



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**VIABILIZAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL PELO PÓ
DE PEDRA BASÁLTICA NA ARGAMASSA AUTONIVELANTE**

Adriano Inéia

Lajeado, junho de 2017

Adriano Inéia

**VIABILIZAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL PELO PÓ
DE PEDRA BASÁLTICA NA ARGAMASSA AUTONIVELANTE**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Márlon Augusto Longhi

Lajeado, junho de 2017

RESUMO

A industrialização e a modernização do sistema construtivo atual é muito competitiva. Portanto, a busca por maior produtividade, em menos tempo e qualidade superior se tornaram parâmetros para as construtoras atenderem para se manterem no mercado. Por isso, os produtos inovadores ganham um apreço maior por serem na maioria das vezes mais produtivo e qualitativo. Dentre estes materiais que necessitam de inovação podemos destacar a argamassa autonivelante que utiliza areia natural em sua composição, portanto a proposta do presente trabalho é testar e validar a viabilidade da substituição da areia por pó de pedra basáltica. A principal característica dessa argamassa é a fluidez que espalha e se compacta por efeito da gravidade, e se auto-adensa sem segregar. Essa mistura quando bem efetuada confere planeza, produtividade elevada e maior qualidade. A proposta do estudo é analisar, via ensaios laboratoriais o desempenho e comportamento físico-mecânico da argamassa autonivelante com diferentes porcentagens de pó de pedra de basáltica (25, 50, 75 e 100%). O plano de fundo deste estudo é incentivar o uso do pó de pedra basáltica, na argamassa autonivelante, como alternativa de substituição da areia natural, devido ao transporte com preço elevado pela distância e questões ambientais.

Palavra-chave: argamassa autonivelante, argamassa autoadensável, contrapiso e pó de pedra.

ABSTRACT

The industrialization and the modernization of the current construction system is very competitive. Therefore, the search for higher productivity in less time and better quality have become parameters for the builders to meet and stay in the market. This is why the innovative products gain a greater appreciation for being most of times more productive and qualitative. Among these materials that need innovation we can highlight the self-leveling mortar, which uses natural sand in its composition, therefore the proposal of the present work is to test and to validate the viability of the substitution of the sand by powder basaltic stone powder. The main characteristic of this mortar is the fluidity that spreads and compacts by gravity, and self-dense without to segregating. This mixture when well done, provides flatness, high productivity and higher quality. The proposal of the study is to analyze by means of laboratory tests the performance and physical behavior of the self-leveling mortar with different percentages of basalt stone powder (25, 50, 75 and 100%). The background of this study is to encourage the use of basaltic stone powder in the self-leveling mortar as an alternative for substitution of natural sand, due to high price of transportation for distance and environmental issues.

Keywords: Self-leveling mortar, self-compacting mortar, underfloor and grit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração básica do sistema de piso e contrapiso e suas camadas constituintes..	19
Figura 2 – Aplicação da argamassa dosada em obra (a); aplicação da argamassa	21
Figura 3 – Seleção dos materiais constituintes da argamassa autonivelante	24
Figura 4 – Micrografia da sílica ativa.....	30
Figura 5 – Monômero de um superplastificante lignossulfonato	32
Figura 6 – Monômero de (a) poli-naftalenossulfonato linear e (b) poli melanina sulfonato de sódio	32
Figura 7 – Monômeros de um policarboxilato	33
Figura 8 – Fluxograma da metodologia empregada no estudo.....	42
Figura 9 – Períodos para a execução das etapas do programa experimental, em dias acumulados	43
Figura 10 – Substratos de concreto que receberam os traços que variam de 0 a 100%	45
Figura 11 – Traço em massa adaptado da dissertação de Martins (2009).....	47
Figura 12 – Aditivos empregados no estudo (a) superplastificante – SP e (b) modificador de viscosidade - VMA	52
Figura 13 – Formas de ruptura do ensaio de resistência de aderência à tração.....	57
Figura 14 - Curva granulométrica comparativa do pó de pedra com a areia.....	60
Figura 15 - Esquema de nomenclatura adotado no estudo.....	62
Figura 16 - Desvio padrão das argamassas no ensaio de compressão.....	63
Figura 17 - Desvio padrão no ensaio de tração.....	64
Figura 18 - Desvio padrão da densidade.....	65
Figura 19 - Desvio padrão das argamassas no ensaio de compressão.....	67
Figura 20 - Desvio padrão no ensaio de tração.....	68

Figura 21 - (A) placa com substituição de 0 a 100%, (B) equipamento de corte SunLike, (C) Arrancador manual, (D) Ensaio sendo executado e (E) imagem panorâmica das placas ensaiadas.....	69
Figura 22 - Desvio padrão das argamassas autonivelantes no ensaio de arrancamento.....	71
Figura 23 - Mapeamento das placas.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Distribuição granulométrica dos agregados e suas zonas de classificação segundo a NBR 7211/1983	28
Quadro 2 – Descrição técnica da sílica ativa	29
Quadro 3 – Descrição das principais manifestações patológicas da argamassa autonivelante e seus responsáveis	37
Quadro 4 – As principais vantagens da argamassa autonivelante	38
Quadro 5 – As principais desvantagens da argamassa autonivelante.....	38
Quadro 6 – Traços que demonstram a substituição da areia natural pelo pó de pedra.....	48
Quadro 7 – Classificação das areias	50
Quadro 8 – Ensaio d granulometria da areia	50
Quadro 9 – Distribuição granulométrica do pó de pedra advindo da cidade de Nova Prata (Serra Gaúcha)	61
Quadro 10 – Descrição do superplastificante , segundo o fabricante.....	63
Quadro 11 – Resultados do ensaio de arrancamento	70
Quadro 12 – Análise de ensaio de arrancamento	71

TABELA

Tabela 1 – Relação entre as características dos agregados e as propriedades do concreto.....	27
Tabela 2 – Caracterização do cimento CP V	46
Tabela 3 – Traço adotado para a concepção do substrato	46
Tabela 4 – Abatimento médio dos substratos confeccionados para este estudo	46
Tabela 5 – Especificações do catálogo da <i>Dow Corning</i> Metais	52
Tabela 6 – Caracterização segundo o fabricante	54
Tabela 7 – Resultados das caracterizações realizadas na areia natural e no pó de pedra.....	61
Tabela 8 – Propriedade da argamassa de contrapiso e piso.....	62
Tabela 9 – Resultados do ensaio de densidade.....	65
Tabela 10 – Ensaio do mini <i>slump</i>	66

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Norma Técnica
a/c	Relação água/cimento
CAA	Concreto auto adensável
CP II	Cimento <i>Portland</i>
CP V	Cimento Portland
C ₃ A	Aluminato tricálcico
C ₄ AF	Ferroaluminato tetracálcico
D	Massa específica do agregado em cm ³
EFNARC	<i>Experts for Specialized Construction and Concrete Systems</i>
H ₂ O	Água
LATEC	Laboratório de Tecnologia da Construção
SP	Superplastificante
V _a	Volume de água
VMA	Modificador de viscosidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Tema	15
1.2 Problema de pesquisa.....	15
1.3 Hipótese	16
1.4 Objetivos.....	16
1.5 Justificativa	16
1.6 Delimitação do trabalho.....	17
1.7 Estrutura da pesquisa	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1 Sistema do piso e contrapiso	19
2.1.1 Argamassa autonivelante	20
2.1.2 Origem e definição.....	21
2.1.3 Materiais constituintes e seus efeitos nas propriedades reológicas da argamassa autonivelante	23
2.1.3.1 Cimento	24
2.1.3.2 Agregado miúdo “pó de pedra”	26
2.1.3.3 Areia.....	28
2.1.3.4 Sílica ativa	29
2.1.3.5 Aditivos.....	30
2.1.3.5.1 Aditivo superplastificante - SP	31
2.1.3.5.2 Modificador de viscosidade - VMA.....	34
2.1.3.6 Água	34
2.1.4 Propriedades e características reológicas da argamassa autonivelante	36
2.1.5 Manifestações patológicas.....	37
2.1.6 Vantagens e desvantagens da utilização da argamassa autonivelante.....	38
3 METODOLOGIA.....	39
3.1 Metodologia da pesquisa	39
3.1.1 Método de pesquisa	40
3.1.2 Pesquisa científica quanto ao modo de abordagem.....	40
3.1.3 Pesquisa científica quanto aos objetivos.....	41
3.1.4 Pesquisa científica quanto aos procedimentos de coleta de dados	42
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	43

4.1 Materiais.....	45
4.1.1 Substrato do concreto.....	45
4.1.2 Argamassa autonivelante	48
4.1.3 Cimento	48
4.1.4 Areia/Agregado miúdo	49
4.1.5 Pó de pedra.....	51
4.1.6 Sílica ativa	51
4.1.7 Aditivos.....	52
4.1.7.1 Superplastificante	53
4.1.7.2 Modificador de viscosidade.....	54
4.1.8 Água	54
4.2 ENSAIOS REALIZADOS	55
4.2.1 Densidade da massa.....	55
4.2.2 Resistência à tração na flexão e à compressão	55
4.2.3 Ensaio de consistência da argamassa ou mini <i>slump</i>	56
4.2.4 Resistência de aderência à tração	56
4.2.5 Análise tato visual da superfície	58
4.2.6 Ensaio resistência à compressão	58
4.2.7 Ensaio de absorção	58
4.2.8 Ensaio de Granulometria	58
4.2.9 Massa unitária.....	59
4.2.10 Massa específica.....	59
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	60
5.1 Análise comparativa entre os materiais	60
5.2 Argamassa de contrapiso	61
5.2.1 Densidade da argamassa	64
5.2.2 <i>Slump test</i> (abertura)	65
5.2.3 Aderência pelo método de arrancamento.....	69
5.2.4 Fissuração/ acabamento	74
6 CONCLUSÃO.....	75
7 REFERÊNCIAS	77
APÊNDICE	86
Apêndice A – Etapas de elaboração do trabalho de conclusão	87
ANEXOS	88
Anexo A – Ensaio de compressão do substrato na idade de 7 dias	88
Anexo B – Ensaio de compressão do substrato na idade de 28 dias	89
Anexo C - Argamassa tração na flexão 40 x 40 x 160	90
Anexo D – Argamassa compressão 40 x 40 x 160	91
Anexo E – Compressão CP 10 x 5	92

1 INTRODUÇÃO

Almeida e Silva (2005) afirmam que 90% da areia produzida no Brasil se origina da extração do leito de rios, e os outros 10% são obtido de outras fontes (mantos de decomposição de rochas, várzeas, arenitos decompostos e entre outros). Esse processo ocasiona sérios problemas ambientais, nos corpos hídricos dos rios e seus biomas. Portanto, o estudo propõe a substituição da areia natural por pó de pedra basáltica tendo como objetivo minorar os impactos ambientais e os gastos com transportes.

Segundo Formigoni (2006) o reaproveitamento de resíduos hoje, se torna ecologicamente correto e viavelmente econômico. Hoje, só no Brasil cerca de 240.000 toneladas de resíduos de rochas são geradas anualmente, sem nenhum plano de descarte, sendo estes depositados muitas vezes em lugares inapropriados, gerando assim problemas ambientais como assoreamento de rios e entre muitos outros.

Menossi (2004) indica que a utilização dos finos advindos do processo de britagem não é algo novo. Em meados da década de 80 os países desenvolvidos como Estados unidos já começaram a investir em estudos e a empregar a areia britada em suas obras. Atualmente, o pó de pedra basáltica é muito utilizado na constituição dos blocos de concreto, no concreto compactado a rolo e no setor de rodovias como camada de sub-base asfáltica. Em todas as situações o emprego da areia britada obteve êxito.

Já no Brasil, o pó de pedra basáltica começou a ser estudado com maior ênfase no ano de 2008 (MARTINS, 2009). Portanto, esta pode ser uma medida que pode mitigar os danos ambientais ocasionados pela dragagem e extração dos leitos dos rios. Outro fator que ajuda a

sustentar o estudo é a questão financeira, pois cada vez mais longe estão as jazidas de areia e isso aumenta o preço de logística que interfere no transporte do composto natural.

Dentre os danos desta extração estão o aumento da vazão e o aceleração do processo de erosão das margens. Por outro lado, o pó de pedra, não tem um destino específico e é estocado nos pátios de pedreiras ao ar livre. Ficando assim, sujeitos à ação do tempo, ocasionando danos ambientais, tais como poluição atmosférica, assoreamento, contaminação por lixiviação nas áreas de drenagem e entre muitos outros (RUBIN, 2015).

Com o passar do tempo, extrair areia natural do leito de rios não é uma tarefa fácil, por as jazidas, já se apresentarem escassas. Com este panorama, o Código Florestal Brasileiro (1965), por intermédio da Lei 4.771/65, decreta que as áreas de preservação permanente, vegetações naturais situadas ao longo dos rios e o curso d'água devem ser preservados. Isso ocasiona a suspensão de licenças tornando assim o composto mineral raro e mais valorizado (ALMEIDA e SILVA, 2005).

A proposta deste estudo é a substituição da areia natural por pó de pedra basáltica na argamassa autonivelante. Tendo como parâmetros para validar o estudo do acabamento e a estética final do contrapiso, com diferentes teores de pó de pedra para comparar os resultados e observar se a substituição de material é vantajosa e até em que teor ela é benéfica.

Segundo Nakakura e Bucher (1997) o piso tem três funções primordiais que são: a carga estática, a ação abrasiva e o terceiro é o que nos últimos anos começou a ganhar atenção à rugosidade superficial ou lisura. As principais desvantagens do sistema da argamassa tradicional são: baixo rendimento de aplicação, elevada espessura o que potencializa o peso próprio e elevado índice de patologias como descolamentos, fissuração e oscilação de desníveis.

Por isso, a argamassa autonivelante se torna uma opção interessante. Essa argamassa também é conhecida como auto adensável, sua constituição é essencialmente cimento, aditivos químicos, sílica ativa e areia com granulometria selecionada e H₂O. As porcentagens dos constituintes da argamassa autonivelante e similar a da argamassa tradicional. Sua formulação é de (25 a 45%) de cimento *Portland*, areia quartzosa (de 40 a 60%) e (10 a 15%) aditivos químicos e adições minerais destinados a modificar as características reológicas no estado fresco e as propriedades físico-mecânica nos estados – fresco e endurecido.

Tendo como, principais propriedades alta fluidez, preenchimento de espaços de difícil acesso e a auto adensabilidade, tudo isso sendo comandado pela ação da gravidade. A argamassa autonivelante é de fácil aplicação, rápida execução e minimiza os defeitos (MARTINS, 2009 e RUBIN, 2015).

Essa nova técnica de argamassa autonivelante, nos últimos anos ganhou força por reduzir a espessura que parte de 5 mm e vai até 10 mm. Isso ocasiona uma redução na possibilidade de tendência de fissuração, por causa das adições químicas e fibras, que é inibida pela ponte de aderência polimérica. As ondulações são vedadas, pois a mistura é bastante fluida (líquida), ela é aplicada no sentido horizontal e seu espalhamento ocorre em função da ação da gravidade, conferindo, portanto, uma lisura contínua (NAKAKURA e BUCHER, 1997).

A argamassa autonivelante se inseriu no mercado da construção civil como um produto pró-ativo. Pois, reabilita, regulariza e nivela contrapisos desde os mais novos aos antigos. Ao escolhê-lo ela se mostra bem vantajosa, por necessitar uma mão-de-obra reduzida, aplicação rápida e qualidade superior às argamassas convencionais (HOUANG, 2013).

A utilização da argamassa autonivelante se justifica pela sua facilidade de execução associada a um custo relativamente baixo. Mesmo, sendo intensivamente empregada na construção civil, ela ainda apresenta poucos estudos científicos para compreender a microestrutura da argamassa e a influência de suas propriedades (MARTINS, 2009).

A consciência preventiva da humanidade em relação ao meio ambiente surgiu na Conferência de Estocolmo de 1972. A partir daí os países desenvolvidos começaram a estudar e a testar alternativas técnicas que utilizem resíduos industriais, que anteriormente eram ignorados. Dentre estes resíduos está o pó de pedra basáltica (MARTINS, 2009).

Andriolo (2005) afirma que o Brasil começou a utilizar o pó de pedra em meados da década de 80. Isso ocorreu em meio aos estudos efetivados na construção da hidrelétrica de Itaipu, que gerou vantagens técnicas e econômicas.

As principais justificativas da substituição da areia natural por pó de pedra basáltica são o transporte e a prevenção ambiental. Muitas vezes as fontes de areia se encontram situadas a uma longa distância, que infere um acréscimo no preço. Já os impactos ambientais desta extração são incomensuráveis (MARTINS, 2009).

Além do ganho ambiental e ecológico, outro fator que se torna bem provável é o aumento da durabilidade da argamassa autonivelante. Por decorrência da adição de finos na microestrutura que ficará mais compacta, por dois motivos – a ação pozolânica e o efeito de *filler*. Tornando a argamassa menos susceptível a agentes deletérios como cloretos e sulfatos (MELO, 2005).

O presente estudo tem por finalidade analisar a argamassa autonivelante substituindo a areia por diferentes teores de pó de pedra basáltica que são 0, 25, 50, 75 e 100% para um mesmo traço experimental. Portanto, fazer um estudo detalhado, tendo como plano de fundo, o de prevenir o surgimento das manifestações patológicas elencadas anteriormente. Esse estudo também tem a visão holística, de equilibrar essa necessidade da construção civil, que apresenta a precisão de preservar as jazidas finitas de recurso naturais (SANTOS e RIBEIRO, 2012).

1.1 Tema

Emprego do pó de pedra basáltica como forma de substituição da areia natural, que na sua extração ocasiona sérios impactos ambientais. E análise das principais potencialidades do uso desse material de origem rocha ígnea eruptiva que se encontra em abundância na Serra Gaúcha do estado do Rio Grande do Sul.

1.2 Problema de pesquisa

O problema de pesquisa é a ausência de um agregado fino que possa substituir a areia natural no mecanismo da argamassa autonivelante, com isso o estudo tem como proposta potencializar a qualidade e eficiência da pasta.

Nesse plano de fundo a literatura indica a premência de estudos que correlacione os conhecimentos dos materiais da construção civil e suas normas que regularizam o processo, porém, explorando novas tecnologias e técnicas de execução. Esse presente estudo tem como principal propósito o de ajudar a resolver o problema ambiental de extração de areia natural com a utilização de um material pouco utilizado e que gere menor impacto no meio ambiente.

Com o problema de pesquisa apresentado, se torna viável um estudo de literatura específica e dialético com embasamento em testes pré-estabelecidos pelas NBR's de piso, porém com a substituição da areia por pó de basalto.

