



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



## **REJEITO DE MINERAÇÃO DE QUARTZITO COMO AGREGADO PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA COLANTE**

**Autora:** Luma de Souza Dias

**Orientador:** Prof. Dr. Ricardo André Fiorotti Peixoto

Ouro Preto  
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**REJEITO DE MINERAÇÃO DE QUARTZITO COMO AGREGADO  
PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA COLANTE**

**AUTORA:** LUMA DE SOUZA DIAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Construções Metálicas.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo André Fiorotti Peixoto

Ouro Preto, Março de 2017

D541r      Dias, Luma de Souza.  
Rejeito de mineração de quartzito como agregado para produção de argamassa colante [manuscrito] / Luma de Souza Dias. - 2017.  
95f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo André Fiorotti Peixoto.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.  
Área de Concentração: Construção Metálica.

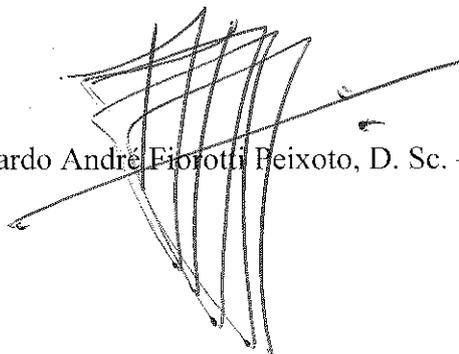
1. Argamassa Colante. 2. Quartzito. 3. Resíduo de Mineração. I. Peixoto, Ricardo André Fiorotti. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 624.014

# REJEITO DE MINERAÇÃO DE QUARTZITO COMO AGREGADO MIÚDO PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA COLANTE

**AUTORA: LUMA DE SOUZA DIAS**

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 28 de março de 2017, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Ricardo André Fiorotti Feixoto, D. Sc. – UFOP (Presidente)



Prof. Guilherme Jorge Brigolini Silva, D. Sc. – UFOP



Prof. White José dos Santos, D. Sc. – UFMG

# DEDICATÓRIA

*A Deus,  
Aos meus pais, minha irmã e ao Lucas.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por guiar meus passos, pelos ensinamentos e por ter me concedido forças para a realização desse trabalho.

Aos meus pais, Emília e João Manoel, alicerces de minha formação, pela educação proporcionada e por confiarem sempre em mim e minha irmã Ludmília pelo apoio incondicional em todos os momentos.

Ao Lucas, pelo amor e palavras de incentivo, que nos momentos mais difíceis não me fizeram desistir.

As grandes amigas, companheiras dessa longa jornada, Flávia Castro, Iara Souza, Jéssica Lorrany e Thalita Cardoso, pelo companheirismo nos estudos das madrugadas e pelos momentos divertidos que colecionamos desde o tempo da graduação.

Ao meu orientador, Prof.Dr. Ricardo André Fiorotti Peixoto, pela atenção, apoio e orientações imprescindíveis. Ao Prof. Dr. Guilherme Brigolini e à Gabriela Cordeiro pelas fundamentais contribuições durante a qualificação.

A UFOP, ao PROPEC bem como aos demais professores do PROPEC pela dedicação e pelos conhecimentos transmitidos.

A CAPES, Fapemig, Fundação Gorceix e ao CNPq pelo apoio financeiro. A Anex Mineração pelo fornecimento de material. A empresa DOW pelo fornecimento de material, e em especial a Ana Paula Freire, que se dispôs incansavelmente a esclarecer quaisquer dúvidas.

A equipe do Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFOP, RECICLOS, pela ajuda prestada durante os ensaios em laboratório, troca de conhecimento e momentos de descontração. Em especial ao Júnio Oliveira dos Santos Batista.

Aos laboratórios: Laboratório de Difração de Raios X e ao Laboratório NanoLab, do Departamento de Metalurgia da Escola de Minas/UFOP; e seus coordenadores, técnicos e bolsistas pelo apoio na realização dos ensaios.

Aos familiares e amigos pelo apoio, orações e compreensão de minha ausência.

