baixos, apesar do uso do HEC. Brea *et al.* afirmam que quanto maior a atividade superficial dos éteres de celulose, maior será a incorporação de ar e menor será a densidade. No caso específico desta pesquisa, foi empregada HEC de baixa viscosidade, com menor atividade superficial, o que pode ter contribuído para os menores valores de ar incorporado.

6.3.2. Ensaio no estado endurecido

6.3.2.1. Resistência à compressão axial

Os resultados de resistência à compressão são mostrados na Figura 49. As argamassas sem adesivo apresentaram uma resistência superior as argamassas com adesivo a partir dos 14 dias de idade. A argamassa sem adesivo alcançou valores de resistência a compressão de 19,6 MPa ao passo que as argamassas com adesivo apresentaram resistência à compressão de 15 MPa aos 28 dias. Possivelmente isto se deve ao fato do polímero ter ocasionado um retardo na hidratação do cimento, conforme visto no tempo de retenção de fluxo, além também da maior incorporação de ar, o que pode ter provocado a diminuição da resistência a compressão axial.

Figura 49 - Resistência de compressão axial.



6.3.2.2. Resistência de aderência à tração

As Tabelas 20 e 21 mostram os valores de resistência a aderência a tração axial para as argamassas com e sem adesivo.

Tabela 20 - Resistência de aderência à tração do traço com adesivo.

CP	CARGA Mpa	OBSERVAÇÃO
1		SEM CARGA
2	1,20	ROMPEU NA ARGAMASSA
3	1,30	ROMPEU NA INTERFACE
4	0,80	ROMPEU NA INTERFACE
5	1,28	ROMPEU NA ARGAMASSA
6	1,00	ROMPEU NA INTERFACE
7	1,28	ROMPEU NA INTERFACE
8	1,65	ROMPEU NA INTERFACE
9	1,17	ROMPEU NA INTERFACE
10	1,36	ROMPEU NA INTERFACE
11	1,57	ROMPEU NA INTERFACE
Média	1,26	
Desvio Padrão	0,25	

Tabela 21 - Resistência de aderência à tração do traço sem adesivo.

CP	CARGA Mpa	OBSERVAÇÃO
1		SEM CARGA
2	1,12	ROMPEU NA INTERFACE
3	0,89	ROMPEU NA INTERFACE
4	1,30	ROMPEU NA ARGAMASSA
5	1,28	ROMPEU NA INTERFACE
6	0,96	ROMPEU NA INTERFACE
7	0,86	ROMPEU NA INTERFACE
8	0,65	ROMPEU NA INTERFACE
9		SEM CARGA
Média	1,01	
Desvio Padrão	0,24	

Os resultados das argamassas com e sem adesivo apresentaram valores elevados, entre 1 MPa e 1,65 MPa, superiores ao limite mínimo prescrito pela EFNARC (2002). A configuração de ruptura, na sua maioria, ocorreu na interface entre argamassa e substrato, comportamento semelhante para ambas as argamassas.

A argamassa com polímero apresentou uma resistência de aderência a tração ligeiramente superior a argamassa sem polímero, fato este atribuído a formação de uma película termoplástica na emulsão do polímero (SBR), aumentando a adesão ao substrato. Do & Soh (2003) obtiveram para argamassas autonivelantes modificadas com polímero SBR com resistência de aderência a tração entre 1,5 e 1,7 MPa. A diferença de resistência de aderência a tração do trabalho destes autores para a presente pesquisa se deve às diferenças de relação água/ cimento das argamassas. Nas argamassas modificadas por polímeros dos autores, a relação água/cimento variou de 0,56 a 0,80, enquanto que nesta pesquisa foi fixada em 0,89.

6.3.3. Conclusão da Terceira Etapa

A argamassa com adesivo apresentou melhores resultados tanto em termos de menor exsudação, maior tempo de retenção fluxo e maior resistência de aderência à tração e a argamassa sem adesivo apresentou melhor resistência à compressão axial aos 28 dias e menor quantidade de ar incorporado. No entanto, as diferenças entre os valores obtidos com as duas argamassas não foram significativas, dentro dos parâmetros mínimos exigidos, sendo assim foi escolhida a argamassa sem adesivo pelo custo que o uso deste polímero acresceria no valor final desta formulação.