1.3 Hipótese

Parte-se do pressuposto de que a substituição de areia natural por pó de basalto seja apropriada e apresente similaridade entre os dois, de modo que a argamassa autonivelante apresente as propriedades adequadas para o uso.

1.4 Objetivos

O objetivo do estudo é avaliar o efeito nas propriedades de uma argamassa autonivelante em virtude da substituição de areia natural por pó de basalto.

- Os objetivos secundários são: avaliar o acabamento e estética final do contrapiso pesquisar a literatura com ênfase em argamassa de autonivelamento;

- Avaliar o comportamento da argamassa autonivelante tradicional, tanto no estado fresco como endurecido, perante a sugestão do estudo que é substituição da areia natural por pó de basalto;

- Análise das características mecânicas da argamassa de contrapiso e análise de propriedades mecânicas de durabilidade e aderência.

1.5 Justificativa

Atualmente, as estruturas de concreto e argamassa são confeccionadas com areia natural. Entretanto, a conscientização de prevenção ambiental tem incentivado e impulsionado estudos a busca por alternativas que substituam a areia natural, por materiais denominados rejeitos como pó de pedra. Com esse panorama, a utilização do pó de pedra basáltica, como

substituição do agregado na argamassa autonivelante se torna uma possibilidade interessante (MENOSSE, 2004). Portanto, por a região da Serra Gaúcha ter uma grande quantidade de basalto, esse estudo visa testar e validar essa substituição na tentativa de diminuir o dano ambiental.

Outra grande necessidade da atualidade é a rápida execução que demanda menos tempo e possibilite maior desempenho. De olho neste cenário a argamassa autonivelante se torna promissora, quando comparada com a argamassa convencional, por se apresentar mais produtiva, espessura reduzida, planeza assegurada pela gravidade é maior independência da mão de obra (MARTINS, 2009). Outra justificativa é o ganho econômico por o pó de pedra ser bem mais em conta do que a areia e ser encontrado em abundância na Serra Gaúcha.

1.6 Delimitação do trabalho

Nesta pesquisa, foi utilizado apenas um traço de argamassa autonivelante previamente definido e avaliado. Os teores de substituição também foram pré-definidos em zero, 25, 50, 75 e 100% de pó de pedra basáltica. Esse estudo não tem como finalidade avaliar os parâmetros térmicos e acústicos do substrato autonivelante que teve substituição parcial e integral da areia por pó de pedra.

1.7 Estrutura de pesquisa

No primeiro capítulo – “INTRODUÇÃO” contextualiza o assunto de estudo de forma simples e genérica. Justificando a escolha do tema e sua relevância e importância à área do conhecimento e prevenção ambiental em favor da sociedade. Neste bloco, também serão descritos os objetivos principais e secundários, o tema, o problema de pesquisa, a hipótese, a justificativa, a delimitação e a estrutura da pesquisa.

Segundo capítulo – “REVISÃO BIBLIOGRÁFICA”, nesse bloco foi realizada uma pesquisa com ênfase em argamassa autonivelante. Também foram especificados o sistema de piso e contrapiso, a origem e definição, as propriedades reológicas da argamassa

autonivelante, as propriedades reológicas, as manifestações patológicas e suas principais vantagens e desvantagens.

No terceiro capítulo – “METODOLOGIA” empregada no estudo para validar o trabalho. Aqui foram expressos o método de pesquisa, o modo de abordagem, o procedimento de coletas de dados e o fluxograma que norteou o estudo.

Quarto capítulo – “MATERIAIS E MÉTODOS” abrange o programa experimental que orientou o desenvolvimento da pesquisa. Nesta etapa foram apresentados a caracterização dos materiais, os ensaios e métodos empregados na realização do programa.

Quinto capítulo – “ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS” são expostos os resultados extraídos durante os ensaios laboratoriais, que foram analisados e discutidos.

Sexto capítulo – “CONSIDERAÇÕES FINAIS” são apresentadas todas as considerações e conclusões finais que se embasam nos resultados derivados do capítulo anterior.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Alguns conceitos e termos considerados relevantes a argamassa auto-adensável, foram especificados e abordados como forma de fundamentar, justificar e legitimar o respectivo estudo e nortear o leitor com uma contextualização que facilite seu entendimento.

2.1 Sistema do piso e contrapiso

A argamassa autonivelante é uma mistura fluída que apresenta um espalhamento de 250 a 270 mm. Ao ser aplicada ela não necessita de vibração e nem nivelamento, por possuir uma espessura reduzida, oscilando em torno de 30 mm. Esse sistema aceita sobre si todos os tipos de revestimentos como: pisos vinílicos, os amadeirados, os cerâmicos e entre outros (SCHAEFER, 2013).

Sua aplicação acontece por intermédio da mangueira que a espalha sobre a superfície. Suas características de execução são bem positivas por ser de fácil execução, reduzida mão de obra e maior agilidade de aplicação, por seu espalhamento ocorrer pelo seu peso próprio e por gravidade (SCHAEFER, 2013).

Figura 01 – Ilustração básica do sistema de piso e contrapiso e suas camadas constituintes:



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15575 – 3 (2013).

A NBR 15575-3/2013 define as camadas como:

Camada de contrapiso

“Extrato com as funções de regularizar o substrato, proporcionando uma superfície uniforme de apoio, coesa, aderida ou não e adequada à camada de acabamento, podendo eventualmente servir como camada de embutimento, caimento ou declividade.”

Camada estrutural

“5.5.1 O contrapiso (ou piso morto) deve ser executado diretamente sobre a base ou sobre a camada intermediária e após um período de no mínimo sete dias após a conclusão da camada imediatamente inferior.

5.5.2 O contrapiso deve ser constituído por uma argamassa de cimento e areia média úmida com traço recomendado em volume de uma parte de cimento de seis partes de areia.

5.5.4 O contrapiso deve ser executado com antecedência mínima de sete dias em relação ao assentamento do revestimento cerâmico, visando diminuir o efeito de retração da argamassa sobre o piso a ser executado”

Na seção 2.1 pode-se observar as principais características da argamassa autonivelante. Isso se faz necessário para internalizarmos a técnica para soluções de problemas complexos no futuro.

2.1.1 Argamassa autonivelante

A NBR 13.281 (2005) caracteriza as argamassas como mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e H₂O, podendo ter ou não aditivos e propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser feita em obra (*in loco*) ou de forma industrializada o que é o mais usual, pois as pré-fabricadas são vantajosas por eliminar estoque de materiais e dosagem imprecisa.

A argamassa autonivelante também é denominada auto adensável. Suas principais características são: a base de cimento, bombeável, monocomponente, altamente fluída e facilidade na aplicação, sua utilização ocorre em lajes horizontais por se nivelar pelo peso próprio e gravidade. Sua atuação é de pró-atividade, pois pode se utilizada no contrapiso, aderido ou não ao substrato, sobre mantas térmica e acústica, pode ser a superfície final do

piso ou receber revestimentos e acabamentos dos mais diversos materiais (AENOR, 2003 e RUBIN, 2015).

Se o pó de pedra começar a ser disseminado, pode gerar vantagens, não só necessariamente para as concreteiras e pedreiras, mas também ao consumidor final. Menossi (2004) afirma que a utilização do pó de pedra tem fundamento por se tratar de um fino com características físicas e químicas constantes. Outro ponto é o minoramento no consumo de cimento, na composição da argamassa ou concreto, na prevenção de grandes problemas ambientais e custo final da pasta reduzido.

Segundo Rubin (2015) o que diferencia esse método dos outros e sua capacidade de auto adensar sem segregar. Sua utilização é recomendada em restaurações e em locais que a estrutura esteja muito densa por causa do aço. Na Figura 03 foi comparado a argamassa convencional dosada em obra (*in loco*), muito utilizada no Brasil, que apresenta uma textura de farofa, com a argamassa autonivelante que tem consistência aquosa.

Figura 02 – Aplicação da argamassa dosada em obra (a); Aplicação da argamassa autoadensável (b).



Fonte: Rubin (2015).

Na seção 2.1.2 estão abordados a origem e a definição do concreto auto adensável, o mesmo tem as mesmas características da argamassa, porém o concreto possui uma infinidade de material, por isso esse trabalho tem o intuito de fornecer material sobre essa área que apresenta pouco estudo, para fomentar novos.

2.1.2 Origem e definição

O concreto auto-adensável (CAA) surgiu no Japão na década de 1980. Devido à necessidade do país em ter estruturas com maior desempenho e durabilidade de seus

elementos de concreto armado, esse ideal se disseminou por todo o país. Pereira (2010) afirma que no Japão surgiram os primeiros estudos que apontaram as defasagens da execução de estruturas de concreto armado, que são o adensamento eficiente em regiões densas por conta do aço e a escassez de mão de obra.

O responsável pelo concreto auto-adensável (CAA) foi o professor *Hajime Okamura* da *University of Technology*. Como anteriormente citado a redução de profissionais capacitados e a falta de durabilidade impulsionaram-lhe a desenvolver esse concreto especial, que entrega uma boa durabilidade, independente do adensamento no momento da concretagem (OKAMURA et. al., 2000 e OKAMURA e OUCHI, 2003).

EFNARC (2002) – *Experts for Specialised Construction and Concrete Systems*, afirma que o concreto auto adensável tem três propriedades que devem ser atendidas que são a: fluidez, habilidade de preenchimento e resistência à segregação. A primeira característica citada interfere na capacidade que essa mistura tem de preencher os espaços vazios. Já a sua segunda função é a de ir se acomodando na fôrma e vencendo as obstruções. A última propriedade é a resistência à segregação que consiste o concreto se manter coeso, sem ocorrer à heterogeneidade da pasta de cimento e os agregados.

KLEIN (2008) define o concreto auto adensável como:

O CAA consiste em um concreto com alta fluidez, capaz de preencher a fôrma onde é aplicado, compactando-se pela ação única de seu peso próprio e sem necessitar de qualquer tipo de vibração interno ou externo. Este concreto deve, ainda, ser capaz de sustentar os grãos do agregado graúdo, mantendo-os homogeneamente distribuídos no interior da mistura, quando o concreto flui através de obstáculos – como as barras de armaduras – e também quando o concreto encontra-se em repouso (OKAMURA, 2000; 2003; EFNARC, 2005) página 07.

Anderberg (2007) afirma que a primeira argamassa autonivelante ocorreu na Finlândia e recebeu o nome de “*self-levelling flooring ompound*” e foi desenvolvido por *Nils Johansson* no ano de 1977. O principal ideal do seu criador foi o de criar um produto que facilmente nivela-se ao piso, antes da aplicação do revestimento final, eliminando assim o tratamento da superfície (RUBIN, 2015). Toda a explicação anteriormente apresentada serve de base para argamassa, pois o CAA não deixa de ser uma argamassa.

Na seção 2.1.3 estão abordados os materiais que foram utilizados para a produção e execução do contrapiso. Para isso, foram levadas em consideração as características, propriedades e finalidades do contrapiso.

2.1.3 Materiais constituintes e seus efeitos nas propriedades reológicas da argamassa autonivelante.

A argamassa autonivelante é constituída por aglomerante (cimento), agregado miúdo, H₂O, aditivos químicos e adições minerais. No presente estudo o foco é a substituição da areia por pó de basalto, na composição da argamassa.

Segundo Rubin (2015) as propriedades da argamassa autonivelante se assemelha a do concreto autonivelante. Pois, os princípios de adensamento por ação da gravidade e seu peso próprio são compartilhado pelos dois. Existem vários tipos de argamassa autonivelante, porém, esse trabalho irá se deter na que contém adição de basalto em substituição da areia.

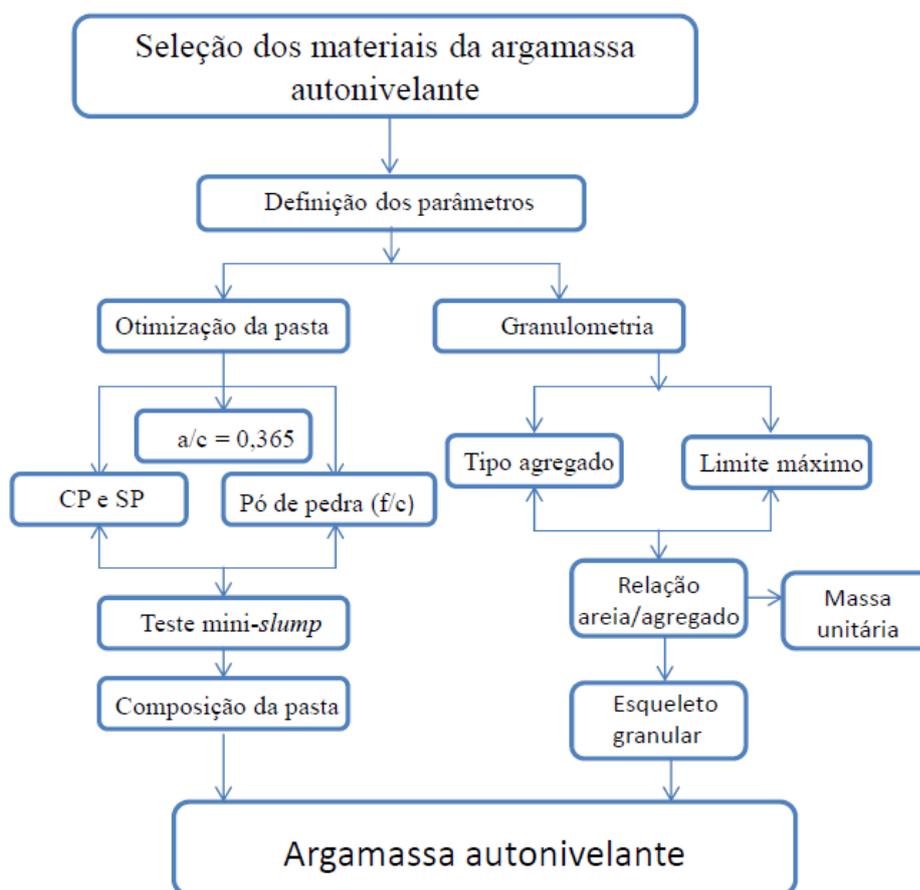
O estudo vai englobar a porcentagem do agregado miúdo (areia) que foi substituída por diferentes teores de pó de pedra basáltica (0, 25, 50, 75 e 100%). Essa modificação tem por finalidade propor uma pasta com menor impacto ambiental e seu valor econômico seja minorado. Os aditivos anteriormente citados são importantes para que a pasta em seu estado fresco atinja as suas propriedades físico-mecânicas satisfatórias, para que no estado endurecido contemple os parâmetros solicitados como a durabilidade, acabamento e resistência à abrasão (NAKAKURA, BUCHER 1997).

Tutikian (2004) afirma que os materiais que serão empregados na argamassa autonivelante devem receber uma atenção especial. A qualidade dos constituintes determinam a qualidade final da pasta. Segundo Felekoglu et. al.(2006) as principais propriedades físicas que surtiram efeitos são a forma, morfologia superficial, índice de finura, distribuição de empacotamento e tamanho das partículas. Já as propriedades físico-químicas devem ser levadas em consideração como a hidratação e a interação de H₂O e materiais secos. Essas propriedades definem a qualidade final da argamassa autonivelante.

A dosagem da argamassa autonivelante desse estudo foi adaptada de Martins (2009). O traço adotado foi (1 : 1,25 : 0,05 : 0,0048 : 0,0143 : 0,365) os constituintes estão elencados

em ordem, cimento Portland, areia/pó de pedra, sílica ativa, superplastificante, modificador de viscosidade e água, tudo em massa. No fluxograma abaixo se encontra a seleção dos materiais adotados para esse estudo de substituição:

Figura 03 – Seleção dos materiais constituinte da argamassa autonivelante.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

2.1.3.1 Cimento

O cimento é definido como ligante hidráulico por reagir na presença da água. Este processo denominado hidratação (inicial) confere rigidez à mistura. Também é o principal aglomerante da mistura e sua composição é derivada de uma junção de silicatos e aluminatos de cálcio (METHA e MONTEIRO, 2008).

Tutikian (2004) afirma que o cimento deve ser adotado, segundo a sua pretensão de usabilidade. Martins (2009) lembra que não existe especificamente um cimento, que deve ser usado na argamassa autonivelante, porém o índice de finura e o consumo de cimento influenciam diretamente as propriedades mecânicas e reológicas da argamassa (BAUER e SOUZA, 2005). Porém, estudos recomendam o ajuste na sua composição. Segundo a EFNARC (2002) o teor de C_3A deve ser inferior a 10%, outra característica importante é de que a adsorção do superplastificante é ocasionada pelos aluminatos (Aluminato tricálcico – C_3A e Ferroaluminato tetracálcico – C_4AF).

Tutikian (2004) ressalta que a escolha do cimento deve ser de acordo com as solicitações da construção. Pois, cada cimento *Portland* ocasiona vantagens e desvantagens diferenciadas pela sua variação e composição dos grãos e adições. Portanto, um estudo de caso antes da escolha é imprescindível, pois quanto menor for o grão do cimento mais reativo, o regula a velocidade das reações químicas, durante o período de pega.

Por isso, para a escolha do cimento alguns parâmetros químicos e físicos, foram aprofundados na literatura. O cimento que melhor atende as necessidades da argamassa autonivelante são os que apresentem reduzido teor de aluminato tricálcico (C_3A) e granulometria.

Tricálcico aluminato (C_3A): quanto menor for à quantidade deste agente melhor é o controle reológico e enrijecimento da mistura, em função do tempo. Um exemplo é se for utilizado uma porcentagem superior a 10% de tricálcico aluminato a fluidez da argamassa fica comprometida (SOUZA, 2013).

Granulometria: quanto maior for à superfície específica do cimento, maior é o contato das partículas com a H_2O , estreitando assim à distância e potencializando a colisão, que reduz a tensão de escoamento e aumenta a viscosidade da mistura (SOUZA, 2013).

A EFNARC em seus estudos sugere como a melhor opção para a produção de concreto e argamassa autonivelante o CP II, CP IV e CP V. Porém, por motivos de logística e custo benefício foi-se adotado o CP V ARI/RS por ter em abundância em nossa região.

2.1.3.2 Agregado miúdo “pó de pedra”

Agregado se caracteriza como “(...) material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação da argamassa ou concreto”, pela NBR 9.935 (ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS, 2011b. p.2).

A NBR NM 66/1988 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS classifica as rochas em três grupos que são ígneas, metamórficas e sedimentares. Dentro destas classificações existem subdivisões que estão acondicionadas a composição química, textura e arranjo mineralógico.