## RESUMO

O gerenciamento inadequado de resíduos da indústria mineradora pode contribuir para o agravamento de problemas ambientais, através da disposição incorreta dos mesmos. Além deste agravante, o setor da construção civil é responsável por um consumo elevado de recursos naturais não renováveis, como a areia natural, a fim de suprir a demanda do mercado, contribuindo para a redução de suas reservas. Considerando essas questões, faz-se necessário a busca por melhores soluções ambientais e sociais. No intuito de reduzir a extração de areia natural e proporcionar a destinação ambientalmente correta dos resíduos da mineração, este trabalho propõe a utilização do rejeito de mineração de quartzito em substituição à areia natural para produção de argamassas colantes. Nesse contexto, é necessária uma verificação da viabilidade técnica das argamassas propostas por meio da realização de ensaios laboratoriais, procedidos de acordo com normatizações brasileiras, como também uma análise de viabilidade econômica para replicação dos resultados em escala de produção. Para melhor caracterização do rejeito de mineração de quartzito foram realizadas análises físicas, químicas, mineralógicas e morfológicas. A fim de comparar o desempenho do rejeito foi caracterizada também uma areia de rio. Em sequência, as argamassas, devidamente dosadas, foram submetidas a ensaios no estado fresco e endurecido para classificação de suas propriedades comparando os resultados obtidos (com os diferentes tipos de agregados utilizados) com as argamassas de mercado. Os resultados indicam a viabilidade deste material como agregado miúdo em substituição total ao agregado natural, permitindo a redução dos impactos ambientais causados pelas mineradoras e pela construção civil.

Palavras-chave: Argamassa colante; quartzito; resíduo de mineração.

## **ABSTRACT**

The incorrect management of waste from the mining industry can contribute to the aggravation of environmental problems through improper disposition of the same. In addition to this aggravating circumstance, the construction sector is responsible for a high consumption of non-renewable natural resources, such as natural sand, in order to supply the market demand, contributing to the reduction of its reserves. Considering these issues, it is necessary to search for better environmental and social solutions. In order to reduce natural sand extraction and to provide environmentally correct disposal of mining waste, this work proposes the use of quartzite mining waste instead of natural sand for the production of adhesive mortars. In this context, it is necessary to verify the technical viability of the proposed mortars through of laboratory tests, carried out in accordance with Brazilian regulations, as well as an economic viability analysis for the replication of results on a scale of production. For better characterization of the quartzite mining tailings, physical, chemical, mineralogical and morphological analyzes were performed. In order to compare the performance of the tailings, a river sand was also characterized. Subsequently, the mortars, properly dosed, were submitted to fresh and hardened tests to classify their properties, comparing the obtained results (with the different types of aggregates used) with the commercial mortars. The results indicated the feasibility of this material as a fine aggregate in total substitution to the natural aggregate, allowing the reduction of environmental impacts caused by mining companies and civil construction.

Keywords: Adhesive mortar; quartzite; mining waste.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>II</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>V</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA .....	2
1.2. OBJETIVOS .....	3
1.2.1. <i>Objetivo Geral</i> .....	3
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	3
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	4
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
2.1. ARGAMASSA COLANTE.....	5
2.2. PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS COLANTES.....	6
2.2.1. <i>Propriedades Reológicas das Argamassas Colantes</i> .....	6
2.2.2. <i>Propriedades Físicas das Argamassas Colantes</i> .....	11
2.3. REVESTIMENTOS CERÂMICOS.....	13
2.3.1. <i>Caracterização dos revestimentos cerâmicos</i> .....	14
2.4. ADITIVOS .....	18
2.5. QUARTZITO.....	20
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
3.1. MATERIAIS.....	24
3.1.1. <i>Cimento</i> .....	24
3.1.2. <i>Agregado</i> .....	25
3.1.3. <i>Rejeito de Quartzito</i> .....	26
3.1.4. <i>Aditivo</i> .....	26
3.1.5. <i>Placas Cerâmicas</i> .....	27
3.1.6. <i>Substrato- Padrão</i> .....	27
3.2. MÉTODOS.....	27
3.2.1. <i>Beneficiamento</i> .....	27
3.2.2. <i>Caracterização Física das Amostras</i> .....	28
3.2.3. <i>Caracterização Química e Mineralógica das Amostras</i> .....	28
3.2.4. <i>Caracterização Morfológica das Amostras</i> .....	29
3.2.5. <i>Dosagem das Argamassas</i> .....	30
3.2.6. <i>Propriedades das Argamassas no Estado Anidro</i> .....	31
3.2.7. <i>Propriedades das Argamassas no Estado Fresco</i> .....	32
3.2.8. <i>Propriedades das Argamassas no Estado Endurecido</i> .....	37