6.4. Quarta Etapa – Ensaio no campo

6.4.1. Ensaio no estado fresco

6.4.1.1. Consistência, retenção de fluxo e exsudação

A Tabela 22 mostra os valores de espalhamento da argamassa autonivelante produzida no central de concreto no momento da dosagem e no lançamento. A argamassa se mostrou adequada do ponto de vista das propriedades reológicas, ou seja, sem segregação e exsudação. Durante quase todo processo de lançamento da argamassa, a consistência se manteve autonivelante, mesmo com o processo de lançamento ter sido demorado, por meio de carros de transporte através do elevador da obra. Ao final dos 70 minutos é que a argamassa iniciou o processo de perda de consistência.

Tabela 22 - Dados obtidos no ensaio no campo.

Traço	Slump flow inicial (cm)	Slump flow lançamento (cm)	mini slump (cm)
Campo	91 x 89	86 x 84	33 x 35

6.4.1. Ensaio no estado endurecido

6.4.1.1. Retração e resistência à compressão axial

A argamassa autonivelante apresentou resistências elevadas aos 7 dias e aos 28 dias em torno de 16 MPa e 20 MPa, conforme Tabela 23, respectivamente. Apresentou boa estabilidade dimensional, ou seja, não ocorreu retração, mesmo com a situação desfavorável da espessura do contrapiso de 10 cm. É válido ressaltar que quanto maior a espessura do contrapiso, maior a tendência à retração linear.

Tabela 23 - Valores da resistência à compressão axial obtida na obra.

Traço	Resistência a compressão axial (Mpa)	
	7 dias	28 dias
Campo	15,64	21,6

6.4.1.2. Ensaio de Impacto acústico sobre piso

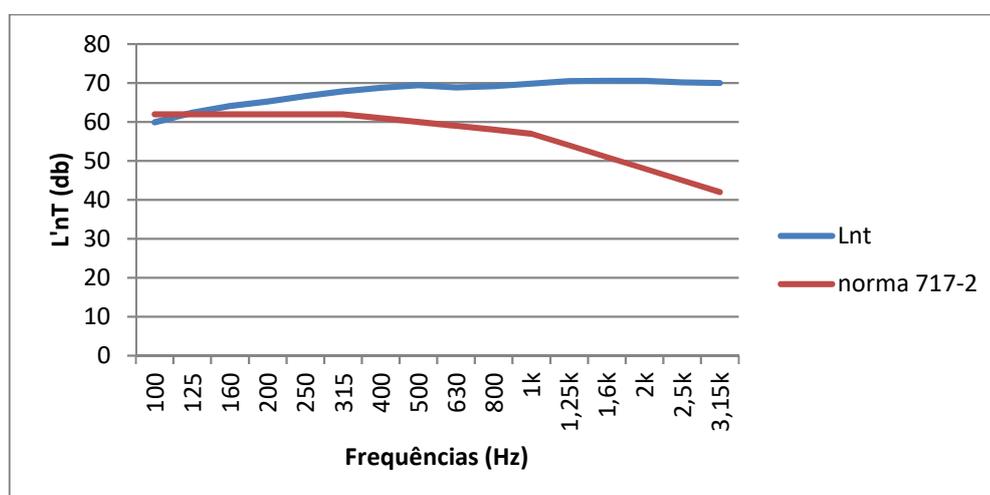
Os resultados gerais apresentados nesta pesquisa estão expressos na Tabela 24. Comparando os valores das curvas do NPS normalizado calculado, do NPS dado pela norma 712-2 e NPS normalizado, obtêm-se o gráfico mostrado na Figura 49.

Tabela 24 – Resultados de ensaio de impacto acústico sobre piso

Frequência	Limedio	TRmedio	Nível de ruído ambiente	Norma ISO 717-2	L'nT	Correção	DIF
100	68	4	52	62	60	78	-18
125	71	4	54	62	62	78	-16
160	72	3	54	62	64	78	-14
200	73	3	53	62	65	78	-13
250	74	3	56	62	67	78	-11
315	75	2	57	62	68	78	-10
400	75	2	58	61	69	77	-8
500	76	2	55	60	69	76	-7
630	75	2	55	59	69	75	-6
800	75	2	51	58	69	74	-5
1k	75	2	46	57	70	73	-3
1,25k	75	1	44	54	70	70	0
1,6k	75	1	40	51	71	67	4
2k	74	1	35	48	71	64	7
2,5k	73	1	34	45	70	61	9
3,15k	73	1	34	42	70	58	12

Fonte: a autora

Figura 49 - Gráfico das curvas L'nT x NPS norma 717-2.