Segundo Farias (2007) a profundidade que a rocha ígnea é resfriada determinará a resistência dela. Por estas rochas terem se formado a milhões de anos atrás em regiões bem profundas da crosta terrestre, muito próxima do manto elas demoram milhares de anos para se resfriarem, por esse processo ter sido lento, acabou gerando condições favoráveis para a cristalização desses agregados, os tornando os melhores agregados para a construção civil.

Ambrozewicz (2012) diz que as rochas naturais são extraídas de jazidas e beneficiadas por intermédio de um processo de britagem e sua classificação é feita de acordo com a sua granulometria. Os produtos gerados por essa ação são os agregados graúdos, a areia britada, o pó de pedra, o *fíler* e entre outros. Segundo Petrucci (1998) existe uma infinidade de britadores sendo eles do tipo bolas ou martelos. Seus mecanismos são diferenciados como giratório ou de mandíbulas, podendo girar em sentidos opostos ou de mesmo sentido.

Segundo Sá (2006) o pó de basalto recebe diferentes denominações como: areia artificial, finos de pedra britada, areia noclada entre outros que são encontrados nas bibliografias. Outra situação conflitante é que os autores divergem opiniões sobre a granulometria que caracteriza o pó de brita e sua origem.

Bauer (1987) caracteriza pó de pedra como granulometria que parte de 0 e não ultrapasse 4,8 mm. Já Andriolo (2005) afirma que o pó de brita não excede o diâmetro de 0,075 mm. Neves *et. al.* (2004) diz que pó provenientes de rochas graníticas tem um formato cúbico e superfície não plana (rugosa) é por isso são pó de pedra. Por isso, adotaremos NBR 9935/2011 – Terminologia, como parâmetro de classificação.

Um forma de produção da areia artificial é a produção via úmida. Que consiste em sistema de peneira que no final do britador há uma classificadora, os grãos são lavados por H₂O no regime de pressão, no mesmo sistema se encontra a rosca helicoidal que ajuda a produzir a areia britada (BASTOS, 2003).

Entretanto, toda a substituição deve ser feita de forma rigorosa. Pois, o formato do material pode demandar mais consumo de água, por causa da área superficial. O pó de pedra como adição promove a minimização dos custos, por ser denominado um material inútil e não necessitar ser transportado por longas distâncias como a areia natural, além da prevenção e preservação ambiental (RUBIN, 2015). Na figura abaixo, está descrito as propriedades da argamassa e a importância dos agregados, para as mesmas:

Tabela 01 – Relação entre as características dos agregados e as propriedades do concreto

PROPRIEDADES DA ARGAMASSA	CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DOS AGREGADOS
Resistência mecânica	Resistência mecânica
	Textura superficial
	Limpeza
	Forma dos grãos
	Dimensão máxima
Retração	Módulo de elasticidade
	Forma de grãos
	Textura superficial
	Limpeza
	Dimensão máxima
Massa unitária	Massa específica
	Forma dos grãos
	Granulometria
	Dimensão máxima
Módulo de elasticidade	Granulometria
	Coefficiente de Poisson
Economia	Forma dos grãos
	Granulometria
	Dimensão máxima
	Beneficiamento
	Disponibilidade

Fonte: Adaptado de Sbrighi Neto (2000), pelo autor.

2.1.3.3 Areia

Segundo Rubin (2015) a escolha do agregado miúdo se dá por dois motivos que são a demanda de água e o empacotamento físico. Já a NBR 7211/1983 define o agregado miúdo, as areias de origem natural ou as derivadas das britagem das rochas estáveis, segundo a mesma norma os grãos devem passar pela peneira # 4,8mm (0,075 mm).

Quadro 01 – Distribuição granulométrica dos agregados e suas zonas de classificação, segundo a NBR 7211/1983.

Peneiras ABNT	Porcentagem em peso, retida acumulada na peneira ABNT			
	Zona 1 (muito fina)	Zona 2 (fina)	Zona 3 (média)	Zona 4 (grossa)
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8 mm	0 a 5 ^(A)	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4 mm	0 a 5 ^(A)	0 a 15 ^(A)	0 a 25 ^(A)	5 ^(A) a 40 ^(A)
1,2 mm	0 a 10 ^(A)	0 a 25 ^(A)	10 ^(A) a 45 ^(A)	30 ^(A) a 70 ^(A)
0,6 mm	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,3 mm	50 a 85 ^(A)	60 ^(A) a 88 ^(A)	70 ^(A) a 92 ^(A)	80 ^(A) a 95
0,15 mm	85 ^(B) a 100	90 ^(B) a 100	90 ^(B) a 100	90 ^(B) a 100

Fonte: Santos (2008, p.21).

Deste Quadro 01 surge a classificação adotada para este trabalho que é condicionado pela norma (vigente). Essa classificação fica melhor detalhada no Capítulo 4, mas precisamente no item 4.1.4.

O agregado miúdo tem uma finalidade técnica, ou seja, a de otimizar as propriedades da argamassa como a textura, a resistência e durabilidade. No quesito financeiro a areia é viável por reduzir custos. Freitas (2010) fomenta o estudo do autor anterior afirmando que o agregado é determinante nas propriedades da argamassa. Portanto, a análise do agregado miúdo é fundamental e para isto verificamos a distribuição granulométrica, que influencia diretamente no resultado final da pasta.

De forma geral, todas as areias são adequadas para a produção da argamassa autonivelante, independente da sua origem, sendo ela natural como as de beira de rio, ou a obtida por processos industriais. Atualmente, o ramo da construção civil emprega mais a primeira opção por decorrência do seu formato (TUTIKIAN et. al. 2008)

A justificativa desta escolha é o seu formato arredondado. Pois, confere a argamassa maior fluidez para uma mesma quantidade de água. Se as partículas forem angulosas a resistência ao cisalhamento também aumenta, o que dificulta a deformabilidade da mistura (TUTIKIAN et. al. 2008).

Outro ponto que deve ser levado em consideração é a coesão. E portanto a argamassa deve receber uma adição de finos como a sílica ativa. E quanto menor for o módulo de finura melhor, pois o efeito coesivo é favorecido (TUTIKIAN et. al. 2008).

2.1.3.4 Sílica ativa

A sílica ativa é um pó fino pulverizado e é um subproduto do processo de fabricação do silício metálica ou ferro silício. Essa adição vem sendo muito utilizada na composição de concretos e argamassas, pois as propriedades deles são melhoradas, principalmente nos parâmetros de resistência e baixa permeabilidade (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

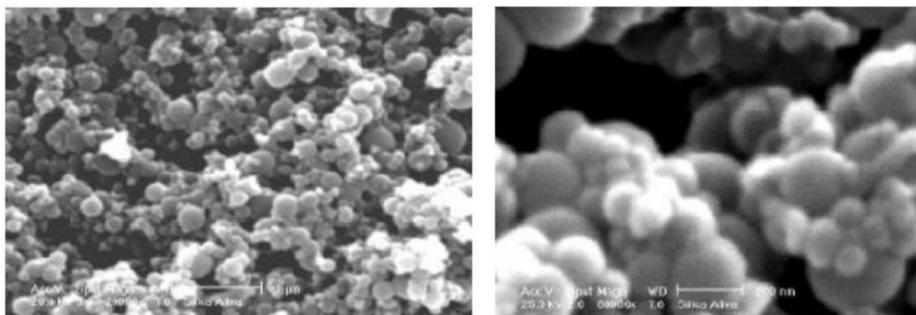
Quadro 02 – Descrição técnica da sílica ativa

Características técnicas da sílica ativa	
Massa específica	2,20 g/cm ³
Diâmetro médio das partículas	0,1 µm
Superfície específica	20000 m ² /Kg
Massa unitária	200 a 300 Kg/m ³

Fonte: Do autor, adaptado de NEVILLE (1997) e BABU e PRAKASHI (1995).

A sílica ativa é classificada como altamante pozolânica devida a sua composição sílica amorfa e área superficial elevada. Seu efeito físico (*microfiller*) e o efeito químico (pozolânico) durante a hidratação do cimento, atua na microestrutura tornando-a mais densa, homogênea e uniforme (ISAIA, 1995).

Figura 04 – Micrografia da sílica ativa



Fonte: Kulakowski (2002) e Martins (2009).

O emprego da sílica ativa ajuda na redução do espaço disponível para a H_2O , confere coesão a pasta, minimiza a segregação, aumenta a viscosidade e a coesão interna. Outro ponto positivo de sua utilização é a redução do tamanho dos poros e canais capilares. Segundo a maioria dos autores consultados a dosagem da sílica não deve ultrapassar a grandeza de 10%, pois quando esse valor é ultrapassado o pH da pasta é reduzido por decorrência da reserva alcalina (FORNASIER, 1995 e AITCIN, 2000).

2.1.3.5 Aditivos

Aditivos são produtos químicos que alteram as propriedades da argamassa. Apesar de uma infinidade os que são cruciais para a produção da argamassa autonivelante são o superplastificante e o modificar de viscosidade (RUBIN, 2015).

Martins (2009) na produção da argamassa autonivelante o superplastificante é empregado para conferir fluidez e redução da tensão do escoamento. Já os modificadores de viscosidade são utilizados para assegurar a estabilidade da mistura. Nos itens 2.1.3.5.1 e 2.1.3.5.2 os dois produtos serão mais bem especificados.

2.1.3.5.1 Aditivo superplastificante - SP

A sua utilização para argamassa de autonivelamento é indispensável por conferir a mistura à propriedade de fluidez. Sua principal ação é a de diminuir a H_2O , por isso, é muito empregado na produção de concreto de alto desempenho, principalmente quando a fluidez e a relação de água/cimento são exigidas (GOMES *et al.*, 2009).

Martins (2009) caracteriza as três principais funções dos aditivos superplastificantes, conforme apresentado abaixo:

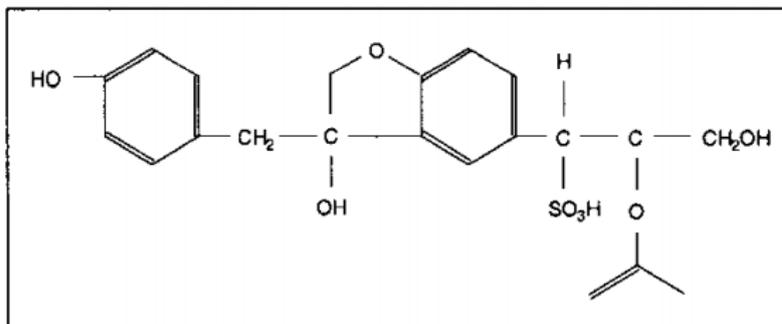
- a) diminuição do consumo de H_2O para uma mesma consistência, o que gera um aumento de resistência e maior durabilidade do concreto ou argamassa;
- b) confere fluidez da solução sem alterar a quantidade de H_2O ;
- c) minimiza o consumo de cimento, porém mantém a consistência, resistência à compressão, tudo isso tendo como fundo o de dissipar custos e mais o de reduzir a retração, fluência e tensões térmicas.

Martins (2009) afirma que o aditivo superplastificante associado com os modificadores de viscosidade derivam uma argamassa de alto desempenho, elevada fluidez e menor teor de H_2O para uma mesma coesão. O aditivo superplastificante é adicionado de 1 a 3% do peso do cimento e o modificador de viscosidade não deve exceder 0,5% do peso do cimento.

Existem quatro tipos de superplastificantes, que serão descritos abaixo:

Lignossulfonatos: são os aditivos conhecidos como de primeira geração, sua utilização ocorre juntamente com os redutores de H_2O . Sua origem provém da extração da celulose de madeira, quando utilizado permite a redução de 8 a 10% de H_2O (AITCIN, 1998).

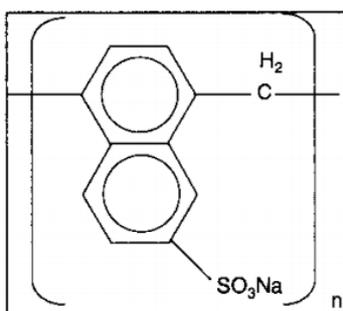
Figura 05 – Monômero de um superplastificante lignossulfonato.



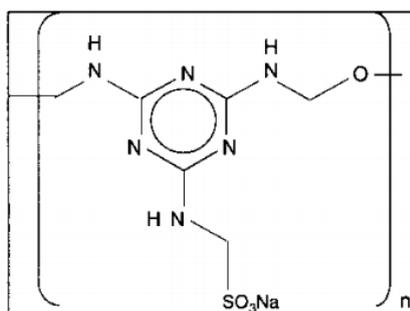
Fonte: Rixon, Mailvaganam (1999, p. 4).

Naftaleno sulfonato e melamina sulfonato: esses dois superplastificantes são classificados como de segunda geração. São obtidos através de técnicas de polimerização, a sequência de sua produção é a sulfonatação, a condensação, a neutralização e a filtração (AITCIN, 1998). Quando adotados esse aditivos pode-sê reduzir em até 25% da água da argamassa ou concreto.

Figura 06 – Monômero de (a) poli-naftalenosulfonato linear e (b) poli melamina sulfonato de sódio.



(a)

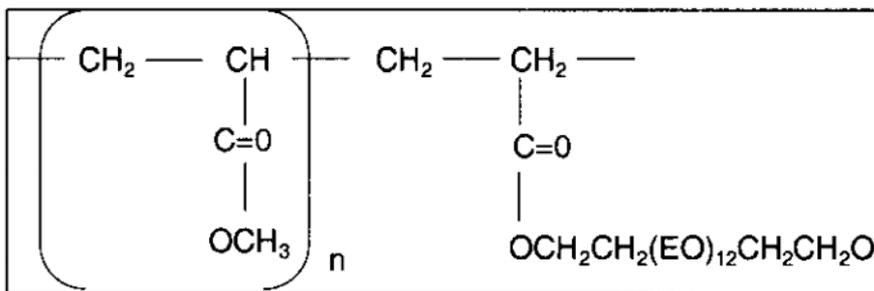


(b)

Fonte: Malthotra e Ramachandran (1998, p. 5).

Policarboxilas: esses aditivos são os denominados mais novos por terem adentrado no mercado nacional da construção civil no início dos anos 2000. Sua estrutura química se torna mais diferenciada do que as outras duas.

Figura 07 – Monômeros de um policarboxilato.



Fonte: Ramachandran (1998, p. 6).

2.1.3.5.2 Modificadores de viscosidade - VMA

Os aditivos modificadores de viscosidade tem a função de dar resistência à segregação da argamassa ou concreto. É um produto à base de polissacarídeos na grande maioria das vezes as cadeias de variação de polímeros adsorvem a H_2O e se enlaçam, derivando assim retículos flexíveis que retém a H_2O , que por decorrência minimizam a exsudação que acresce a viscosidade da pasta, abstendo a segregação (REPETTE, 2005 e SOUZA, 2013).

Os modificadores de viscosidade substituem os finos da argamassa. E isso ocasiona uma atenuação no consumo de H_2O , por diminuir a área superficial dos finos. Entende-se, então que para a relação água/aglomerante menor, similar ou até a mesma relação, não ocorre segregação e a pasta é mais fluida (TUTIKIAN *et al.*, 2008).

Martins (2009) caracteriza as principais vantagens da utilização desse aditivo:

- a) flexibilidade na escolha de materiais, no procedimento e lançamento;
- b) elevado nível de fluidez que possibilita a argamassa vencer grandes distâncias horizontais;
- c) confere homogeneidade;
- d) a coesão permanece constante durante o lançamento ou queda livre.

2.1.3.6 Água

A porção de H₂O está diretamente ligada a vários fatores como: o tipo de cimento, porcentagem de finos, o uso de aditivos ou adições e os agregados. A contingente da água é dividida em quatro partes: hidratação do cimento, uma para preencher a porosidade, outra a absorção e a quarta parte fica responsável pela adsorção dos agregados, tudo isso para assegurar a fluidez (GOMES *et al.*, 2009).

A relação água/cimento (a/c) são fatores determinantes para as propriedades reológicas da pasta. Quanto maior o teor de H₂O menor será a tensão limite de escoamento, gerando assim maior deformabilidade e acentuada diminuição de viscosidade. A água também pode gerar outro grande malefício a segregação por isso se adiciona o aditivo superplastificante (CAVALCANTI, 2006).

Na seção 2.1.4 será feita uma contextualização sobre o as propriedades e características da argamassa autonivelante.

2.1.4. Propriedades e características reológicas da argamassa autonivelante

A reologia é a ciência que explica o comportamento mecânico de corpos deformáveis, como a argamassa autonivelante (CASTRO, 2007). Martins (2009) afirma que as propriedades do estado fresco da argamassa auto adensável influenciaram diretamente o estado endurecido da pasta.

As pastas e emulsões a base de cimento como argamassa e concreto, no estado fresco são bastante fluidos. O sistema que rege essa força de escoamento é a relação entre o fluxo ou deformação. A reologia da argamassa autonivelante é bastante complexa, para isso entender a dinâmica da tensão de escoamento, a consistência e a viscosidade são primordiais para melhor compreensão do estudo (ANTUNES, 2005).

a) Consistência

A consistência da argamassa autonivelante deve ser favorável a sua deformação por peso próprio, sua viscosidade deve se fluída. Assim, a nata se espalha sobre o substrato ocasionando uma superfície plana e acabamento impecável. Essa deformação sofrida pela argamassa autonivelante é regida pela ação de uma tensão de cisalhamento, e se essa não se apresentar a deformação é nula (CASTRO, 2007).

Segundo Martins (2009) a consistência da argamassa autonivelante deve favorecer a deformabilidade pelo peso próprio e ação da gravidade. Sendo assim ela é capaz de se adaptar a todos os obstáculos, sem perder sua coesão e homogeneidade, formando assim uma superfície plana, nivelada de acordo e compatível com a sua necessidade.

a) Viscosidade

Como anteriormente citado a viscosidade dessa pasta deve ser fluída. Para que isso ocorra a resistência do fluído ao escoamento deve ser em função do fluxo, ou seja ao ser aplicada uma força cisalhante surge um gradiente de velocidade que induz a fluído, essa dinâmica é conhecida como taxa de cisalhamento. A resultante disso, que é a viscosidade deriva da proporcionalidade entre a força e o gradiente (Sousa e Lara, 2005).

Martins (2009) os fatores que mais interferem na argamassa autonivelante no estado fresco são a velocidade e altura de execução, essas ações não devem alterar a homogeneidade da pasta. A homogeneidade e coesão na pasta são fundamentais para que não ocorra a segregação e nem o desprendimento da H₂O.

b) Tensão de escoamento

Essa tensão é conhecida como a mínima necessária para se iniciar o processo de escoamento da argamassa autonivelante. Quanto menor for a viscosidade da argamassa, menor será a sua tensão, ou seja, a taxa de cisalhamento que a argamassa pode ser submetida também é menor (SOUSA, LARA, 2005). Segundo Martins (2009) a argamassa autonivelante em seu estado fresco deve possibilitar o seu escoamento de maneira simplificada. A pasta deve se espalhar e adensar no substrato aplicado, sem a necessidade de qualquer auxílio seja do tipo mecânico ou manual de compactação.