3.2.9. <i>Análise Econômica das Argamassas</i> .....	44
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>45</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS AMOSTRAS .....	45
4.1.1. <i>Distribuição Granulométrica</i> .....	45
4.1.2. <i>Massa Específica, Massa Unitária e Teor de Umidade</i> .....	47
4.1.3. <i>Teor de Impureza Orgânica e Teor de Material Pulverulento</i> .....	48
4.1.4. <i>Fluorescência de Raios X</i> .....	49
4.1.5. <i>Difração de Raios X</i> .....	50
4.1.6. <i>Microscopia Óptica</i> .....	51
4.2. PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ANIDRO .....	53
4.2.1. <i>Densidade de Massa Aparente</i> .....	53
4.3. PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO .....	53
4.3.1. <i>Índice de Consistência</i> .....	53
4.3.2. <i>Deslizamento</i> .....	54
4.3.3. <i>Squeeze Flow</i> .....	55
4.3.4. <i>Retenção de Água</i> .....	57
4.3.5. <i>Teor de Ar Incorporado</i> .....	57
4.3.6. <i>Densidade de Massa</i> .....	58
4.4. PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO .....	59
4.4.1. <i>Absorção de Água por Capilaridade</i> .....	59
4.4.2. <i>Resistência de Aderência à Tração</i> .....	60
4.4.3. <i>Tempo em Aberto</i> .....	61
4.4.4. <i>Densidade de Massa Aparente</i> .....	62
4.4.5. <i>Resistência à Tração na Flexão</i> .....	63
4.4.6. <i>Resistência à Compressão</i> .....	64
4.4.7. <i>Expansibilidade por Método Acelerado</i> .....	64
4.5. ANÁLISE ECONÔMICA DAS ARGAMASSAS.....	65
<b>5. CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES</b> .....	<b>68</b>
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	68
5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	71
<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>72</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perfil típico de carga versus deslocamento.....	9
Figura 2: Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas colantes.....	13
Figura 3: Camadas do Revestimento Cerâmico de Parede .....	14
Figura 4: Utilização do quartzito como material de acabamento .....	21
Figura 5: Aditivo Walocel 20678.....	27
Figura 6: Moinho de Alta Eficiência .....	29
Figura 7: Microscópio Óptico.....	30
Figura 8: Procedimento Densidade de Massa no Estado Anidro .....	31
Figura 9: Procedimento Índice de Consistência .....	32
Figura 10: Procedimento Ensaio de Deslizamento.....	33
Figura 11: Leitura inicial e final - Ensaio de Deslizamento .....	33
Figura 12: Procedimento Retenção de Água.....	35
Figura 13: Equipamento Teor de Ar Incorporado .....	36
Figura 14: Procedimento Densidade de Massa no Estado Anidro .....	37
Figura 15: Procedimento Absorção de Água por Capilaridade.....	38
Figura 16: Procedimento Tempo em Aberto e Resistência de Aderência à Tração ..	40
Figura 17: Procedimento Resistência à Tração na Flexão.....	41
Figura 18: Procedimento Resistência à Compressão .....	41
Figura 19: Procedimento Densidade de Massa no Estado Endurecido .....	42
Figura 20: Procedimento Resistência à Compressão .....	43
Figura 21: Procedimento Expansibilidade das Barras de Argamassa.....	44
Figura 22: Distribuição Granulométrica dos Agregados – Estado Bruto .....	45
Figura 23: Distribuição Granulométrica dos Agregados – Após Beneficiamento .....	46
Figura 24: Massa Unitária e Massa Específica dos Agregados .....	47
Figura 25: Teor de Umidade dos Agregados.....	48
Figura 26: Resultado do Ensaio de Impurezas Orgânicas .....	48
Figura 27: Teor de Material Pulverulento .....	49
Figura 28: Difratoograma da Amostra A1 .....	50
Figura 29: Difratoograma da Amostra A2.....	50
Figura 30: Difratoograma da Amostra AN .....	51
Figura 31: Microscopia Ótica dos Agregados REF, AN, A1 e A2.....	52