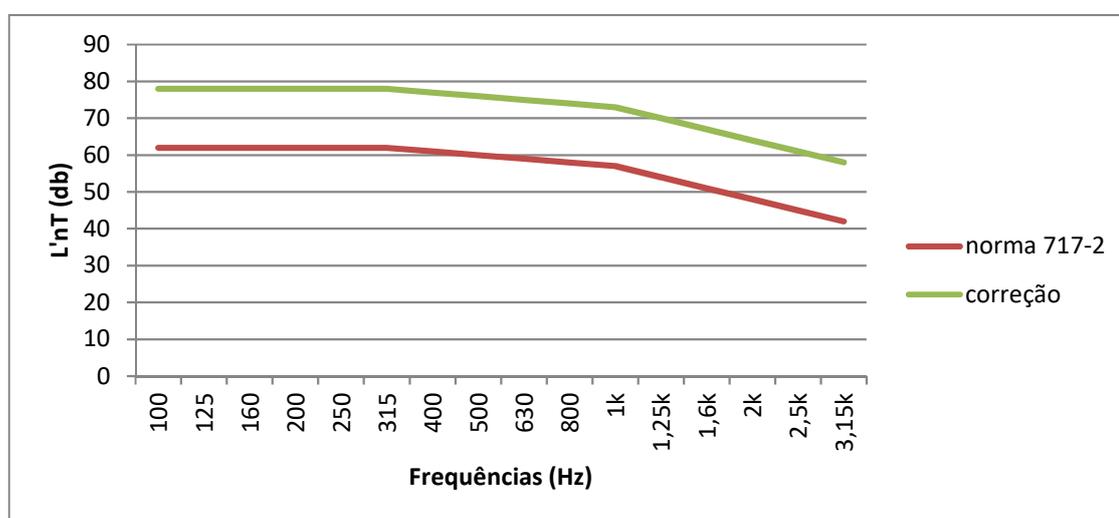


Fonte: a autora

Como podemos notar na Tabela 24 e também no gráfico da Figura 49, existem muitos valores desfavoráveis, ou seja, valores acima da curva da norma 717-2.

Para fazer esta correção é necessário fazer um incremento nos valores da norma em todas as frequências de 1 em 1 dB até que a soma dos valores desfavoráveis seja no máximo 32 dB. Uma nova curva é obtida em relação à curva da norma como podemos observar na Figura 50.

Figura 50 - Gráfico comparativo entre a norma 717-2 e os valores de norma corrigidos.



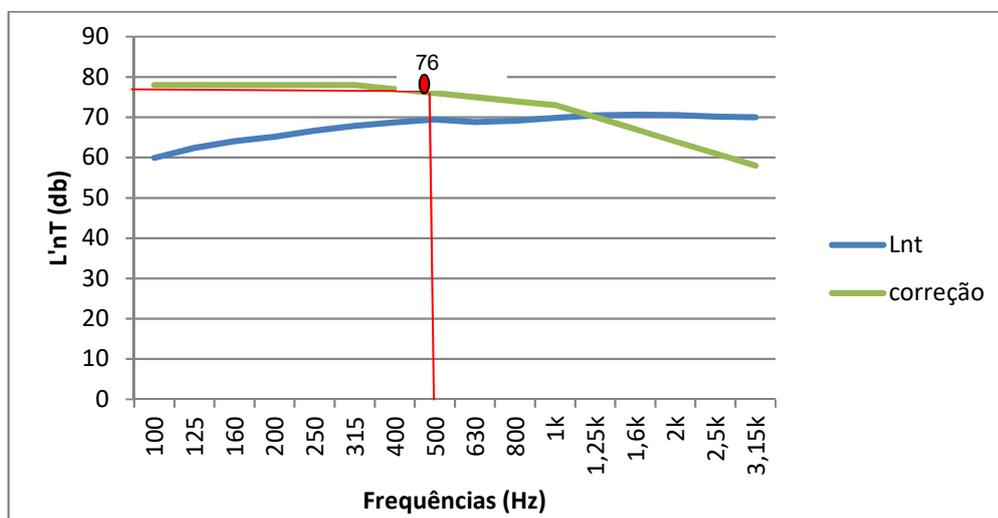
Fonte: a autora

Após a correção, é necessário comparar novamente os valores de L'nT e a nova curva da norma corrigida, como podemos observar Figura 51, sendo que é possível verificar que os valores acima da curva foram reduzidos e que a soma dos mesmos é igual a 32. Na Tabela 24 os valores considerados desfavoráveis são os valores positivos da diferença entre os valores do NPS normalizado e os valores da norma 717-2 corrigidos (nesta ordem).

Soma dos valores desfavoráveis = $0 + 4 + 7 + 9 + 12 = 32$.