Na seção 2.1.5 com posse dos parâmetros reológicos da argamassa autonivelante, podemos aprofundar nas manifestações patológicas e seus efeitos na qualidade final do contrapiso auto-adensável.

2.1.5 Manifestações patológicas

Com o início da utilização da argamassa autonivelante, também se verificou o aparecimento de patologias como a segregação, fissuração e a exsudação. As principais justificativas são a má seleção de materiais constituintes da pasta, dosagem incoerente, uso abusivo de aditivos e erros de execução (GOMES, 2013).

Ao avaliar qualquer subproduto advindo do cimento devemos julgar a influência da exsudação, pois ela interfere diretamente na durabilidade do elemento. Ao dosar uma argamassa autonivelante devemos tomar cuidado com o excesso de água de amassamento e a adição excessiva de SP, para não favorecer o aparecimento da exsudação (SILVA, 2011).

Rubin (2015) indica que a cura inadequada da argamassa e a perda acelerada de H₂O provocam a retração por essa subtração ocasionada pela hidratação do cimento. Assim, surge à fissura no revestimento, outro fator que favorece o aparecimento dessa patologia é a espessura fina da camada auto-adensável (FREITAS, 2009).

Segundo Rubin (2015) a mão de obra não treinada ou falta de conhecimento das propriedades da argamassa autonivelante ocasionam graves problemas. Como aplicação e execução inadequada e a utilização de espessuras incoerente (2cm de argamassa sem o emprego de telas).

O deslocamento da argamassa auto-adensável pode ocorrer por diversos motivos. Mas os mais corriqueiros atualmente nos canteiros de obras são a umidade, a falta de limpeza apropriada, a incompatibilidade com o substrato onde a pasta foi aplicada e entre outros (RUBIN, 2015).

Quadro 03 – Descrição das principais manifestações patológicas na argamassa autonivelante, e seus responsáveis.

Manifestações patológicas	Responsáveis	Ilustração
Exsudação	Excesso de H ₂ O e adição excessiva de superplastificante	
Fissuração	Perda acelerada de H ₂ O (hidratação do cimento), cura inadequada e espessura muito fina.	
Presença excessiva de bolhas	Falta de remoção do ar	
Baixa resistência à abrasão	Acúmulo de H ₂ O na superfície, heterogeneidade na secagem, e manchas escuras	

Fonte: Do autor, adaptado de Rubin (2015).

2.1.6 Vantagens e desvantagens da utilização da argamassa autonivelante

As vantagens e desvantagens a utilização das argamassas autonivelantes dependem de inúmeros fatores. Como o tipo de cimento *Portland*, materiais constituintes, seu tipo de produção é ensacada ou central (CAMARGOS, EFNARC, BUI (2002) e CAVALVANTI (2006).

Quadro 04 – As principais vantagens da argamassa autonivelante

Vantagens da argamassa autonivelante
Redução do custo de aplicação por metro cúbico
Garantia de excelente acabamento da argamassa
otimização de mão de obra
Eliminação do ruído ocasionado pelo vibrador
Bombeamento de curto e longo alcance no sentido vertical e horizontal
Maior liberdade arquitetônica

Fonte: Adaptado de Rubin (2015).

Quadro 05 – As principais desvantagens da argamassa autonivelante

Desvantagens da argamassa autonivelante
Pouco conhecimento sobre a argamassa autonivelante
Falta de mão de obra especializada
Adição de água deve seguir o manual do fabricante
Rigorosidade na dosagem dos aditivos

Fonte: Adaptado de Rubin (2015).

Com posse de tudo isso, que foi fundamentado teoricamente. E com o auxílio do orientador deste trabalho de conclusão, foi-se elaborada a lógica de teste de validação do estudo. No Capítulo 3, está situada a metodologia empregada no trabalho como abordagem, ordem de grandeza e métodos adotados.

3. METODOLOGIA

Este CAPÍTULO tem como fundamental intenção descrever a metodologia aplicada no desenvolvimento do trabalho. Objetivando atingir o que foi proposto no Capítulo introdutório. Para que isso ocorra com êxito, o procedimento do estudo é sustentado e extraído da bibliografia literária e os experimentos aplicados tem como função validar o estudo.

3.1 Metodologia da pesquisa

Marconi e Lakatos (2010) definem esse método como conjunto de atividades racionais e sistemáticas, que permitem alcançar com segurança, o que é de objetivo. Outro ponto que o caracteriza é o método orientado que ajuda na tomada de decisões.

O método se caracteriza por um processo bem estruturado por etapas bem definidas. Que visam alcançar os resultados propostos pelo estudo. O mesmo só serve de instrumento de orientação para o desenvolvimento do trabalho científico. Entretanto, o que define o teor de qualidade final do estudo, depende exclusivamente do pesquisador responsável (FIGUEIREDO e SOUZA, 2011).

Figueiredo e Souza (2011) indica que o método é genérico. Portanto, a adequação do método e o tratamento de informações devem se moldar a categoria de estudo, que nesse consiste na “substituição da areia natural por pó de pedra basáltica”.

3.1.1 Método de pesquisa

Gil (2010) afirma que a pesquisa tem como proposta responder aos questionamentos que fomentam o trabalho via procedimentos racional e sistemático. Isso é utilizado para validar o estudo, quando não existem respostas satisfatórias ao problema em questão. Por isso, a pesquisa do trabalho é fragmentada em etapas para uma melhor descrição do procedimento, visando assim formular uma resposta adequada ao problema.

3.1.2 Pesquisa científica quanto ao modo de abordagem

O método de abordagem do estudo é de ordem qualitativa. Por isso, o modo será descrito por diversos autores distintos para melhor internalização no mesmo.

Prodanov e de Freitas (2013) afirmam que a abordagem qualitativa tem uma relação próxima entre o mundo real e o sujeito. A fonte é em ambientes naturais, que é feita a coleta de dados, interpretação de fenômenos e atribuição significativas. Qualitativa é uma análise de conteúdo, construção de teoria e análise de discurso.

Lakatos e Marconi (2003) define a metodologia utilizada pelo processo qualitativo como a observação sistemática e participante como entrevista semiestruturadas. Sua amostragem não é representativa, sua interpretação é descrita através do entendimento, descoberta, generalização e hipóteses do investigador. Essas hipóteses precisam ser testadas, pois seu embasamento da pesquisa não sustenta os testes.

A partir de Gil (2008) abordagem qualitativa depende de muitos fatores, tais como: natureza dos dados coletados, a proporção da amostra, os instrumentos utilizados e os pressupostos teóricos que embasam a pesquisa.

Figueiredo e Souza (2011) apresentam algumas situações que propiciam a utilização do modo de abordagem qualitativo:

- a) quando a obtenção de dados é subjetivo;
- b) quando o que define a ordem de abordagem não é o número de amostras, mas sim a qualidade das variáveis;

- c) quando se tem posse de informações referentes ao assunto;
- d) estudo de caso particular.

Por o presente trabalho se enquadrar nesses critérios, ele se caracteriza como de ordem qualitativa. O experimento tem por finalidade apresentar um traço que parte da subjetividade, para ter êxito como argamassa autonivelante.

3.1.3 Pesquisa científica quanto aos objetivos

Segundo Lakatos e Marconi (2003), a abordagem exploratória é uma investigação preliminar, para esse estudo são consultados dois tipos de fontes: documentos e contatos. Nesse método devem-se formular hipóteses no princípio da pesquisa, mas essa metodologia se fragmenta em três fases que são: exploratória, de investigação e de comprovação de hipóteses. As principais características desse método é a pesquisa empírica, desenvolver hipóteses, e a de familiarizar o pesquisador ao ambiente fenômeno.

Gil (2002) aponta que o estudo exploratório, surge de um levantamento bibliográfico, que tem função de familiarizar o pesquisador a um determinado assunto de interesse. Esse reconhecimento ajuda na limitação do assunto, para que o mesmo seja mais preciso. O principal objetivo dessa abordagem é desenvolver hipóteses para serem testadas através dos estudos futuros.

Conforme Prodanov e de Freitas (2013) a abordagem exploratória é de caráter relativamente estruturado, nessa pesquisa o pesquisador seleciona as informações que tem acesso, essa metodologia tem um nível elevado de precisão. A exatidão desse método depende do pesquisador, pois, tudo depende da sua perspicácia preparo e discernimento para extrair o fenômeno.

Jung (2004) define a pesquisa exploratória como aquisição de soluções para os problemas atuais. Seu embasamento parte do conhecimento científico existente que já foi validado, entretanto, a inovação do produto ou processo é foco da pesquisa.

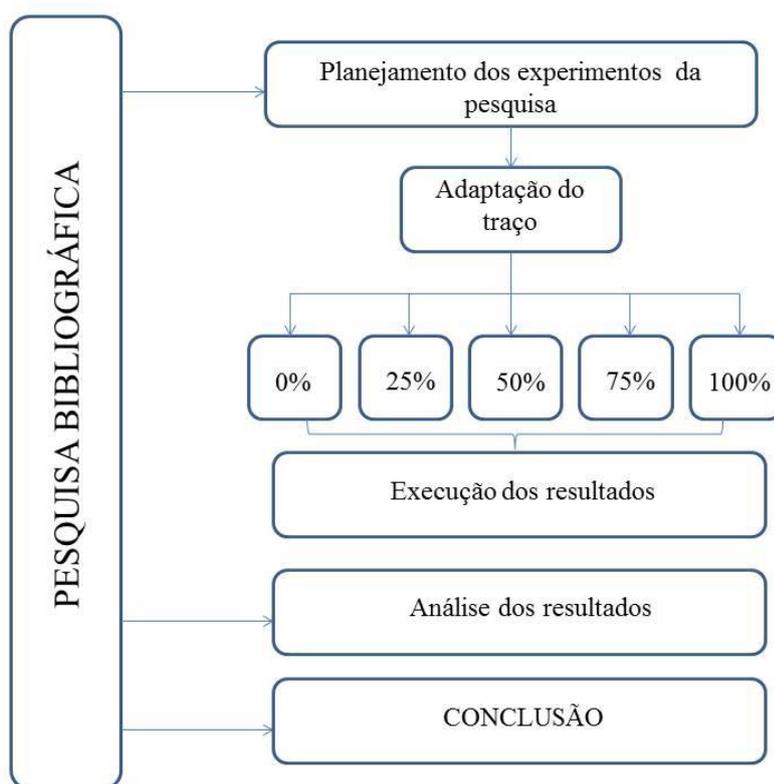
A pesquisa do presente trabalho é de natureza exploratória. Tendo como plano de fundo a busca pela substituição do método atual de utilizar areia natural na argamassa

autonivelante, por outra que use o pó de basalto e ainda atenda os parâmetros das NBR's, e confira a mistura propriedades indispensáveis como planeza, fluidez e auto-adensável.

3.1.4 Pesquisa científica quanto aos procedimentos de coleta de dados

A metodologia executada no trabalho se encontra sintetizada no Fluxograma abaixo Figura 06. No mesmo se encontra todas as etapas efetuadas para a concepção do trabalho. Entretanto, o Capítulo 04 – Materiais e métodos exemplifica melhor o procedimento experimental.

Figura 08 – Fluxograma da metodologia empregada no estudo.

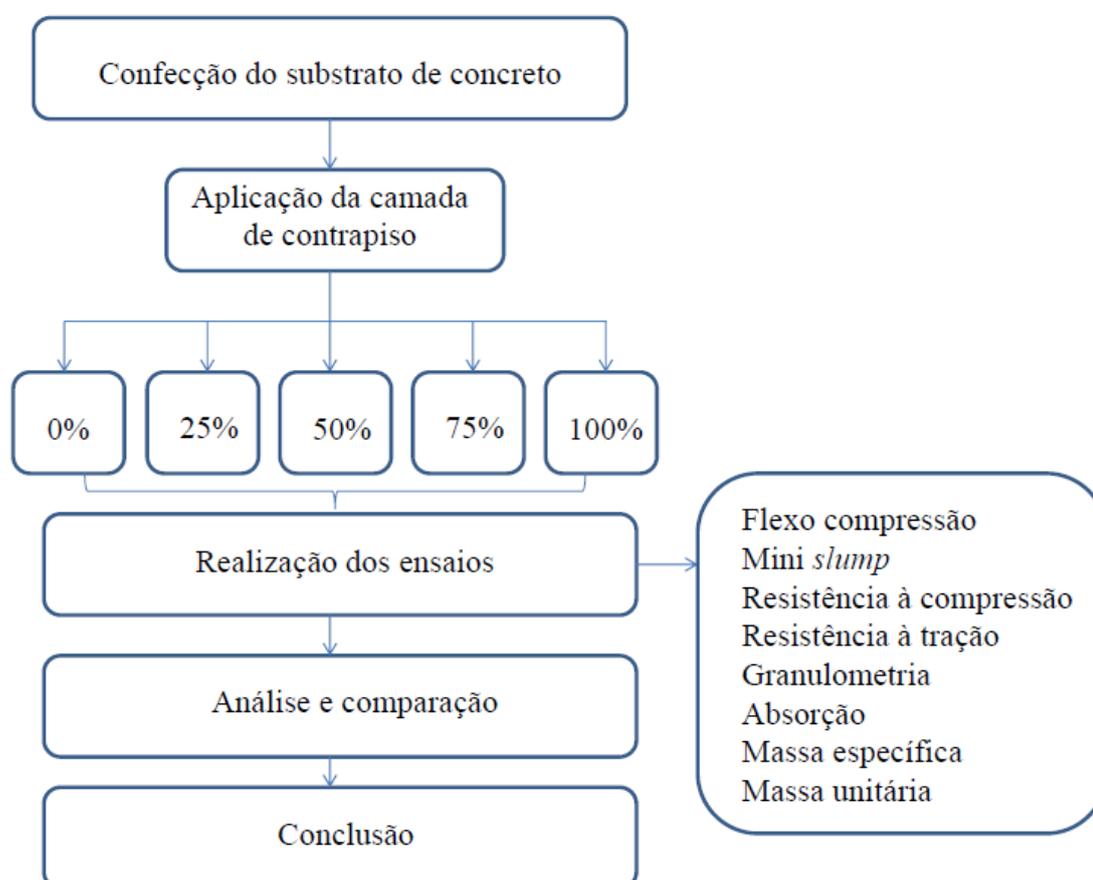


Fonte: Do autor (2017)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo aborda o programa experimental empregado no estudo. Descrevendo os métodos, materiais adotados, normas e diretrizes (vigentes), os equipamentos utilizados e a sequência de procedimento executados no estudo (Figura 08).

Figura 08 - Planejamento dos experimentos de pesquisa.



Inicialmente foram moldadas placas de concreto, que foram simuladas como substrato para a aplicação da argamassa autonivelante com adição do pó de pedra basáltica em substituição da areia natural. As porcentagens de substituições foram de zero, 25, 50, 75 e 100% de pó de pedra.

Primeiramente, se fez uma pesquisa bibliográfica para se adotar um traço de referência. Que sofreu supressão no teor de areia, que será substituída progressivamente por pó de basalto, isso tudo acondicionado a nossa realidade, pois na Serra Gaúcha o pó de pedra basalto é encontrado em abundância. Também foram esmiuçadas a execução, os parâmetros adotados e os ensaios feitos. Já os materiais e métodos empregados no estudo são descritas e melhor detalhados nessa etapa. Na fase final do Capítulo se encontram os ensaios de caracterização e também os ensaios que analisaram o comportamento do contrapiso autonivelante.

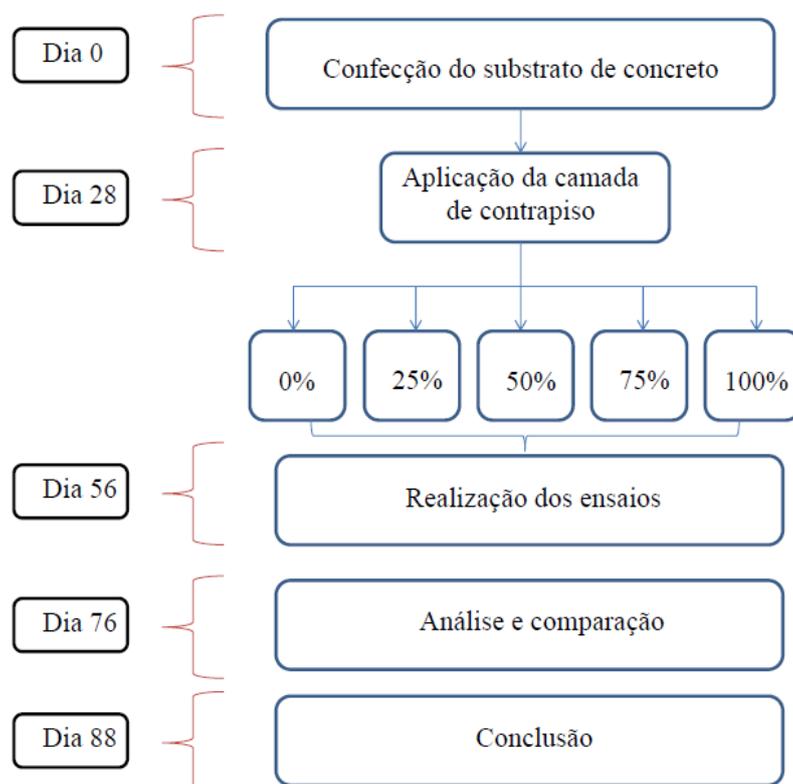
Esta proposta de experimento foi adaptada da dissertação de mestrado da Martins (2009). Entretanto, o plano de fundo deste presente trabalho é testar e validar a utilização do pó de basalto em substituição da areia natural. Enquanto, a autora testou em seu estudo diferentes traços com alteração nos aditivos.

As combinações foram avaliadas no estado fresco e endurecido. Os cinco traços de argamassa foram aplicados sobre lajes de 40 cm x 35 x 4 cm em fôrmas no LATEC da UNIVATES, tendo como intuito observar o estudo na aplicação prática.

A objetividade do estudo, é analisar e validar a adição de pó de pedra em substituição da areia natural, na argamassa autonivelante. Para simular o substrato, foram moldadas cinco placas de concreto que apresentaram resistência característica à compressão mínimas de 43,27 Mpa de média aos 28 dias. Esse traço apresentou uma resistência elevada por conta da adição do superplastificante.