Figura 32: Densidade de Massa Aparente .....	53
Figura 33: Índice de Consistência das Argamassas.....	54
Figura 34: Deslizamento das Argamassas .....	54
Figura 35: Squeeze Flow .....	56
Figura 36: Retenção de Água das Argamassas .....	57
Figura 37: Teor de Ar Incorporado das Argamassas.....	58
Figura 38: Densidade de Massa das Argamassas no Estado Fresco .....	59
Figura 39: Absorção de Água por Capilaridade.....	59
Figura 40: Coeficiente de Capilaridade .....	60
Figura 41: Resistência de Aderência à Tração - Cura Normal .....	60
Figura 42: Resistência de Aderência à Tração - Cura Submersa .....	61
Figura 43: Tempo em Aberto.....	62
Figura 44: Densidade de Massa Aparente .....	63
Figura 45: Resistência à Tração na Flexão .....	63
Figura 46: Resistência à Compressão .....	64
Figura 47: Expansibilidade das Argamassas.....	65
Figura 48: Comparação dos Preços das Argamassas .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades das Placas Cerâmicas.....	16
Tabela 2: Materiais cerâmicos de acordo com o grau de absorção .....	17
Tabela 3: Nomenclatura de acordo com o grau de absorção.....	18
Tabela 4: Nomenclatura específica de acordo com o grau de absorção.....	18
Tabela 5: Propriedades físicas e mecânicas do cimento Portland CP III 40 RS .....	25
Tabela 6: Propriedades químicas do cimento Portland CPIII 40 RS .....	25
Tabela 7: Características do aditivo .....	27
Tabela 8: Dosagem das Argamassas .....	30
Tabela 9: Características granulométricas dos agregados- Estado Bruto.....	46
Tabela 10: Características granulométricas dos agregados- Após Beneficiamento..	46
Tabela 11: Resultado da Análise por Fluorescência de Raios X.....	49
Tabela 12: Relação água/massa seca das argamassas .....	54
Tabela 13: Valor do Produto (R\$/t).....	66
Tabela 14: Valor Total do Traço (R\$/t) .....	66

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo de matérias primas, fontes de recursos não renováveis, necessário para os processos da construção civil crescem em ritmo acelerado em função do crescimento da economia e do aumento populacional. A construção civil é um dos setores que provoca maior impacto ambiental, devido ao elevado consumo de matéria prima. De acordo com a Associação Nacional de Entidade Produtores de Agregados para Construção Civil (ANEPAC (2012)) a construção civil é responsável pelo consumo de entre 15 e 50% dos recursos naturais extraídos, 40% da energia consumida e 16% da água potável.

Em relação à produção de revestimentos cerâmicos, material que engloba pisos e azulejos, o Brasil quadruplicou sua produção nos últimos 15 anos, e hoje é o segundo maior fabricante mundial desses produtos. Em 2012, com 866 milhões de metros quadrados (m<sup>2</sup>) produzidos, o país só perdeu para a China e superou concorrentes tradicionais, como Espanha e Itália, que até alguns anos dominavam o setor (VASCONCELOS, 2013).

Para o assentamento dos revestimentos cerâmicos é utilizada argamassa colante, produto composto por cimento, agregado miúdo (normalmente areia natural) com dimensão máxima igual a 0,6 mm e polímeros celulósicos e vinílicos. Os polímeros têm como finalidade proporcionar maior retenção de água, melhor trabalhabilidade, maior adesividade e maior elasticidade às argamassas (CINCOTTO *et al.*, 1995).

Antes da existência das argamassas colantes no Brasil, os revestimentos cerâmicos eram assentados pelo método convencional, em que as argamassas eram feitas na própria obra, utilizando-se uma mistura de areia e cimento ou ainda com adição da cal. Neste caso, anterior ao assentamento era necessário imergir as peças de revestimentos cerâmicos em água, uma vez que tais argamassas não tinham a capacidade de reter em seu interior a quantidade de água necessária para garantir uma boa hidratação do cimento.

Devido às patologias causadas pela mão de obra despreparada ou pela falta de controle na produção da argamassa feita em obra, como deslocamentos de revestimentos cerâmicos de fachadas e pisos, surgiu no início da década de 70 a primeira argamassa colante do Brasil.

Segundo Medeiros e Sabbatini (1999), a propriedade fundamental que diferencia as argamassas colantes convencionais das argamassas tradicionais é a sua capacidade de retenção de água. Esta propriedade permite que o material seja aplicado em camada fina, sem perder para a base ou para o ar, a quantidade de água necessária à hidratação do cimento Portland.

Assim, diante da larga utilização de revestimentos cerâmicos e argamassas colantes no Brasil, implicando assim em um consumo alto de areia natural, este trabalho propõe estudar a utilização de rejeitos de mineração de quartzito em substituição à areia natural, como forma de minimizar a extração de recursos naturais.