Para obter o NPS de impacto padrão ponderado deve-se erguer uma paralela ao eixo das NPS na frequência de 500 Hz até encontrar a curva da norma corrigida. Como pode ser observado na Figura 51, o valor obtido para o NPS de impacto padrão ponderado é 76 dB.

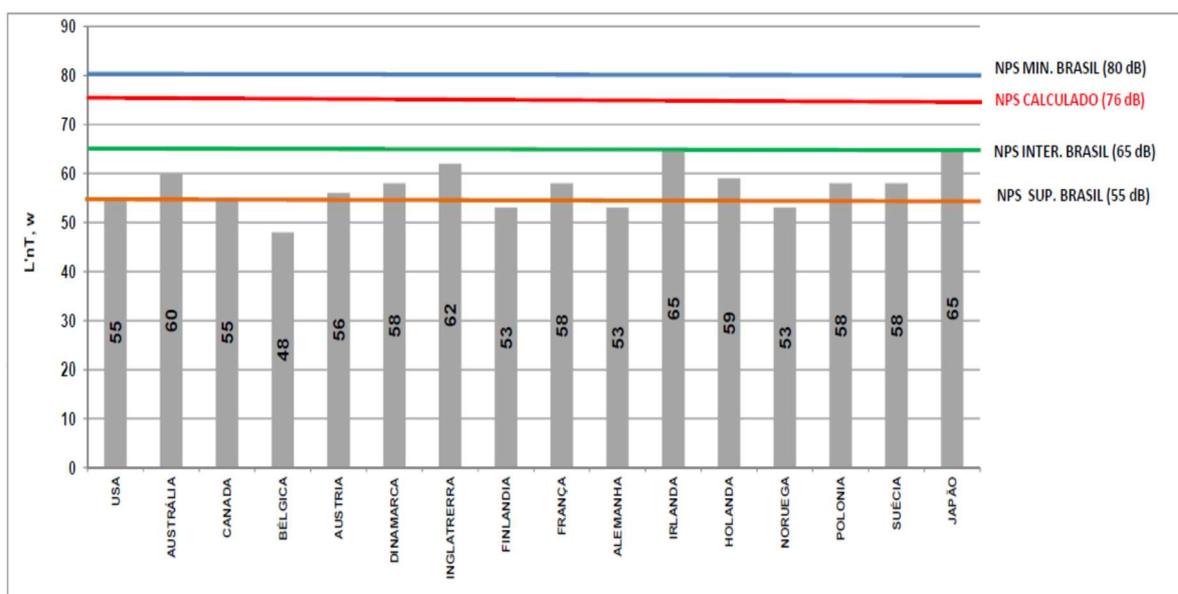
Figura 51 - Gráfico comparativo entre curva da norma corrigida e o NPS de impacto normalizado.



Fonte: a autora

A partir do resultado obtido traçamos um comparativo do valor obtido no ensaio de impacto sobre piso realizado com os valores máximos de NPS permitidos em outros países Tabela 4 pagina 42 e com o intervalo de valores máximos, intermediários e mínimos permitido no Brasil conforme Figura 52:

Figura 52 - Gráfico comparativo de NPS.



Fonte: adaptado de Resende et al. (2014).

O valor obtido de 76 dB para nível de pressão de impacto padrão ponderado está dentro do limite mínimo permitido para sistemas de piso que separam unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos (≤ 80 dB). Entretanto, muito acima dos limites intermediários (65 dB) e superior (55 dB) e também não atende ao limite mínimo de nenhum outro país listado.

Vale ressaltar ainda que as medidas foram tomadas com o contrapiso em estado natural, sem a colocação do piso acabado; as esquadrias definitivas e o forro também não estavam colocados. Portanto a probabilidade de que este valor seja alterado para um valor menor é bem grande, porém vai depender do acabamento que será dado ao ambiente.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final desta pesquisa é importante salientar que todos os objetivos gerais e específicos da mesma foram alcançados.

Na primeira etapa que determinou o traço inicial da pesquisa verificou-se que o traço B SF foi o que melhor atendeu às características reológicas do contrapiso autonivelante, com reduzida exsudação, espalhamento e tempo de retenção de fluxo dentro do limite do valor mínimo esperado, resistência à compressão inicial com valores que permitem a rápida liberação dos ambientes e consumo de cimento dentro da norma EFNARC (2002).