No dia posterior a moldagem das placas que serviram de substratos, as mesmas foram desmoldadas e curadas ao ar livre, simulando as condições reais que o concreto passa durante sua cura no canteiro de obra. Ao final dos 28 dias os corpos de prova desse concreto foram rompidos e apresentaram as seguintes resistências que estão situadas no item 4.1.1, deste mesmo Capítulo.

Figura 09 - Períodos para a execução das etapas do programa experimental, em dias acumulados:



Fonte: Do autor (2017).

4.1 Materiais

Nesta etapa serão detalhados os materiais empregados na confecção das placas. Serão descritos os materiais e métodos de execução do substrato e de todos os traços de argamassa.

4.1.1 Substrato do concreto

O pó de pedra basáltica empregada nesse trabalho é proveniente da cidade de Nova Prata/RS, suas características técnicas são melhor apresentadas no item 4.1.5 desse Capítulo. O cimento empregado no estudo foi o CPV ARI/RS, sua descrição se encontra especificada no item 4.1.3. Já o agregado graúdo adotado para o substrato foi o de granulometria inferior a 9 mm, ou seja, a brita 0. No item 4.1.1 esta situada o quadro do traço escolhido para o estudo

em massa. O agregado miúdo empregado no substrato foi uma areia quartzosa, que tem origem do Rio Grande do Sul. Sua classificação e características estão descritas no item 4.1.4.

Na tabela 02 serão apresentadas as principais características físicas e mecânicas do cimento empregado no substrato, sendo 4 características do catálogo do fabricante:

Tabela 02 – Caracterização do cimento CP V

CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO CPIV		
ENSAIO	NBR VIGENTE	RESULTADOS
Massa específica	NBR NM 23/03	2,87 g/cm ³
Massa unitária	NBR NM 45/95	0,97 g/cm ³
Início de pega (fabricante)	NBR NM 65/02	265 min
Fim da pega (fabricante)	NBR NM 65/02	343 min
Resistência à compressão (7 dias/fabricante)	NBR 7215/96	39 Mpa
Resistência à compressão (28 dias/fabricante)	NBR 7215/97	45 Mpa

Fonte: Do autor e fabricante (2017).

O traço adotado foi retirado da bibliografia, mas precisamente do estudo de Longhi (2012). Pois, o mesmo foi utilizado como substrato para argamassas de diferentes fabricantes.

Tabela 03 – Traço adotado para a concepção do substrato.

Traço adotada para o substrato (massa)			
Cimento	a	p	a/c
1	2,3	2,7	0,45

Fonte: Do autor (2017).

Tabela 04 – Abatimento médio dos substratos confeccionados para este estudo.

Abatimento médio (cm)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
10,5	11,07	10,34

Fonte: Do autor (2017).

Figura 10 – Substratos de concreto que receberam os traços que variam de 0 a 100%.



Fonte: Do autor (2017).

4.1.2 Argamassa autonivelante

A argamassa autonivelante é auto adensável e sua base é de cimento. Sua estrutura no estado fresco é muito fluída e de fácil execução e aplicação, podendo ser bombeável e monocomponente. Sua principal utilização é em contrapiso, podendo ser aderido ou não ao substrato, como em mantas térmicas e/ou acústicas. Sua pró-atividade é tão grande que pode receber qualquer tipo de acabamento, ou sendo utilizado como superfície final de uso (RUBIN, 2015 e AENOR, 2003). Suas principais características são de fluidez elevada, autoadensabilidade, compactação por gravidade e pelo peso próprio.

O traço adotado da argamassa autonivelante, como anteriormente dito, deriva do estudo de Martins (2009). Sua estrutura se encontra detalhada a seguir:

Figura 11 – Traço em massa adaptado da dissertação de Martins (2009).

(1 : 1,25 : 0,05 : 0,0048 : 0,0143 : 0,365)					
CP IV	Areia e pó de pedra	Sílica ativa	Superplastificante	Modificador de viscosidade	H ₂ O

Fonte: Do autor, adaptado de Martins (2009).

O traço teve a água reduzida de 0,465g para 0,365g, pois os aditivos empregados no estudo permitiram essa adaptação, por serem de boa qualidade. Todas as variáveis, permaneceram constantes, exceto o teor de areia, que foi substituído progressivamente por pó de pedra, nas quantidades de 0, 25, 50, 75 e 100%.

Quadra 06 – Traços que demonstram a substituição da areia natural pelo pó de pedra.

Traço da argamassa autonivelante (g)						
CP V	Areia	Pó de pedra	Sílica ativa	SP	VMD	H ₂ O
1000	1250	0	50	4,8	14,3	365
1000	937,5	312,5	50	4,8	14,3	365
1000	625	625	50	4,8	14,3	365
1000	312,5	937,5	50	4,8	14,3	365
1000	0	1250	50	4,8	14,3	365

Fonte: Do autor (2017).

Na sequência todos os constituintes das argamassas motivo desse estudo, foram detalhados. No item 4.1.3 Cimento, foi abordado as suas características físicas e químicas, segundo os ensaios realizados em laboratório e fabricante. Outro ponto que será justificado é o porque da escolha do CP V/ARI.

4.1.3 Cimento

Cimento *Portland* é constituído por silicatos e aluminatos de cálcio. Sua principal peculiaridade é a de em contato com a H₂O ser moldável e em função do tempo ganhar resistência progressiva. Tutikian *et. al.* (2008) afirma que a melhor opção de cimento para a

argamassa autonivelante é a que apresente menor variabilidade no quesito compressão. Outro fator é que a finura do CP V ARI/RS contribui para a fluidez da pasta.

Portanto para esse estudo, o CP V ARI/RS foi o adotado por atender as solicitações elencadas. E por na bibliografia, ser um dos mais utilizados e um dos mais recomendados. Outro fator que determinou a opção por esse cimento, foi o de tê-lo em abundância nas casas especializadas de construção civil. E por a sua resistência à compressão nas idades iniciais, ser elevada e o efeito pozolânico, se tornar relevante quando se quer que o material tenha fluidez no seu estado fresco (argamassa autonivelante). As características química e física do cimento estão esmiuçadas, conforme estudos descritivos e indicação do fabricante, no quadro a seguir:

Quadro 06 – Composição segundo o fabricante

Componente	Faixa de concentração (%)
Silicato tricálcico	20 a 70
Silicato dicálcico	10 a 60
Ferro-aluminato de cálcio	5 a 15
Sulfato de cálcio	2 a 10
Aluminato tricálcico	1 a 15
Carbonato de magnésio	0 a 5
Óxido de magnésio	0 a 4
Óxido de cálcio	0 a 0,02

Fonte: Do fabricante (2016).

No item 4.1.4 está abordado e detalhado o agregado miúdo (areia), adotado para esse trabalho. Pois, suas características como compacidade, granulometria e geometria interferem diretamente na trabalhabilidade, resistência e acabamento final do contrapiso.

4.1.4 Areia/Agregado miúdo

A NBR 9935/2011 define a areia como agregado miúdo, que se origina de processos naturais ou artificiais. A granulometria das areias interfere diretamente na composição do traço e suas características geométricas também como a esfericidade, arredondamento e rugosidade dos grãos.

Carasek (2001) e Freitas (2007) afirmam que quanto maior o teor de areia, menor a aderência. Entretanto, a compactidade da massa aumenta, reduzindo o ar incorporado, que eleva a resistência mecânica. A composição granulométrica influencia na trabalhabilidade, compactidade e resistência aos esforços mecânicos. Na tabela a baixo se encontra a classificação das areias segundo a NBR 7211/2005:

Quadro 07 - Classificação das areias:

Tipo de areia	Módulo de finura
Areia grossa	2,71 e 4,02
Areia média	2,11 e 3,38
Areia fina	1,71 e 2,85
Areia muito fina	1,35 e 2,25

Fonte: ABNT, NBR 7211/2005.

No quadro 08 está o ensaio da granulometria NBR 7211/2005, todo detalhado:

Quadro 08 – Ensaio de granulometria da areia

Ensaio de Granulometria da areia			
#Malha (mm)	Massa retida (g)	%	% Acumulada
19,1	-	-	-
9,52	-	-	-
4,75	13,8	1,06	1,06
2,36	44,4	3,41	4,47
1,18	112	8,61	13,09
600	220,7	16,9	30,06
300	488	37,58	67,65
75	413,7	31,82	99,47
FUNDO	4,2	0,323	100
		100	
DMC			4,75
MF			2,15

Fonte: Do autor (2017).

A amostra adotada foi de 1300 g, como referência. Com propriedade dos resultados do ensaio de granulometria anteriormente citado, observou-se que a areia empregado é do tipo fina e tem módulo de finura 2,158. Já no item 4.1.5 será abordado as características e o detalhamento do pó de pedra, para ver se ele pode ser um substituto em potencial da areia natural.

4.1.5 Pó de pedra (Basalto)

Então, o basalto escolhido será caracterizado desde a sua origem, até o ensaio de granulometria que irá especificá-lo, com isso também poderemos fazer ajustes finos no traço de referência para que a argamassa atenda os parâmetros mínimos. A NBR 9935/2011 – Agregado – Terminologia. Será o condicionante da execução e interpretação do ensaio de granulometria.

Quadro 09 – Distribuição granulométrica do pó de pedra advindo da cidade de Nova Prata (Serra gaúcha):

Ensaio de Granulometria do pó de pedra basáltica			
#Malha (mm)	Massa retida (g)	%	% Acumulada
19,1	-	-	-
9,52	-	-	0
4,75	141,1	9,406	9,406
2,36	479,7	31,98	41,38
1,18	394,3	26,28	67,67
600	232,1	15,47	83,14
300	130,8	8,72	91,86
75	90,6	6,04	97,9
FUNDO	31,4	2,093	100
		100	
DMC			9,52
MF			3,91

Fonte: Do autor (2017).

4.1.6 Sílica ativa

A sílica ativa adotada para esse estudo foi a da empresa *Dow Corning Metais*. Sua utilização é recomendada em concreto, pasta de cimento *Portland* e argamassa. Um de seus

efeitos é de ser inerte, considerado não perigoso e não inflamável. As propriedades físicas e químicas da sílica que é produzida pela empresa anteriormente citada é detalhada a seguir:

Tabela 05 – Especificações do catálogo da *Dow Corning* Metais.

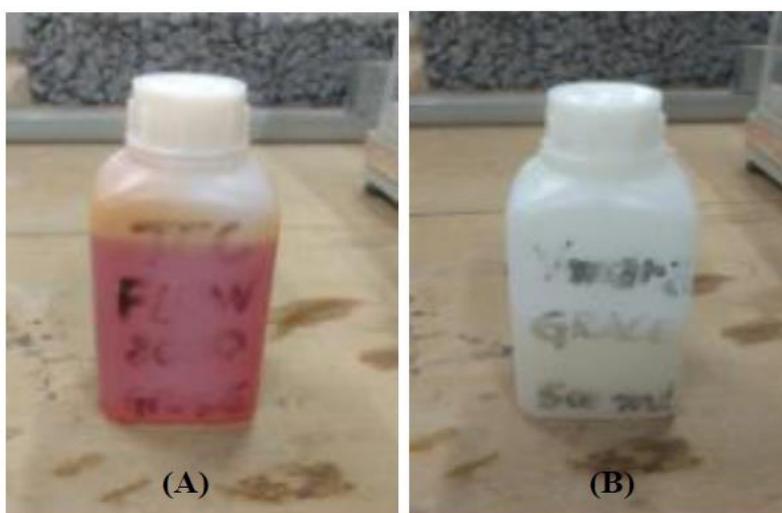
Características químicas e físicas da sílica adotada	
Estado físico	sólido
Diâmetro médio	0,40 μm
Cor	cinza claro
Odor	Sem odor
pH	<10,0
Ponto de fusão	1550-1570 °C
Densidade aparente	150-700 kg/m ³
Solubilidade	Insolúvel em H ₂ O, HF, KOH e NaOH

Fonte: Adaptado pelo autor, *Dow Corning* Metais (2016).

4.1.7 Aditivos

Para a produção dessa argamassa motivo de estudo. Foram utilizados dois aditivos sendo um superplastificante e outro o modificador de viscosidade. As descrições técnicas de cada um se encontra melhor especificada a seguir:

Figura 12 – Aditivos empregados no estudo (a) superplastificante – SP e (b) modificador de viscosidade (VMA).



Fonte: Do autor (2017).

4.1.7.1 Superplastificantes

Sua utilização concede a argamassa fluidez elevada. Este aditivo carrega às cargas de mesmo sinal, por um efeito de repulsão eletrostática, que dispersa as partículas do cimento, e isso faz que para uma mesma trabalhabilidade, se utilize menos H₂O (MARTINS, 2009).

As principais finalidades do aditivo são reduzir o consumo de H₂O, a fluidez para regiões de difícil acesso, o aumento da resistência e redução de custos, retração, fluência e tensões térmicas. Entretanto, a utilização excessiva do superplastificante ocasiona segregação das partículas e perda de estabilidade.

Por isso, nesse trabalho o aditivo superplastificante utilizado é de alto desempenho. Sua composição é isenta de cloretos e atende a NBR 11768/2011. Sua formulação é indicada para concretos pré-fabricados, mas principalmente para argamassa e concreto auto adensáveis. Sua categoria é a do naftaleno sulfonato, também conhecidos como de segunda geração, que permite a redução de água em até 25%. Para qualquer dúvida técnica, só consultar o item 2.1.3.5.1.

Seus principais benefícios são: redução da água de amassamento, fluidez, facilidade no adensamento e coesão da argamassa, isso tudo no estado fresco. Já no endurecido possibilita resistências mecânicas iniciais e finais bem elevadas, aderência melhorada, diminuição da permeabilidade e a fissuração e minorada.

Quadro 10 – Descrição do superplastificante segundo o fabricante GRACE:

PRODUTO	DESCRIÇÃO DO PRODUTO	ASPECTO/CO R	DOSAGEM RECOMEN DA A (SPC%)	MASSA ESPECÍFIC A g/cm ³ (NBR 10908)
Tec Flow 8000	Aditivo de elevada tecnologia, desenvolvido para a obtenção de concreto de alto desempenho, auto-adensáveis, para pré-moldados e para artefatos de cimento - proporciona manutenção da trabalhabilidade por elevados períodos e obtenção de elevadas resistências. Excelente custo benefício, devido a sua funcionalidade em baixas dosagens.	Líquido alaranjado	0,3 a 2,0 %	1,080 - 1,120

Fonte: Fabricante (2015).

4.1.7.2 Modificadores de viscosidade

São produtos à base de polissacarídeos que adsorvem H_2O . Por isso, minimizam a exsudação e aumentam a viscosidade da pasta, evitando assim a segregação dos agregados. Suas principais vantagens são: melhoria da homogeneidade, coesão durante o lançamento e fluidez que vence grandes vãos no plano horizontal (MARTINS, 2009).

O aditivo adotado para esse estudo também é de alto desempenho. Sua ação é de espalhar a argamassa sem segregar. Sua composição é a base de patenteado bio-polímeros. Suas principais vantagens são: a eliminação da vibração, isenção da segregação e livre acesso as regiões mais estreitas dos elementos de concreto. As dosagens de partir de 0,1 até no máximo 0,6 % da relação da massa do cimento. A descrição do aditivo modificador de viscosidade se encontra esmiuçado, n tabela abaixo:

Tabela 06 – Caracterização segundo o fabricante.

Caracterização do modificador de viscosidade
Aspecto: líquido viscoso
Cor: levemente amarelo e cinza
Validade: 1 ano
Fornecimento: embalado e comercializados em tambores de 200 Kg ou contentores de 100 Kg ou a granel
Clorestos: isento
pH: 9,50

Fonte: Do autor, adaptado do catálogo da Grace (2016).

4.1.8 Água

O volume de H_2O adicionado na argamassa é volátil e variável. Por diferentes fatores como tipo de cimento, agregados (propriedades), quantidade de partículas finas, aditivos, adições e entre outros. A H_2O tem quatro funções na mistura da argamassa, que são: hidratação do cimento, absorção e adsorção dos agregados (finos), preenchimento de

porosidade e fluidez da pasta. O que tangencia as propriedades reológicas do concreto fresco é o fator água/cimento (a/c). A água adotada é a fornecida pela CORSAN.

4.2 ENSAIOS REALIZADOS

No presente trabalho, para melhor internalização do estudo o programa de ensaio foi dividido em duas etapas. Na primeira, ocorreu a caracterização da argamassa autonivelante, em seus dois estados sendo eles o fresco e o endurecido. Portanto, foram feitos os ensaios de densidade da massa, o de resistência à compressão, resistência à tração e flexão e granulometria.

Já segunda etapa, se refere à mensuração do desempenho da argamassa. Para quantificar isso, foram realizados os seguintes ensaios: resistência de aderência à tração e a análise tato visual da superfície.

4.2.1 Densidade da massa

Esse ensaio foi realizado seguindo rigorosamente a norma NBR 13278 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a). Basicamente o ensaio segue o princípio de determinar a massa do material em um recipiente de volume conhecido, derivando uma razão entre a massa e o volume. Com propriedade dessa informação, podemos quantificar a quantidade de ar incorporado na pasta, tornando a aplicação da argamassa facilitada.

4.2.2 Resistência à tração na flexão e à compressão

Os dois ensaios foram norteados pela NBR 13279 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b). O ensaio consiste em determinar os corpos de prova prismáticos com dimensões de 4x4x16 cm para ensaiar as resistências de tração e flexão. Posteriormente a ruptura, seis corpos de prova, assim a resistência à compressão é mensurada.

A importância desses ensaios se justifica pela durabilidade final da argamassa, se os valores forem extremistas os mesmos podem indicar rigidez ou fragilidade final.

4.2.3 Ensaio de consistência da argamassa ou mini slump

O ensaio consiste em um aparelho onde é colocado o tronco do cone, sobre a parte plana, e ali são acrescentadas as três camadas. Sendo que a primeira é empregado 15 golpes, na segunda 10 golpes e na última 5 golpes, todos devendo ser uniformes e em tempo similares.

Na segunda etapa do ensaio, o aparelho aplica 30 golpes contínuos na mesa que acondiciona a argamassa, Na sequência é medida a abertura da argamassa, com propriedade desse resultado podemos calcular a relação a/c.

4.2.4 Resistência de aderência à tração

O ensaio foi rigorosamente executado, seguindo a NBR 13528 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010). De maneira simplificada, o ensaio consiste em realizar um teste de carga em uma área específica. Portanto, é feito no revestimento o corte circular de diâmetro de 5 cm com o auxílio do serra copo. Na sequência, cola-se uma pastilha, que se interligará com o equipamento que aplicará a carga de tração.