Na segunda etapa da pesquisa foram testadas três dosagens deste material e concluiu-se que o traço com aditivo expensor de 3,63% foi o que apresentou melhores resultados. O espalhamento ficou dentro do valor mínimo esperado de 300 mm, a exsudação praticamente nula e a resistência à compressão axial nas primeiras 24 horas foi de 6 MPa, além de apresentar uma retração linear menor em 7 dias, ambas dentro do valor preconizado pela literatura.

Na terceira etapa, a argamassa com adesivo apresentou melhores resultados tanto em termos de menor exsudação, maior tempo de retenção de fluxo e maior resistência de aderência à tração e a argamassa sem adesivo apresentou melhor resistência à compressão axial aos 28 dias e menor quantidade de ar incorporado. No entanto, as diferenças entre os valores obtidos com as duas argamassas não foram significativas e dentro dos parâmetros mínimos exigidos. Sendo assim, foi escolhida a argamassa sem adesivo pelo menor custo no valor final desta formulação.

A quarta e última etapa foi o lançamento do contrapiso autonivelante em local pré-definido disponibilizado por uma construtora para avaliação do ruído de impacto. O traço utilizado foi o B SF com 3.63% de expensor sem adesivo (SBR). O referido traço não apresentou grandes alterações durante todo o processo, também não apresentou fissuras oriundas de retração por secagem e obteve valores de resistência à compressão axial dentro dos padrões exigidos pela EFNARC (2002). O resultado da análise de desempenho acústico de impacto sobre piso, obtido 28 dias após a cura do contrapiso, demonstrou que o mesmo atendeu ao valor mínimo preconizado pela NRB 15.575/2003.

Como o ensaio de impacto sobre piso foi realizado com fechamento improvisado e sem o acabamento final do ambiente, considera-se que o contrapiso autonivelante atenderá de forma efetiva as recomendações da NBR 15575/2003 quanto ao desempenho acústico se o projeto arquitetônico e os elementos construtivos, tais como, materiais de vedação (materiais das portas e janelas) e acabamentos (paredes, pisos e forro), satisfaçam os requisitos definidos pela referida norma de desempenho.

Em suma, obteve-se uma formulação de argamassa autonivelante com propriedades satisfatórias para atendimento tanto como contrapiso aderido como não aderido. Os problemas de fissuração por retração, perda de aderência ou pulverulência da superfície foram solucionados. Entretanto, são necessários estudos mais aprofundados a respeito da retração por secagem, de otimização da dosagem e levantamento de custos comparativos com o contrapiso tipo “farofa”.

7.1. Sugestão para trabalhos futuros

- Investigar a argamassa autonivelante nesta dosagem, porém com outros tipos de cimento e com outros percentuais de celulose.
- Estudo das propriedades reológicas da argamassa autonivelante através do reômetro.
- Realizar estudos mais aprofundados de retração por secagem e retração autógena.
- Estudo comparativo do ensaio acústico de impacto para contrapiso tipo farofa e autonivelante aderido e flutuante.

8. REFERÊNCIAS

ALIMOV, Lev; KHARCHENKO, Igor; VORONIN, Viktor. Self-compacting fine-grained concretes with compensated shrinkage. MATEC - Web of Conferences - XXVI R-S-P Seminar 2017, Theoretical Foundation of Civil Engineering. Moscou – Rússia.

ARAUJO, TOMAZ R. de; ANJOS, M. A. S. dos; MARTINELLI, A. E.; FARIAS E. C. de; SILVA, C. R. F. da; GOMES, V. L. de L. Efeitos da Incorporação do Fíler Calcário e do Resíduo da Biomassa da Cana-de-açúcar em Argamassas Autonivelantes – XI SBTA – Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Porto Alegre – RS / 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738. Concreto Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5739. Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 7211. Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 9935. Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 10151. Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

_____. NBR 12179. Tratamento Acústico em Recinto Fechado. Rio de Janeiro, 1992.

_____. NBR 13276. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 13278 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13279. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e compressão - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13528. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 15261. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 15558. Concreto – Determinação da Exsudação. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15575. Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15575. Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15823-2 – Concreto autoadensável - Parte 2. Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual – Método do Cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2017.

_____. NM 47 – Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco – Método Pressométrico. Rio de Janeiro, 2000.

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

BARLUENGA, G. e OLIVARES, F. H. Self-levelling cement mortar containing grounded slate from quarrying waste. *Construction and Building Materials*, v.24, p.1601–1607, 2010.

BARROS, M. M. S. B; SABBATINI, F. H. Tecnologia de produção de contrapiso para edifícios habitacionais e comerciais. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1991.

BREA, F. M.; GUIMARÃES, M. B.; SILVA, C. - Influência dos diversos tipos de éteres de celulose nas propriedades das argamassas colantes – VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas – Curitiba/PR – 2009.

CARASEK, H; CASCUDO, O; SCARTEZINI, L. M. Importância dos Materiais na Aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. Anais. Brasília: PECC ANTAC, 2001. p. 43-67.

CARVALHO, H. D. S. Análise da Retração por Secagem em Argamassas Autonivelantes Utilizando Adições Mineraias Como Substitutos Parciais do Cimento Portland. Dissertação de Mestrado. Florianópolis - UFSC, 2015.

CASTRO, A. L. de; QUARCIONI V. A. Aditivos ao cimento – Soluções |Inovadoras - revista notícias da construção. Agosto 2013 pg. 45.

CATAI, Rodrigo; PENTEADO, A. P.; DALBELLO, Paula F. Materiais, Técnicas e Processos para Isolamento Acústico. 17º CBECMAT- Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu-PR, Brasil, 2006.

CORSINI, Rodnei. Soluções Técnicas: Contrapiso Autonivelante. Revista Infraestrutura Urbana, Ed 49. Editora PINI. SÃO Paulo, julho de 2015.

CICHINELLI, Gisele. Contrapiso. Revista Técnica, ed. 1. Editora PINI. São Paulo. Março, 2006.

DIN 18560 - Floor screeds in building construction – Part 2: Floor screeds and heating floor screeds on insulation layers. Alemanha, 1981.

DO, J.; SOH, Y. Performance of polymer-modified self-leveling mortars with high polymer–cement ratio for floor finishing. Department of Architecture, College of Engineering, Chonbuk National University, Chonju 561-756, South Korea. November, 2002.

EGLE, T. Contrapiso Autonivelante. Revista Técnica, Ed. 164. Editora PINI. São Paulo. Novembro, 2010.

ELDER, A. J.; VANDENBERG, M. Construcción: Manuales AJ. Madrid: H Blume, 1977 p 280-341.

EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS (EFNARC). Specification and guidelines for self compacting concrete. Fevereiro, 2002. 12p.

FELEKOĞLU, B. *et al.* The effect of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self-compacting repair mortars. **Cement and Concrete Research**. V. 36. pag. 1719–1726, 2006.

FERRARI, L.; KAUFMANN, J.; WINNEFELD, F.; PLANK, J. Interaction of cement model systems with superplasticizers investigated by atomic force microscopy, zeta potential, and adsorption measurements. *Journal of Colloid Interface Science*, v.347, p. 15-24, 2010.

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

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

GASPARO, A. de; Herwegh M.; Zurbriggen R.; Scrivener K. Quantitative distribution patterns of additives in self-leveling flooring compounds (underlayments) as function

of application, formulation and climatic conditions. **Cement and Concrete Research**. 2008.

GEORGIN, J.F.; AMBROISE, J.; PÉRA, J.; REYNOUARD, J.M. Development of self-leveling screed based on calcium sulfoaluminate cement: Modelling of curling due to drying. **Cement & Concrete Composites**, v.30, p. 769-778, 2008.

GODOY E. H. P. de; BARROS, M. M. S. B. de B. Diretrizes para produção de contrapisos estanques // **Botelim Técnico USP**. - São Paulo: [s.n.], 2000.

GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. Métodos de dosagem de concreto autoadensável [Livro]. - São Paulo _ Pini, 2009.

GRDIĆ, Z.; DESPOTOVIĆ, I.; ĆURČIĆ, G. T. Properties Of Self-Compacting Concrete With Different Types Of Additives. *Facta Universitatis - series Architecture and Civil Engineering*. Vol. 6, No 2, 2008, pp. 173 - 177 · January 2008.

HEINEN, S. K.; SCAHEFER, C. O.; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. Desenvolvimento de argamassas autonivelantes a partir do resíduo industrial fosfagesso - XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Juiz de Fora - MG – p. 2963-2972 - MG, 2012.

ISO 140 - Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – 2005.

ISO 354 - Acoustics -- Measurement of sound absorption in a reverberation room – 2003.

ISO 717 – Fittings made from unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC – C) or acrylonitrile / butadiene / styrene (ABS with plain sockets for pipes under pressure – Part 2: Inch-based series. 2005

ISO 10140 – 3 – Acoustics – Laboratory Measurement of sound insulation of building elements – Part 3: Measurement of impact sound insulation.

ISO 10140 – 5 - Acoustics – Laboratory Measurement of sound insulation of building elements – Part 5 : Requirements for test facilities and equipment.