A unidade de medida do resultado pelo (SI) é KN. A área de cada pastilha é medida e através de cálculo se encontra a resistência em Mpa. Mas, além disso, a norma também leva em consideração a maneira que a ruptura ocorreu, simulando assim o comportamento do revestimento, toda essa análise é importante para a compreensão do comportamento da argamassa.

A argamassa autonivelante tem um elevada resistência, e essa pasta vem sendo estudada nos últimos tempos. Com esse panorama, o plano de fundo desse estudo é o de investigar e entender a aderência e o comportamento da argamassa autonivelante no substrato de concreto convencional. Esse estudo optou por seguir o método de arrancamento seguindo rigorosamente os preceitos da Norma 13528 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS

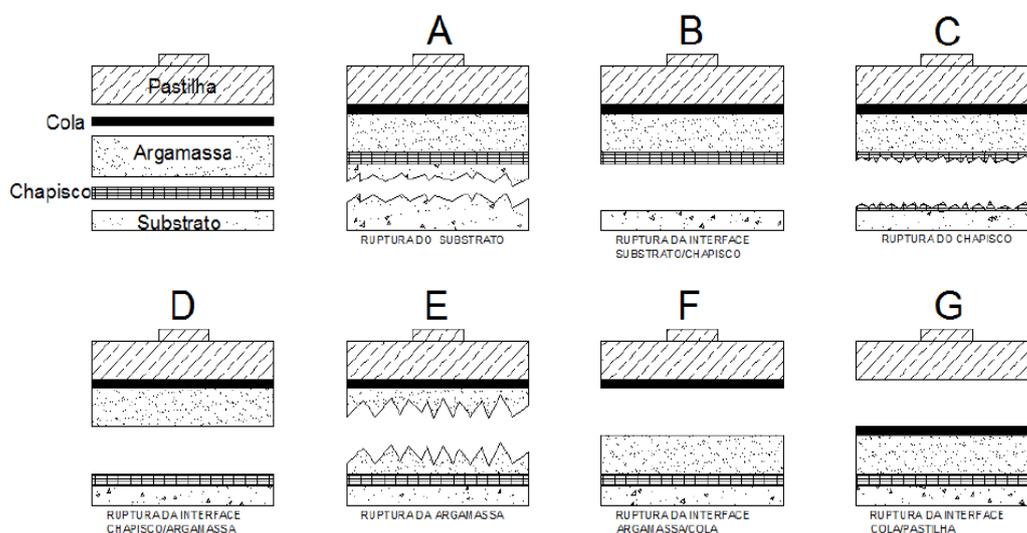
TÉCNICAS, 2010) que se refere: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da aderência à tração.

Essa norma é pré-estabelecida para a argamassa de revestimento. Porém, esse entendimento da aderência é importante para embasar ainda mais o estudo, esse ensaio também foi executado, por não terem estudos que indiquem a resistência entre as duas superfícies (argamassa autonivelante com adição de basalto e o substrato convencional).

No processo de execução do ensaio a superfície das placas não apresentava irregularidades, por se tratar de argamassas autonivelantes. Portanto, a resina epóxi teve contato total de aderência da chapa circular com os pontos ensaiados, que foram 12 por traço.

Tendo as condições perfeitas para o ensaio as chapas circulares foram coladas e bem aderidas. O substrato tem 4 cm de altura e a camada da argamassa tem em torno de 2 cm. A seguir são apresentadas as formas de rupturas, na figura 13. Mas, vale fazer a ressalva que esse ensaio é para arrancamento de revestimento, por isso, na bibliografia todos tem uma camada de chapisco, porém para entendimento se despreza o chapisco e avalia todo o resto.

Figura 13 – Formas de ruptura do ensaio de resistência de aderência à tração



Fonte: Longhi (2012), adaptado da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010.

4.2.5 Análise tato-visual da superfície

Esse ensaio é qualitativo, sua precisão depende de avaliador para avaliador. Pois, não tem auxílio de nenhum equipamento, sua metodologia consiste em observar a oscilação de cor da superfície do revestimento. A principal busca do estudo é identificar áreas manchadas ou outra textura da argamassa.

A NBR 13749 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996, P.6) informa que o revestimento ao ter a pressão da mão não pode se desagregar, pois isso é um indicio de argamassa incoerente para aplicação em canteiros de obra. Mas a norma indica possíveis causas como excesso de finos ou traço pobre em aglomerante.

4.2.6 - Ensaio de resistência à compressão

Esse ensaio foi executado de acordo com a NBR 7215/2010. Os corpos-de-prova são rompidos na prensa elétrica. As idades testadas foram de 7 e 28 dias, cada formulação com dois corpos, a resistência final deriva da média final das duas amostras rompidas. Os resultados são descritos no item 4.1.1 mais precisamente no Tabela 02.

4.2.7 – Ensaio de absorção

O corpo-de-prova é seco na estufa, posteriormente determinasse a massa. Na sequência o mesmo é imerso, num período de aproximadamente 24 horas, para o ar retido nos poros ser liberado. Após esse processo, aplica-se a equação da norma. Lembrando, que esse ensaio também foi feito nos agregados miúdos além da argamassa.

4.2.8 – Ensaio de granulometria

O ensaio de granulometria ocorre por uma sequência de peneiras que são empilhadas da maior malha para a menor. Quem faz a movimentação do processo é o agitador mecânico, que funciona por cerca de 20 minutos. Todo o processo foi rigorosamente seguido à risca,

conforme a NBR 7211/1983 – Agregados e determinação da composição granulométrica. O intuito deste ensaio é fornecer uma curva granulométrica dos dois agregados miúdos motivos de estudo para compará-los e ver se a substituição é viável e se os comportamentos são similares.

4.2.9 Massa específica

A massa específica de um agregado miúdo é quantificado por intermédio da relação entre a massa total de uma amostra (volume) de agregados e esse volume, levando em consideração os vazios entre os grãos dos agregados, a NBR que rege esse ensaio é a 7211/1983.

4.2.10 Massa unitária

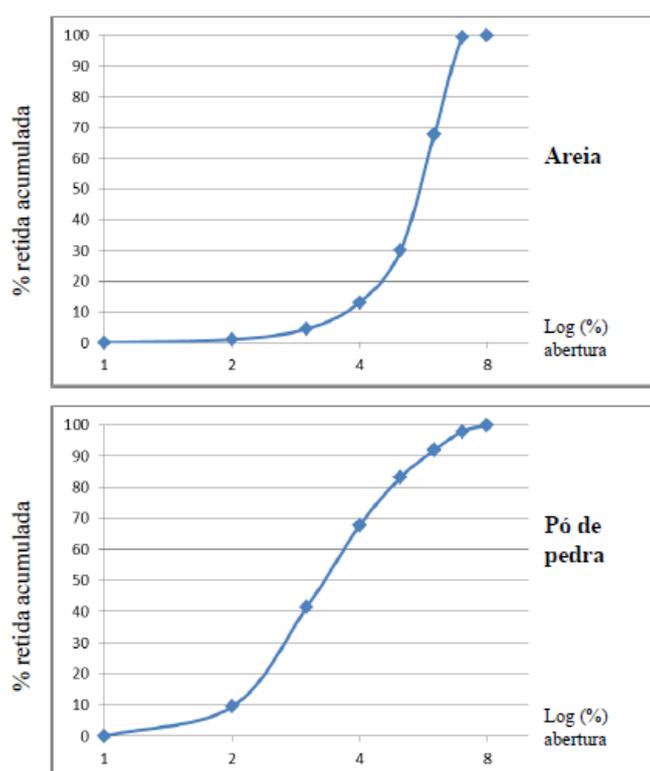
É a razão da massa de um agregado em recipiente e o volume do mesmo. Todo o procedimento do ensaio é normatizado pela NBR 7211/1983. Através desse ensaio determinamos a quantidade de massa do agregado “areia” e o “pó de pedra”.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

No presente capítulo os resultados obtidos no percurso da pesquisa, estão apresentados e analisados. Para melhor entendimento os dados também foram fragmentados, em propriedades dos materiais, seguido pelos ensaios e desempenho final da argamassa autonivelante com substituição da areia natural, por pó de pedra, para validar ou não o estudo.

5.1 Análise comparativa entre os materiais motivos de estudo “areia natural e pó de pedra”

Figura 14 – Curva granulométrica comparativa o pó de pedra em relação a areia



Fonte: Do autor (2017).

Tabela 07 – Resultado das caracterizações realizadas na areia natural e no pó de pedra

Ensaio	Areia natural	Pó de pedra
DMC	4,75	9,52
MF	2,15	3,91
Massa específica (g/cm ³)	2,53	2,78
Massa unitária	1,61	1,82
Absorção (%)	0,43	2,69
Matéria orgânica	isento	isento

Fonte: Do autor (2017).

Os resultados obtidos na tabela 08 demonstram que os dois agregados (areia e pó de pedra), apresentam os aspectos esperados. Porém, com diferenças relevantes para esse estudo, como o teor de materiais pulverulentos dos agregados, segundo a NBR 7219 – Determinação do teor de materiais pulverulentos, o valor máximo que deve passar na peneira 0,075 mm é de 3 % em superfícies que terão desgaste abrasivo e pode ser usado 5 % em outros concretos e argamassas. Mas, a norma tem a exceção de o pó de pedra utilizar 20 %, pois seu efeito de compactidade da pasta aumenta, tornando-a mais rija e durável.

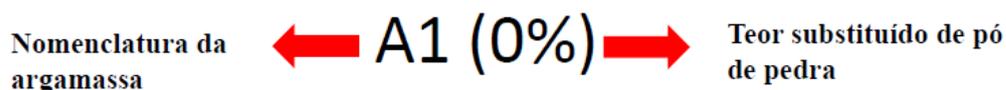
Essa utilização desse pó de pedra se torna muito viável segundo a NBR anteriormente citada. Além de minorar o impacto ambiental, pois reaproveita esse material que seria descartado. Outro fator que também merece atenção é a absorção do pó de pedra que se comparado com a areia é bem superior, portanto, a perda de trabalhabilidade diminui devido ao a elevada presença de finos. Esses resultados encontrados se assemelham com os da literatura como Giordani (2014) e Menossi (2004).

5.2 Argamassa contrapiso

Os ensaios de caracterização e controle da argamassa autonivelante são rigorosamente seguidos conforme norma vigente. Os ensaios executados foram à resistência à tração na flexão, compressão e absorção.

O traço da argamassa autonivelante é fixo. Porém, só o teor de areia é gradativamente minorado para ser substituído por pó de pedra. Para melhor internalização do estudo cada traço foi nomeado por A1 (0%), A2 (25%), A3 (50%), A4(75%) e A5(100%).

Figura 15 – Esquema de nomenclatura adotado no estudo



Fonte: Do autor (2017)

Na tabela a seguir, estão apresentados os valores médios das propriedades das argamassas autonivelantes, que tiveram a substituição de areia por pó de pedra (parcialmente e integralmente).

Tabela 08 – Propriedades das argamassas de contrapiso e as suas respectivas normas

ARGAMASSAS AUTONIVELANTES							
Ensaio	NBR	Média	A1 (0%)	A2 (25%)	A3 (50%)	A4 (75%)	A5 (100%)
Resistência à tração na Flexão (KN)	15259 (ABNT, 2005)	Média	9,73	9,07	6,49	8,01	7,21
		Desvio padrão	0,26	0,7	0,17	0,7	0,088
Resistência à compressão (MPa)	13279 (ABNT, 2005)	Média	44,9	40,78	37,67	51,93	42,25
		Desvio padrão	0,365	0,04	1,89	1,96	0,91

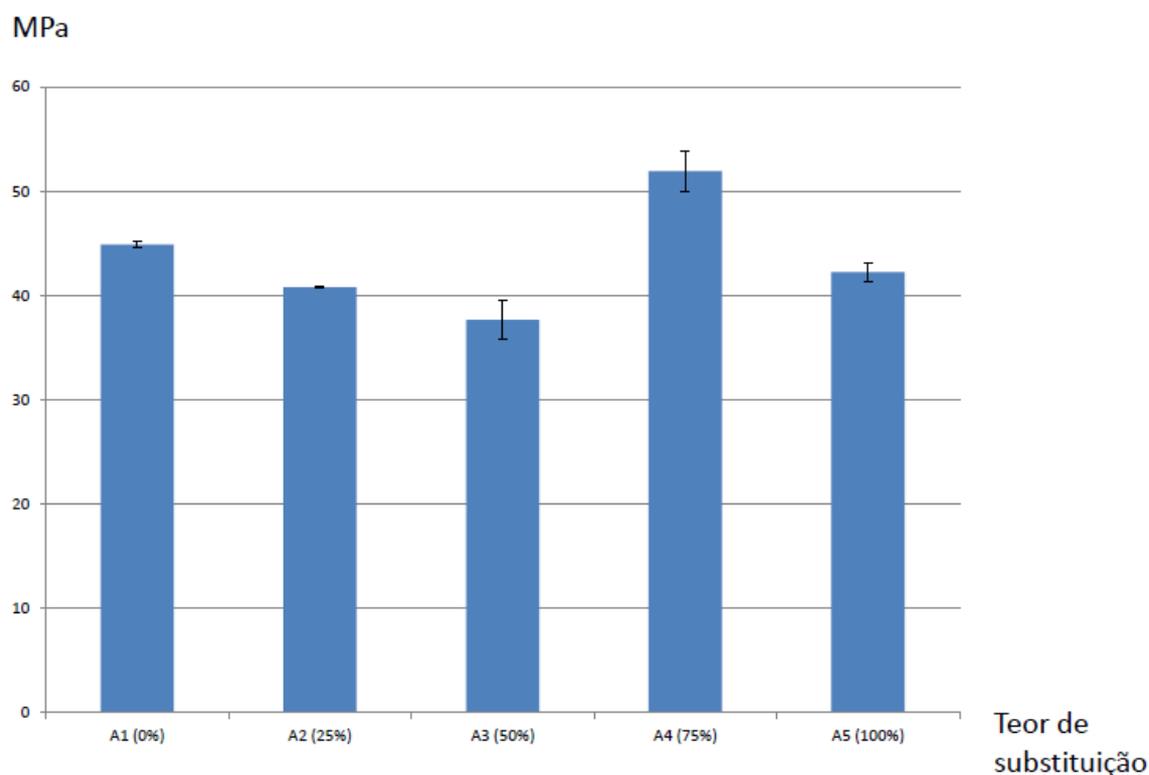
Fonte: Do autor (2017).

Com base nos dados fornecidos pelo ensaio o traço A4 (75%), apresentou a maior resistência. Porém, isso era esperado para o de A5 (100%) pelo menos se equipará. A justificativa de esses dois serem os mais resistentes são o batimento reduzido, a presença de muito material fino que deixa a pasta com maior compacidade, minorando a porosidade e por consequência tornando o mais rígido.

Além da compacidade outro ação que pode ter ocorrido é o efeito *fíler*. O que quer dizer que o empacotamento da mistura foi melhorado, gerando assim uma argamassa com maior resistência à compressão. Outro ponto bastante importante é a absorção, pois a água

absorvida pelo pó de pedra pode ter sido liberado gradativamente durante o tempo de cura, tornando-se um agente interno de cura (GIORDANI, 2014).

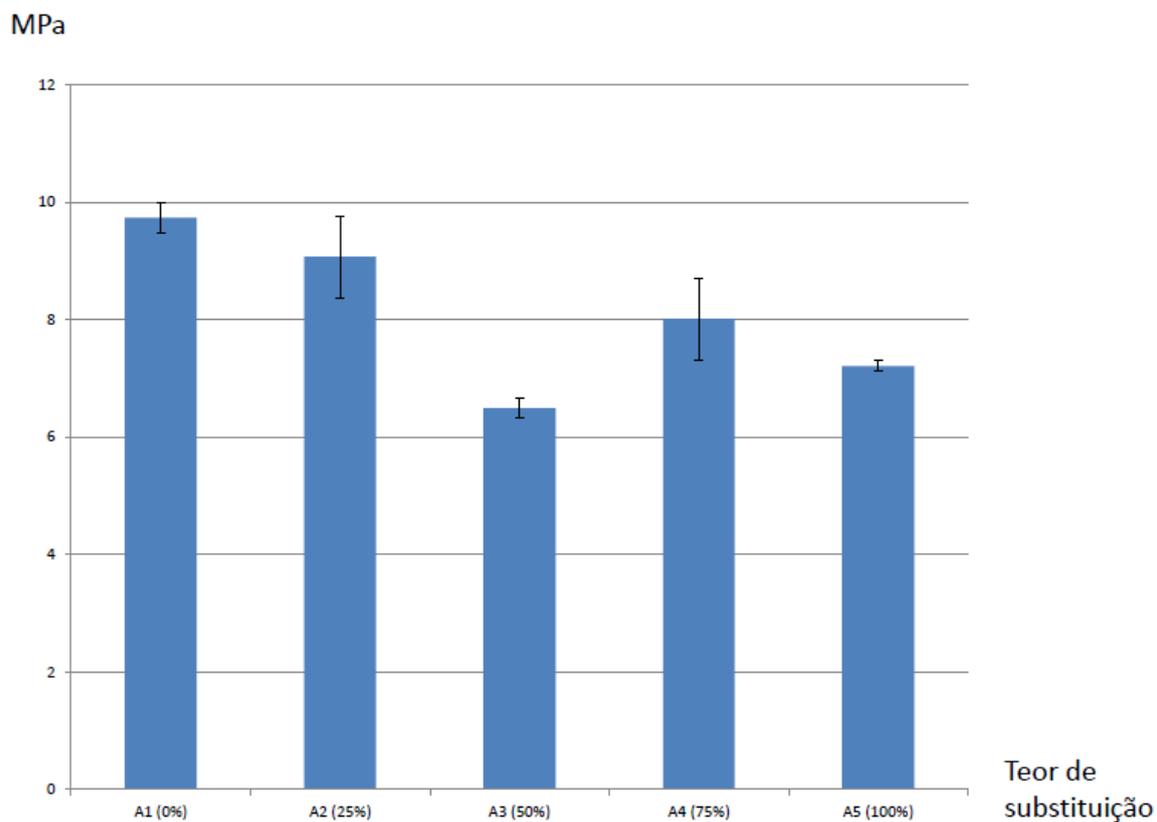
Figura 16 – Desvio padrão das argamassas no ensaio de compressão



Fonte: Do autor (2017).

A resistência dos 75 % é a maior, quando comparada com os outros traços. Esse traço adaptado de Martins (2009) é de alta resistência. Por isso, os traços adotados para este estudo está contemplado na faixa de pisos, pois ultrapassa a ordem de 20 Mpa. Essa classificação deriva da norma europeia a EFNARC (2001).