ISO 10052 – Acoustics – Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound – Survey method – 2004.

ISO 16.283. Acoustics – Field Measurements of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements – part 2: Impact Sound Insulation – 2015.

JAWAHAR J. G.; PETER J. A. Optimization of Superplasticiser and Viscosity Modifying Agents in Self Compacting Mortar. Asian Journal of civil engineering. Fevereiro, 2013.

JEON, J.Y.; JEONG H.; SEO S. H. Heavy-Weight Floor Impact Sound In Reinforced Concrete Structures. Proceedings of Acoustics 2004. Gold Coast – Australia, 2004.

JONES, D. Acoustical noise control. In: BALLOU, G. (Ed.). Handbook for sound engineers. Oxford:Taylor & Francis, 2008. p. 65–94.

KATSIADRAMIS, A.B.; SOTIROPOULOU; PANDERMARAKIS, Z.G. Rheological and Mechanical Response Modifications for a Self-Leveling Mortar. EPJ Web of Conferences 6, 23002, 2010.

LIBRE, N.A.; KHOSHNAZAR, R.; SHEKARCHI, M. Relationship between fluidity and stability of self-consolidating mortar incorporating chemical and mineral admixtures. Construction and Building Materials, v. 24, p. 1262-1271, 2010.

MANSUR, Alexandra A. P., NASCIMENTO, Otávio L. do, MANSUR, Herman S. Avaliação do teor de ar incorporado em argamassas modificadas com poli (álcool vinílico). 9º Congresso Brasileiro de Polímeros, João Pessoa, PB, 2007.

MARTINS, E. Procedimento para Dosagem de Pastas para Argamassa Auto-Nivelante. Dissertação de Mestrado. Curitiba, 2009.

MARTINS, M. L.; PICANÇO, M. de S.; LIMA, J.; CARNEIRO, A. M. P. A Influência do uso de Aditivos Redutores de Água de Amassamento em Argamassas de Cimento e Areia para Concretos da Cidade de Belém/PA. Departamento de Construção Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, UFPA, Belém/PA, 2002.

MEHTA PK. Pouzzolanes naturelles. In: Matériaux complémentaires en cimentation. CANMET; 1987. p. 3–38.

MELO, K. A. Contribuição à dosagem de concreto autoadensável com adição de filer calcário. Florianópolis, 2005. 183p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - PPGEC – Universidade Federal de Santa Catarina.

MELO NETO, A. A. de; CINCOTTO M. A.; REPETTE, W. L. Efeito do aditivo compensador de retração (SCA) no cimento Portland de alta resistência inicial. Anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto. CBC 2007.

NAKAMURA, J. - Aditivos e adições - Componentes permitiram a produção de concretos mais duráveis, resistentes, fluidos e sustentáveis. Mas isso não significa que sejam soluções para todos os problemas. Revista Techné – Edição 150 – Editora Pinni – Setembro 2009.

NAKAKURA, E. H.; BUCHER, H. R. E. Pisos autonivelantes: Propriedades e instalações. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador, 1997.

NUNES, M.F.O.; ZINI, A; PAGNUSSAT, D.T. Desempenho Acústico de Sistema de Pisos – Estudo de Caso Para Isolamento ao Ruído Aéreo e de Impacto. Revista da Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC) N°46 /2014 - Laboratório de Tecnologia Construtiva, Universidade de Caxias do Sul.

OLIVEIRA, J. Estudo das propriedades de argamassas colantes submetidas à saturação e secagem. Universidade Federal de Santa Catarina Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil –PPGEC. Florianópolis, 2004.

OLIVEIRA, A. L.; CORREA, B. P.; RIBEIRO, I. F. R.; SOUZA, R. A.; CALÇADA, L. M. L. Influência do uso de aditivo retentor de água à base de éter de celulose nas propriedades das argamassas de assentamento em alvenaria estrutural de blocos de concreto. *Revista Ambiente construído*, Porto Alegre, v.15, n 3, p 57-69, jul./set. 2015.

ORTEGA, A. G. Mortero Autonivelante – III Jornada Iberoamericana de Materiales de Construccion. San Juan, 2003.

PEINADO, Hugo S. Execução de Contrapiso Autonivelante sobre Manta acústica. *Revista Técnica*, Ed. 209. Editora PINI. São Paulo – Agosto 2014.

PÉRA, J.; AMBROISE, J. New applications of calcium sulfoaluminate cement. **Cement and Concrete Research**, v.34, p. 671-676, 2004.

PIERRARD, J. F.; AKKERMAN, D. Manual PróAcústica sobre a Norma de Desempenho - Rush Gráfica e Editora Ltda - 2013

PYE, PW BRE. Screed Tester Classification Of Screeds, Sampling And Acceptance Limits. BRE Information Paper, Garston n11, 1984.

RASMUSSEN, B.; RINDEL, J. H. Concepts for evaluation of sound insulation of dwellings - from chaos to consensus? Present standardized concepts and overall suitability. Overview field concepts. p. 1–12, 2004.

REPETTE, W. L. Concretos de Última Geração: Presente e Futuro. In: **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações** / ed. G. C. Isaia. Vol. 2. São Paulo: IBRACON, 2005.

REZENDE, J. B., RODRIGUES, F. C.; VECCI, M. A. M. Uma análise de critérios desempenho acústico para sistema de piso em edificação. SIMMEC/ EMMCOMP 2014. XI Simpósio de Mecânica computacional. Juiz de Fora – MG.

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

RODRIGUES, P. P. F. Aditivos Expansores á base de oxido de cálcio supercalcinado. Boletim Anapre ano 10, nº 54, pag4, julho-agosto 2016.

RUBIN, A. P. Argamassas Autonivelantes Industrializadas para Contrapiso: Análise do Desempenho Físico-Mecânico Frente às Argamassas Dosadas em Obra - Dissertação de mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, maio/ 2015.

SAHMARAN, M.; CHRISTIANTO, H.A.; YAMAN, I.O. The effect of chemical admixtures and mineral additives on properties of self-compacting mortars. **Cement & Concrete Composites**, v. 28, p. 432-440, 2006.

SANTOS, H. M. B. dos; SILVA, V. S. Contrapiso Autonivelante: Diretrizes Para Execução. Premio Inovações Produtividade e Empreendedorismo na Engenharia Civil – Melhores de 2013. Universidade Federal da Bahia, 2013.

SAHMARAN, M.; CHRISTIANTO, H.A.; YAMAN, I.O. The effect of chemical admixtures and mineral additives on properties of self-compacting mortars. **Cement & Concrete Composites**, v. 28, p. 432-440, 2006.

SATO, S.; JEON, J. Y. Similarity Tests of Floor Impact Sounds In Relation to the Factors of Autocorrelation And Interaural Cross-Correlation Functions. WESPAC IX . The 9th Wester Pacific Acoustics Conference. Seoul, Korea, 2006.

SCHOENWALD, S.; NIGHTINGALE, T.RT; ZEITLER, B.; KING, F. Approaches for estimating flanking transmission for heavy impact sources. InterNoise 2010, Lisboa – Portugal . PP. 1-10.

SILVA, N. G. da. Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica. Tese de doutorado Florianópolis, SC, 2011.

SILVA, Sarah H. L. da. Desenvolvimento de formulações de argamassas autonivelantes para pisos e avaliação da retração por secagem– Curitiba, 2016.

SOUZA, Andréa R. Retração em concreto autoadensável: contribuição de produtos mitigadores. Dissertação de Mestrado – UFPR - Pato Branco – 2016.

SOUZA, Natália Cerqueira de. Análise de Desempenho do Contrapiso Autonivelante em Relação ao Sistema Tradicional // Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte/2013.

SOUZA, R. de; MEKBEKIAN, G.; SILVA, M. A. C.; LEITÃO, A. C. M. T.; SANTOS, M. M. dos. Sistema de Gestão da Qualidade para Empresas Construtoras. São Paulo: Editora Pini 1995.

SOUZA, R. de; TAMAKI, M. R. Gestão de Materiais de Construção. São Paulo: Editora O Nome da Rosa, 2004.

SOUZA, U. E. L. de. Como evitar desperdício de argamassa na execução de contrapisos. Equipe de obra ed. 12 - PINI, Julho de 2007.
<http://www.equipedebra.com.br/construcao-reforma/12/artigo56461-1.asp>.

THOMAZ, E. Tecnologia, Gerenciamento e Qualidade na Construção. São Paulo, Editora PINI, 2001.

TUTIKIAN, Bernardo F. e DAL MOLIN Denise C. Concreto autoadensável - São Paulo: Pini, 2008.

YE, G.; LIU, X.; SCHUTTER, G. De; POPPE, L. A.M.; TAERWE, L. Influence of limestone powder used as filler in SCC on hydration and microstructure of cement pastes. Science Direct - Cement & Concrete Composites 29 (2007) 94–102.
posites 29 (2007) 94–102.