Figura 17 – Desvio padrão no ensaio de tração



Fonte: Do autor (2017).

5.2.1 Densidade da argamassa

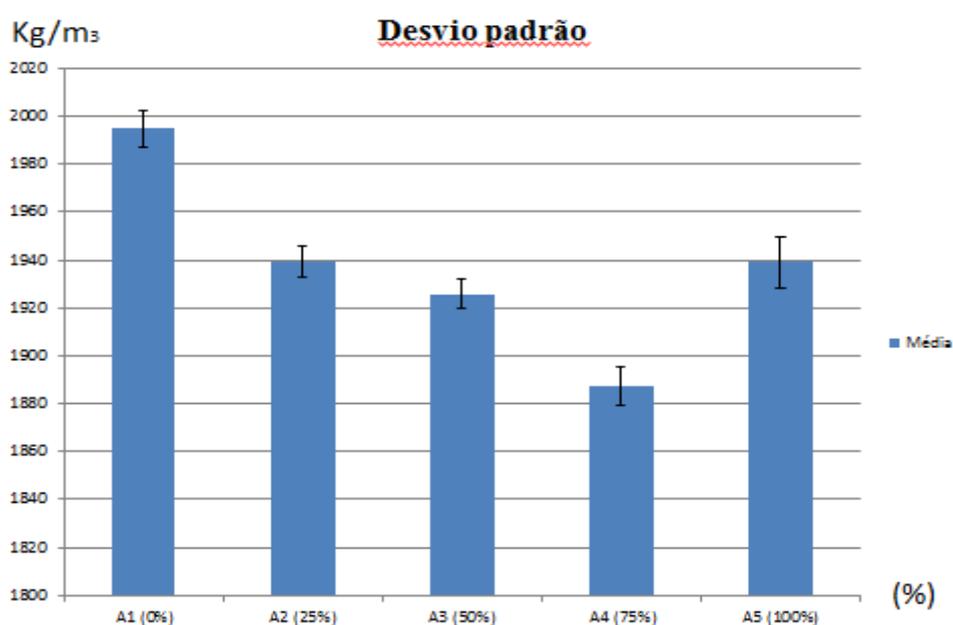
O ensaio ocorreu na idade dos 28 dias. Segundo Rubin (2015) em sua pesquisa a argamassa autonivelante em todas as combinações foi menos densa que a argamassa do tipo “farofa”. Para melhor interpretação, os resultados encontrados foram comparados com a literatura. Por isso, abaixo estão descritos os resultados encontrados, com os seus desvios padrão e média.

Tabela 09 – Resultados do ensaio de densidade

DENSIDADE					
% Substituição	0%	25%	50%	75%	100%
CP 01	2002,6	1967,3	1932,1	1873,5	1815
CP 02	1987,4	1954	1919,6	1889	1836,8
Média	1995	1939,45	1925,85	1887,35	1939
Desvio padrão	7,6	6,65	6,25	7,75	10,9

Fonte: Do autor (2017).

Figura 18 – Desvio padrão da densidade



Fonte: Do autor (2017).

Os resultados encontrados no ensaio são condizentes com os encontrados por Rubin (2015), que oscilou de 1707,71 a 1887,00 Kg/m^3 e com o de Barluenga e Olivares (2010) que analisou diferentes adições minerais, e a média das combinações partiu de 1720 a 2110,0 Kg/m^3 .

5.2.2 Slump-test (abertura)

O ensaio do mini *slump test* foi feito nas cinco argamassas conforme a EFNARC (2002). A execução do ensaio ocorreu após as argamassas estarem homogêneas. Com isso,

pode-se confeccionar as camadas de contrapiso e os corpos-de-prova. Os resultados encontrados se encontram abaixo.

Tabela 10 – Ensaio do *slump test*

ENSAIO	0%	25%	50%	75%	100%
Consistência	41	40,8	39,5	37	35,6
(cm)	41,8	40	41	37,6	37,1
Mini slump	40,6	41,3	39,2	38	36,1
Média	41,13	40,7	39,9	37,53	36,2



Fonte: Do autor (2017).

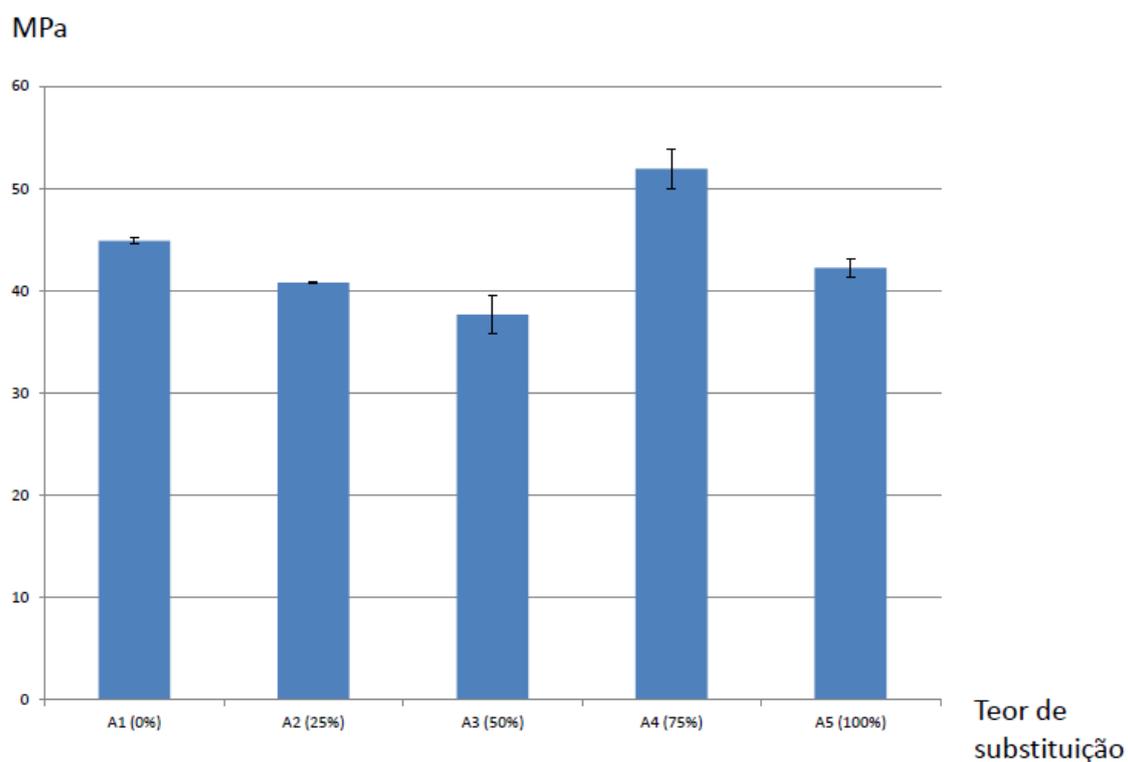
Observou-se com esses resultados que a argamassa A5 (100%) obteve o menor índice de fluidez. Quando comparada com os outros quatro traços que tiveram substituição parcial de areia pelo pó de pedra basáltica. Outro ponto, analisado foi que o seu escoamento foi o mais lento em cerca de 16,04 (segundos), isso em função de sua maior viscosidade.

Já a A4 (75%) teve uma abertura média de 37,53 cm. E seu espalhamento foi de 13,9 (segundos). A3 (50%) teve uma abertura média de 39,9 cm. E o tempo de espalhamento foi de 10,8 (segundos). A A2 (25%) teve abertura média de 40,7 cm e o seu espalhamento foi de 8,6 (segundos). Na última A1 (0%) obteve um espalhamento 41,13 cm no tempo de 5,1 (segundos). Ou seja, por o índice de forma do pó de pedra ser maior que o da areia ele gera um travamento, por os grãos serem mais lamelares, o minora a trabalhabilidade da mistura, gerando essa diminuição de espalhamento.

Entretanto, Rubin (2015) afirma que a fluidez pode oscilar e variar devido e inúmeros fatores. Entre eles estão o teor e adição de aditivos, o cimento adotado, os agregados, a relação de a/c e as adições minerais.

Como anteriormente descritos os resultados do desvio padrão da argamassa, aqui estão em forma gráfica:

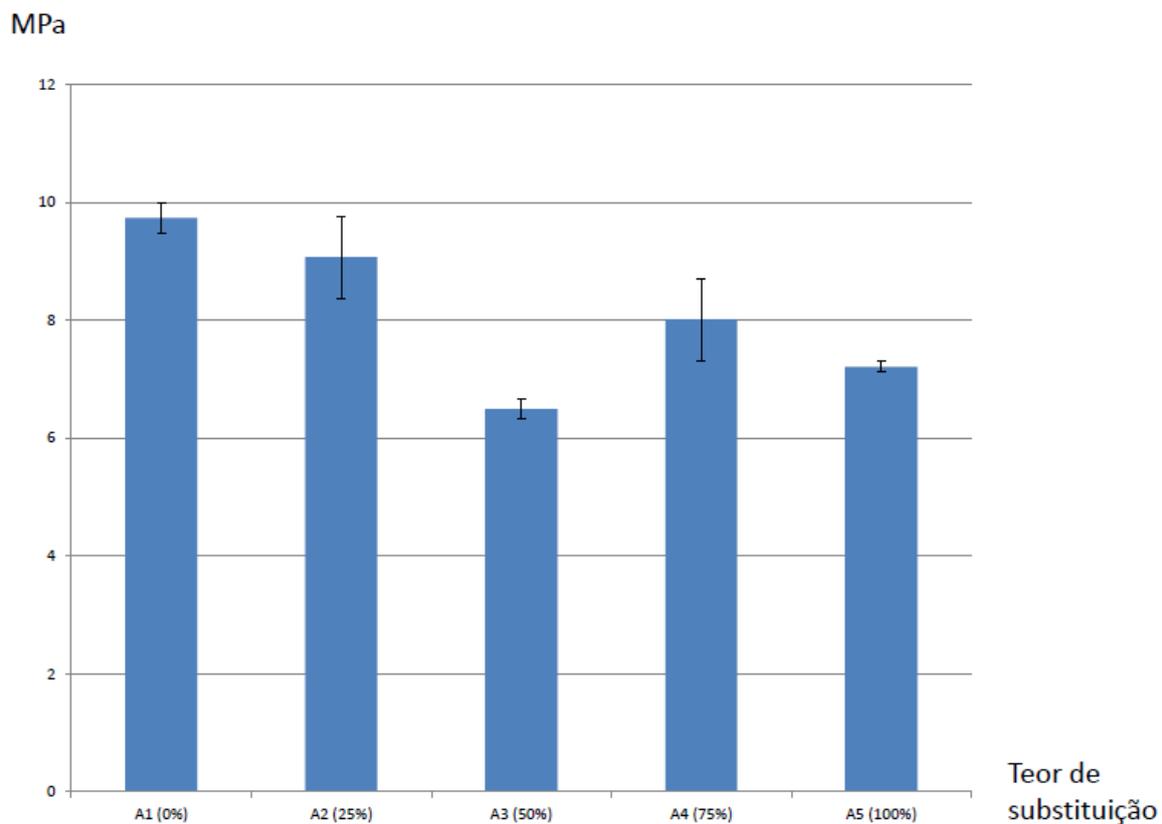
Figura 19 – Desvio padrão das argamassas no ensaio de compressão



Fonte: Do autor (2017).

A resistência dos 75 % é a maior, quando comparada com os outros traços. Esse traço adaptado de Martins (2009) é de alta resistência. Por isso, os traços adotados para este estudo está contemplado na faixa de pisos, pois ultrapassa a ordem de 20 Mpa. Essa classificação deriva da norma europeia a EFNARC (2001).

Figura 20 – Desvio padrão no ensaio de tração

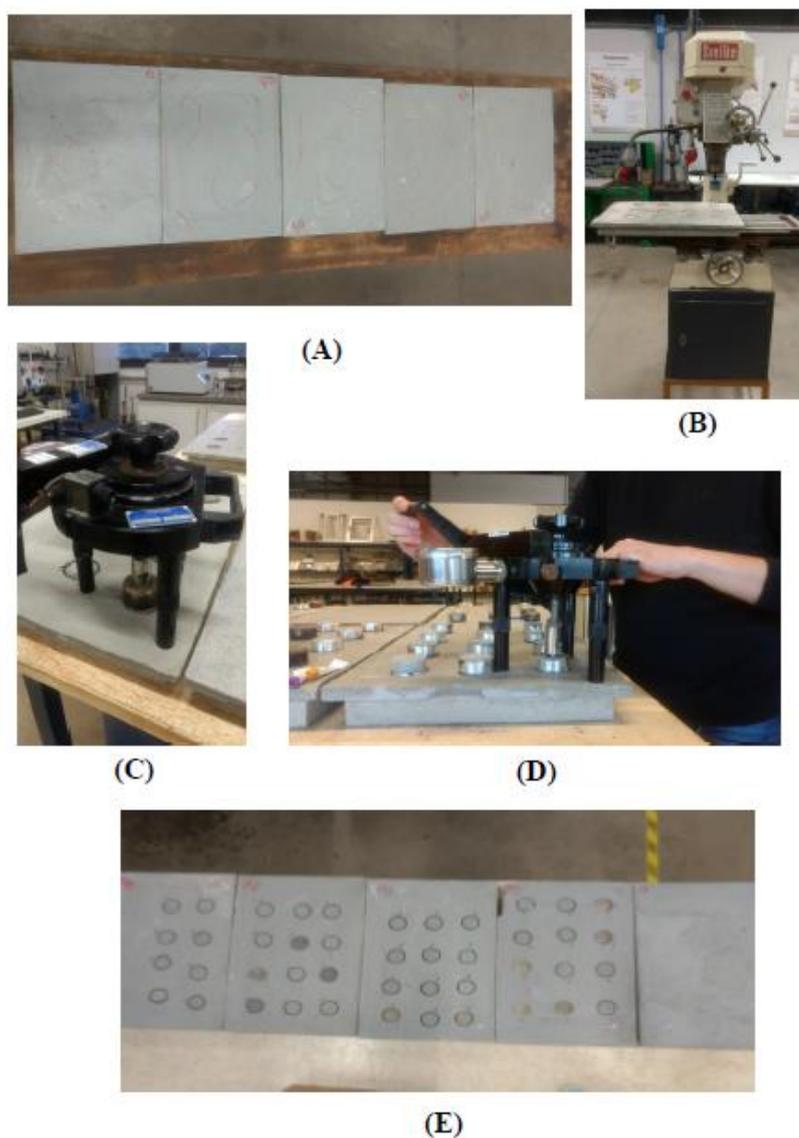


Fonte: Do autor (2017).

5. 2. 3 Aderência pelo método de arrancamento

Na Figura 21, está descrita a ordem de execução do ensaio de arrancamento.

Figura 21 – (A) Placas com substituição de 0 a 100%, (B) Equipamento de corte *SunLike*, (C) Arrancador manual das pastilhas, (D) Ensaio sendo executado e (E) Imagem panorâmica das placas ensaiadas



Fonte: Do autor (2017).

Para melhor apresentação dos dados foi elaborado uma tabela. Da qual as argamassas são separadas por colunas que sintetizam todos os dados obtidos. Os valores da tabela estão com a unidade de medida MPa. E na legenda esta especificado cada cor empregada, para sinalizar como ocorreu a ruptura e se algum não pode ser ensaiado e por que motivo.

Outro ponto importante é ressaltar que os valores que não estão hachurados, romperam na junção da argamassa com a cola, ou seja a cola teve resistência inferior a da argamassa autonivelante. No Quadro 11 se encontram os dados extraídos do ensaio:

Quadro 11 – Resultados do ensaio de arrancamento

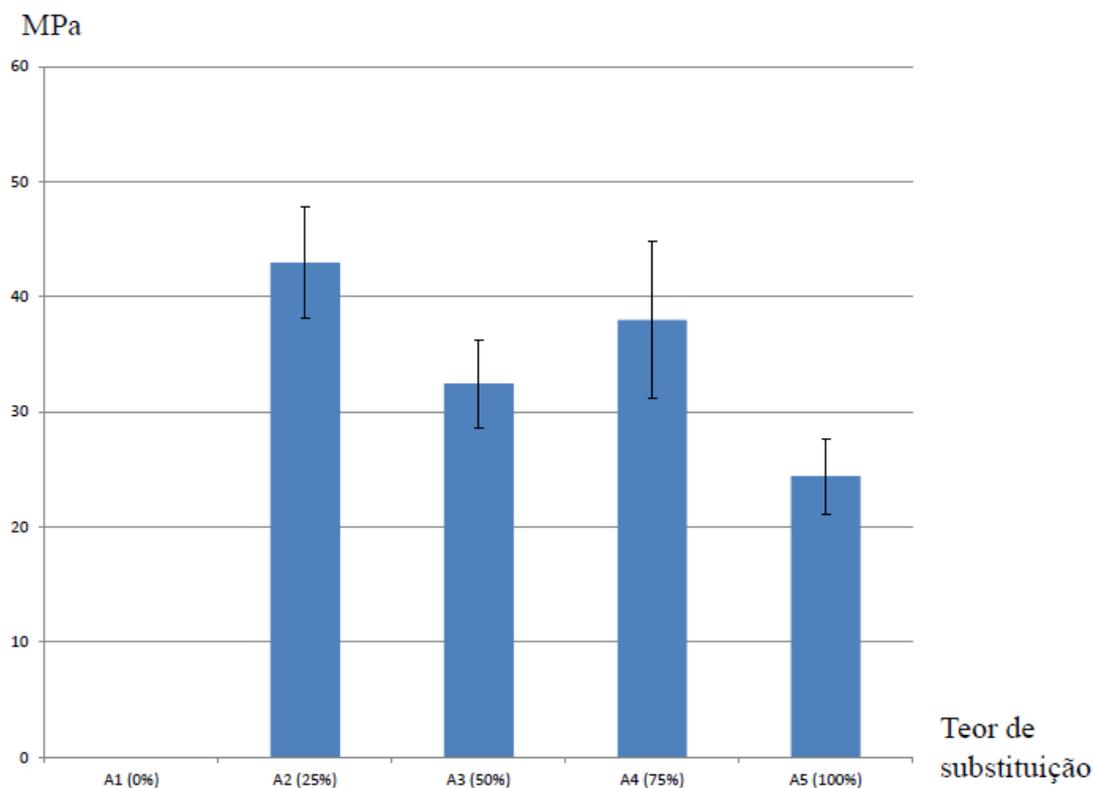
Tensão de ruptura					
CP	A1 (0%)	A2 (25%)	A3 (50%)	A4 (75%)	A5 (100%)
1	0	53,34	35,51	35,99	20,59
2	0	45,01	27,06	40,79	25,39
3	0	47,07	38,83	28,43	24,9
4	0	38,24	30,89	28,24	29,91
5	0	48,73	41,08	52,94	28,83
6	0	41,67	35,69	26,18	19,61
7	0	43,83	32,85	41,67	21,57
8	0	36,28	29,42	40,69	xx
9	0	45,3	28,43	51,38	xx
10	0	26,47	33,73	40,99	xx
11	0	43,14	27,45	30,4	xx
12	0	46,38	28,53	38,24	xx

%	A1 (0%)	A2 (25%)	A3 (50%)	A4 (75%)	A5 (100%)
Média	0	42,955	32,455	37,995	24,4
Desvio Padrão (Mpa)	0	4,86	3,82	6,78	3,26

LEGENDA	
	Amostra que não pode se ensaiada por causa do deslocamento
	Amostras que não foram ensaiadas por a máquina do corte não consegui cortar
	Amostras que romperam no substrato

Fonte: Do autor (2017).

Figura 22 – Desvio padrão das argamassas autonivelantes



Fonte: Do autor, adaptado da NBR 13749.

Para resumir todo o ensaio e para melhor entendimento, foi-se confeccionado o quadro a seguir que descreve os principais resultados relevantes do ensaio:

Quadro 12 – Análise do ensaio de arrancamento

Placas em sequência de substituição 0, 25, 50, 75 e 100 (%) de pó de pedra basáltica.	Análise
	<p>Na placa que foi toda confeccionada com areia natural, não teve aderência ao substrato. Uma das justificativas é que durante o manuseio, essa placa foi transformada sendo levada apenas pela base de cima e a camada de baixo se descolou, ao chegar no LATEC no outro</p>

	<p>dia a placa já estava descolada. Mas, a resistência dessa argamassa ficou com média 44,9 (MPa).</p>
	<p>Já na placa em que houve 25% de substituição de areia, a argamassa aderiu ao substrato. Das 12 amostras 5 romperam no concreto e 7 na junção da cola epóxi. Porém, foi o traço que apresentou maior média de resistência ao arrancamento. A resistência dessa placa ficou com média de 40,78 (MPa). E no ensaio de arrancamento sua média foi de 42,95 (MPa) e desvio padrão de 4,86.</p>
	<p>Na placa que foram substituídos 50% a aderência ocorreu perfeitamente entre o substrato e a argamassa. Das 12 amostras duas romperam no substrato e as outras 10 na junção da cola e da argamassa. A resistência dessa placa comparada com a dos 25%, reduz em pelo menos 25%. A resistência ao arrancamento dessa argamassa ficou em 32,45 (MPa) e seu desvio padrão fixou em 3,82.</p>

	<p>A placa dos 75% de substituição também aderiu. Três das 12 amostras romperam no concreto e o resto na junção da cola epóxi e argamassa. A resistência comparada com a placa dos 25% reduz em torno de 12%. A resistência ao arrancamento fechou com média de 37.99 (MPa) e desvio padrão de 6,78</p>
	<p>A quinta placa onde houve 100% de substituição. Não permitiu que as 12 amostras pudessem ser feitas, pois a máquina de perfuração na Univates, na oitava amostras parou de funcionar pela alta resistência da argamassa, o serra-copo superaqueceu e sua velocidade era reduzida pelo atrito, mesmo em sua velocidade máxima. Por isso, só as sete primeiras foram ensaiadas e a média de resistência ao arrancamento fechou em 24,4 (MPa) e desvio padrão de 3,26.</p>

Fonte: Do autor (2017).

Com propriedade da análise das médias de arrancamento de cada traço, pode-se constatar que o desvio padrão da A2 (25%) e A4 (75%) podem apresentar a mesma resistência devido ao elevado desvio, constatado no ensaio.

5.2.4 Fissuração/Acabamento

De imediato, já vale ressaltar que esse ensaio é qualitativo. *A priori* a mudança na tonalidade ou aparência, pode não influenciar no desempenho mecânico. Porém, essa oscilação pode ocasionar sinais negativos, chegando a certas circunstâncias interferir em pontos de importância significativa como acabamento, e propiciando o surgimento de patologias nessas regiões.

Na figura abaixo, todo o mapeamento das cinco argamassas estão feitos. E para que o leitor tenha melhor entendimento, todas as fissuras foram grifadas em vermelho:

Figura 23 – Mapeamento das placas



Fonte: Do autor (2017).

Pela resistência ao risco a placa A4 (75%) e a A5 (100%), são as mais resistentes. Isso se comprova no ensaio do arrancamento, do qual a máquina de corte, ao começar a perfurar as placas anteriormente citadas, produzia um som estridente e sua ação era a um alto custo. Já a partir do oitava perfuração da placa de 100 de substituição a máquina simplesmente travou, ao ser desligada e retirada e posteriormente ligada, ela funcionava perfeitamente, mas ao entrar em contato com a placa ela parou completamente, mais duas vezes, mostrando assim que essa placa era bastante dúctil.

Isso é sustentado pelo estudo de mestrado de Menossi (2004) que afirma que quando o pó de pedra é adicionado ele diminui o abatimento. A compacidade é aumentada pelo número de finos, que reduz a porosidade e por consequência aumenta a resistência. Portanto, as substituições de 75% e 100% segundo o mesmo autor são as mais resistentes.

As placas A1 (0%) foi a placa que apresentou menos patologias (fissuração). Já a A2 (25%) e A3 (50%) foram as que tiveram maior fissuração, já as A4 (75%) e A5 (100%) tiveram um acabamento muito similar com a placa A1 (0%), porém tiveram mais patologias quando comparada com a mesma, entretanto quando comparadas com a A2 e A3 suas fissuras foram bem inferiores.

6. CONCLUSÃO

Ao final de estudo, todos os blocos foram concluídos com êxito. Demonstrando que a substituição do agregado miúdo “areia natural” por “pó de pedra” é viável na argamassa autonivelante. Em um panorama holístico, o estudo foi validado. Mas, a sua principal vantagem foi a de ordem ambiental pois, a sua utilização reduz significativamente os danos ocasionados pela dragagem e exploração indiscriminada no leito dos rios. Outro ganho é dos pátios das pedreiras que serão aliviados com essa utilização, principalmente na Serra Gaúcha.

Portanto, o pó de pedra utilizado, pode ser utilizado na produção da argamassa autonivelante. Por ter atendido aos critérios da NBR 7211 e sua classificação segunda a mesma o pó de pedra ficou classificado como areia grossa. Já a fração fina, do pó de pedra correspondeu a 6%, ou seja, isso favoreceu a resistência mecânica e as suas características físicas se apresentaram superiores quando comparadas com a placa que tem 100% de areia em sua composição.

A trabalhabilidade da argamassa autonivelante com substituição parcial ou integral do pó de pedra, teve a sua fluidez reduzida em cerca de 9% no traço A5 (100%), devido ao travamento dos grãos. Porém, a sua durabilidade superou as expectativas em virtude da maior compactidade, ou seja, menor permeabilidade. Já na parte estética a placa A4 (75%) de substituição se destaca por se apresentar muito semelhante a A1 (0%) com bom acabamento, pouca patologias e boa resistência.

Conclui-se que o pó de pedra basáltica tem os critérios necessários para ser um agregado miúdo alternativo a areia natural. Pois, a sua substituição pelo pó melhorou significativamente as propriedades da argamassa, além de minorar os impactos ambientais decorrentes da exploração de areia natural.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. L. M.; SILVA, J. A. **Areia artificial: Uma alternativa econômica e ambiental para o mercado nacional dos agregados.** In: II SUFFIB – SEMINÁRIO: USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM. São Paulo, 2005.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de Construção: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório.** 1 ed, São Paulo: Pini, 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738. **Concreto Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova,** 2003.

_____. NBR 12041/2012. **Argamassa de alta resistência mecânica para pisos –** Determinação da resistência à compressão simples e tração por compressão diametral.

_____. NBR 13281. **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos –** Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13528/2010 – **Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânica –** Determinação da resistência de aderência à tração.

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

_____. NBR 13279/2005 b. – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e compressão.** Rio de Janeiro, 2005b.

_____. NBR 13749/1996 a – **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificações.** Rio de Janeiro, 1996 b.

_____. NBR 15558/2008 – **Concreto – Determinação da exsudação.** Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 15575-3/2013 – **Edificações habitacionais. Desempenho parte 3.** Requisitos para o sistema de pisos.

_____. NBR 248/2001 – **Agregados e determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro.

_____. NBR 5738/2003 – **Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro.

_____. NBR 7211/2003 – **Agregado do concreto e especificações.** Rio de Janeiro, 1983.

_____. NBR 7211/2003 – **Agregado do concreto e especificações.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 7215/1991 – **Ensaio de cimento Portland composto.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 7215/1991 – **Ensaio de cimento Portland composto.** Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 9935/2011 – **Agregado e terminologia.** Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR/NM 66 – **Agregados – constituintes mineralógicos dos agregados naturais – Terminologia**. Rio de Janeiro, 1998.

AENOR – *ASSOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN*. **UNE-EM 13813**. Pastas autonivelantes y pastas autonivelantes para suelos. Características e especificaciones, 2003.

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

ANDERBERG, A. *Studies of moisture and alkalinity in self-levelling flooring compounds. Doctoral Thesis. Division of building materials, Lund Institute of Technology. Lund, 2005.*

ANDRIOLO, F. R. **Construções de concreto**. São Paulo, Primeira ed. Pini.2005.

ANTUNES, R. P. N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimento de argamassa**. Tese de doutorado. Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2005.

BABU, K. G.; PRAKASH, P. V. *Cement and concrete research*. London, 1995.

BARLUNGA, G.; OLIVARES, F. H. *Self-levelling cement mortar containing grounded slate from quarrying waste*. Construction and Building Materials. 1601-1607. Ed 24, 2010.

BASTOS, P. K. X, **Módulo de deformação de argamassas: conceitos e métodos de determinação**. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TÉCNICAS DAS ARGAMASSAS**, 5., 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: Associação Nacional de Tecnológico Ambiente Construído, 2003.

BAUER, E. **Resistência a penetração da chuva em fachada de alvenaria de materiais cerâmicos: uma análise de desempenho**. Brasília, 1997.

BAUER, E.; SOUSA, J. G. G., **Materiais constituintes e suas funções**. In: Elton Bauer (org). *Revestimento de Argamassa: Características e Peculiaridades*. Brasília: LEM – UnB: Sinduscon, 2005.

BRANCO, A. C., BRITO, M. **Contrapiso Autonivelante**. Segundo Caderno de casos de inovação na construção civil, 2014.

BUI, V. K., MONTGOMERY, D., HINCZAK, I e K, TURNER. *Rapid testing method for segregation resistance of self-compacting concrete*. *Cement and concrete reserch*, 2002).

CAMARGOS, U. A. **Concreto Auto-adensável e Autonivelante**. Revista Técnica, São Paulo, n 59, 2006, p. 04-05, fevereiro.

CARASEK, H. Argamassas. In: Isaia, G. C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2001. p. 863 -904

CASTRO, A. L. **Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade São Paulo, 2007.

CAVALCANTI, D. J. H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto-adensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. Macéio, 2006. 141p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Alagoas.

EFNARC – *European Feration For Specialist Construction Chemicals And Concrete Systems. Specification & guidelines for polymermodified cementitious flooring as weatring surfaces for industrial and commercial use*. United Kingdom, 2001.

EFNARC – *European Feration For Specialist Construction Chemicals And Concrete Systems. Specification and guidelines for self-compating concret*. In: EFNARC, 2002.

FARIAS, P. R. F. **Estudo das propriedades mecânicas do concreto em barragens**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Brasília, 2007.

FELEKOGLU, B et al., *The effects of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self-compacting repair mortars*. *Cement and Concrete Research*. V 36. Pág 1700-1730, 2006

FIGUEIREDO, A. M.; SOUZA. S. R. G. **Como elaborara projetos, monografias, dissertações e tese: da redação científica à apresentação do texto final**. – Quarta ed. – Rio de Janeiro: Lumem Juris, 2011.

FORMIGONI, J. **Aproveitamento de resíduos: reciclagem de rochas naturais**. Disponível em: < <http://junic.unisul.br/2007/JUNIC/pdf/0120.pdf> > , acessado em 16/04/2017.

FREITAS. J. C. **Uso de aditivo redutor de retração no comabte à retração em argamassas auto-adensáveis de alta resistência**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, 2009.

FREITAS. J. M. C. **Influência da variação dos constituintes no desempenho de argamassas de revestimento**. Dissertação de Mestrado – Belo Horizonte. Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

FORNASIER, R. S. **Porosidade e permeabilidade do concreto de alto desempenho com sílica ativa**. Porto Alegre, 1995. Dissertação Mestrado. Escola de Engenharia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GIL. A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. Quinta ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL. A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. Sexta ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIORDANI, C. **Viabilidade técnica do uso de resíduo do beneficiamento de arenito como substituição do agregado miúdo em argamassas**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

GOMES, A. de O. **Propriedade das argamassas de revestimento de fachadas**. Salvador: COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO, 2013. Disponível em: http://www.abcp.org.br/comunidades/salvador/ciclo3/htms/download_das_argamassas_de_revestimento_2009.pdf. Acessado em setembro de 2016

HOUANG, P. **Estágio de Desenvolvimento de Contra Piso Autonivelante**. X SBTA – Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa. Fortaleza, 2013.

HUNG, J. T. **Properties of artificially cemented carbonate sand**. Journal of. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1998.

ISAIA, G. C. **A ciência e a engenharia de materiais de construção civil. E. ED. In Materiais da construção**. IBRACON, 1995.

JUNG, C. F. **Metodologia ara pesquisa e desenvolvimento: aplicada a novas tecnologias, produtos e processos**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004.

KLEIN, N. S. **Influência da Substituição da areia natural pela areia de britagem no comportamento do concreto auto-adensável**. Londrina, 2008. 147p. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina.

KULAKOWSKI, M. P. **Contribuição ao estudo da carbonatação em concreto e argamassas compostos com adição de sílica ativa**. 199f. 2002. Porto Alegre. Tese de doutorado em engenharia – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.

LARA, D. F. **A importância da qualificação da mão de obra na construção civil**. 2005. Artigo (graduação em Engenharia de Produção Civil) – Universidade Fundação Mineira de Educação e Cultura, Belo Horizonte, MG. 2005.

MARCONI. M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodolofia científica**. 7. Ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARCONI. M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodolofia científica**. 7. Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MARTINS, E. J. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa autonivelante.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

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

MENOSSE, R. T. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto.** 2004. vi, 97 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2004. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/90740>>.

METHA, P. K, MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: ED. Ibracon, 2008.

MIGUEL, P. J. M. **Estudo da influência do teor de argamassa no desempenho de concretos auto-adensáveis,** 178p. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

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

NEUBAUER, P. M. **Estudo comparativo entre diversas composições com pisos flutuantes de madeira natural – assoalho e tacos – quanto ao isolamento ao ruído de impacto.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009.

NEVES, L.; LIMA, J. R. B. **Aplicação dos finos gerados pela produção de pedras britadas graníticas no concreto pré-misturado em substituição às areias naturais.** São Paulo, 2004. 129p. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica – universidade de São Paulo.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 2 ed. São Paulo: Pini, 1997.

OKAMURA, H.; OZAWA, K.; OUCHI, M., *Self-compacting concrete. Structural concret.* V.1, n.1, 2000, p.3-17.

OKAMURA, H e OUCHI, M. *Self-compacting concrete. Journal of Advanced technology.* Vol. 01, No. 1,5-15. Japan Concrete Institute, 2003.

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

PEREIRA, C. H. A. F. **Contribuição ao estudo de fissuração da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa.** 2010. 195 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília/DF.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland.** 13, ed. São Paulo: 1998.

PRODANOV, C. C.; DE FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** 2. Ed2 Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAMACHANDRAN, V. S.; MALHOTRA, V. M. **Concrete admistures handbook – Properties, Science and Technology.** Canadá: Noyes Publicatinton, 1998, p. 410-517.

REPETTE W. L. **Concreto – Ensino, Pesquisa e Realizações (Seção do Livro)/ A. do livro IBRACON.** – São Paulo: G. C. Isaia, 2005. – Vol. 2.

RIXON, M. R.; MAILVAGANAM, N. P. **Chemical admisture for concrete.** Ed. E & FN Spon, London, UK, 1999. 473.

SANTOS, C. C. N. **A influência das características da areia britada nas propriedades de estado fresco do concreto.** 2008. Tese de doutorado – Universidade de Brasília, Brasília, 2008,

SCHAEFER, C. O. **Valorização de fonte alternativa de sulfato de cálcio para a produção de argamassa autonivelante.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

SELLEY, R. C.; COCKS, L. R.; PLIMER, I. E. *Encyclopedia of Geology.* London: Elsevier Academic Press, 2005. 5v.

SGARBI, Geraldo Norberto Chaves.; FERNANDES, M. L.; Sgarbi, P. B. de A.; DUSSIN, T. M. **Petrografia macroscópica das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas.** Belo Horizonte. Editora UFMG, 2007.

SILVA, V. D. A. **Importância do Processo de Desenvolvimento Tecnológico na Implantação de Novas Tecnologias.** Caso Contrapiso Autonivelante. X SBTA – Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa. Fortaleza, 2012.

SOUZA, N. C. **Análise de desempenho do contrapiso autonivelante em relação ao sistema convencional.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em construção civil. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.

SBRIGHI NETO, C. **A importância dos conceitos. Tecnológicos na seleção dos agregados para argamassas e concretos.** Revista Areia & Brita, 2000.

TUTIKIAN, B. F. **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

TUTIKIAN B. F. e DAL MOLIN D. C. Concreto auto-adensável. São Paulo, Pini, 2008.

APÊNDICES

Apêndice A – Etapas de elaboração do trabalho de conclusão

Etapas	Julho				Agosto				Setembro				Outubro				Novembro				Dezembro				Janeiro				Fevereiro				Março				Abril				Maio				Junho				Julho			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Delimitação do assunto TCC	■	■	■	■																																																
Delimitação do trabalho					■	■	■																																													
Objetivos gerais e específicos									■	■																																										
Introdução									■	■	■	■																																								
Referencial teórico									■	■	■	■	■	■	■	■																																				
Metodologia													■	■	■	■																																				
Elicitar o conhecimento																	■	■	■	■	■	■	■	■																												
Programa de ensaios																													■	■	■	■	■	■	■	■																
Teste e validação																																																				
Conclusão																																																				
Apresentação TCCII																																																				
Correções propostas da banca																																																				

Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho (2017).



UNIVATES

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09