### ***1.1. Justificativa e Relevância do Tema***

Os agregados para a indústria da construção civil são os insumos minerais mais consumidos no mundo. Em 2014 o Brasil bateu recorde de produção de alguns bens minerais, dentre eles, os agregados utilizados na construção civil, totalizando 673.000.000 toneladas (IBRAM, 2015).

Cerca de 90% da produção nacional de areia natural, no Brasil, é obtida a partir da extração em leito de rios e o restante, de outras fontes (várzeas, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, pegmatitos e arenitos decompostos) (ALMEIDA e LUZ, 2009). A extenuação de áreas próximas aos grandes centros consumidores e a restrição desta atividade extrativa pelos órgãos de fiscalização ambiental, tem resultado na exploração de areia em locais cada vez mais distantes dos grandes centros urbanos, o que enaltece os gastos com o transporte, que correspondem à aproximadamente 70% do custo final.

Paralelamente, durante a extração do quartzito, o seu rejeito pode chegar a 92% do material extraído (FEAM, 2002), o que acarreta poluição, aumento de custo

do produto final, diminuição da vida útil das jazidas e até mesmo o fechamento de empresas por questões ambientais.

O setor da construção civil precisa ser mais racional: e econômico, utilizando materiais que reduzam as perdas, otimizem os processos, reduzam os entulhos e, principalmente, que causem menores impactos ambientais, embora construir de forma sustentável ainda seja um grande desafio.

O uso de resíduos, além das vantagens de sustentabilidade, pode também proporcionar diminuição energética da exploração, redução de transportes e redução de custos de manutenção dos resíduos, configurando-se em uma oportunidade técnica, ambiental e econômica.

Considerando o elevado consumo de materiais naturais não renováveis e a necessidade de novas alternativas para sua demanda, este trabalho pretende contribuir para a sustentabilidade do setor da construção civil, sugerindo a produção de argamassas colantes produzidas com rejeitos de mineração de quartzito em substituição total aos agregados naturais.

## **1.2. Objetivos**

Os objetivos deste presente trabalho foram divididos em objetivo geral e objetivos específicos.

### **1.2.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral é estudar a viabilidade técnica e econômica da utilização do rejeito de mineração de quartzito em substituição total aos agregados miúdos (areia natural) convencionalmente utilizados na produção de argamassas colantes AC I, segundo parâmetros normativos estabelecidos.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Entre os objetivos específicos podem-se destacar os seguintes itens:

- realizar a caracterização química, física, morfológica e mineralógica dos rejeitos de mineração de quartzito, assim como para a areia natural de rio;

- dimensionar uma correta dosagem para o traço de argamassa colante, do tipo ACI, a partir da substituição da areia natural de rio por rejeito de mineração de quartzito;
- analisar as propriedades das argamassas no estado fresco (Ensaio de deslizamento, *Squeeze Flow*, retenção de água, teor de ar incorporado, densidade de massa, índice de consistência) comparativamente àquelas produzidas com agregados naturais e com argamassa industrial;
- analisar as propriedades das argamassas no estado endurecido (Ensaio de absorção de água por capilaridade, resistência de aderência à tração, tempo em aberto, densidade de massa aparente) comparativamente àquelas produzidas com agregados naturais e com argamassa industrial;
- analisar o comportamento mecânico das argamassas produzidas comparativamente àquelas produzidas com agregados naturais e com argamassa industrial;
- analisar a viabilidade técnica e econômica das argamassas produzidas com rejeitos de mineração de quartzito em relação às argamassas colantes existentes no mercado.

### **1.3. Estrutura da Dissertação**

Este trabalho está dividido em 5 capítulos. Após a Introdução, o Capítulo 2 apresenta a Revisão Bibliográfica sobre argamassas colantes e suas propriedades. O Capítulo 3 compreende os materiais utilizados e os métodos, onde são descritas as etapas que compreendem os ensaios experimentais. No Capítulo 4 estão expostos os resultados das etapas experimentais e discussão dos mesmos e no Capítulo 5 está a conclusão deste trabalho, abrangendo a avaliação dos resultados obtidos e sugestões para trabalhos futuros. Após a Conclusão, tem-se a Bibliografia, com as referências literárias utilizadas para a realização deste trabalho.

## CAPÍTULO II

### 2. REVISÃO DE LITERATURA

#### 2.1. Argamassa Colante

As argamassas colantes industrializadas são definidas segundo a NBR 14081-1 (ABNT, 2012) como “produto industrial, no estado seco, composto de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos, que quando misturado com água, forma uma pasta viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento”.

A primeira argamassa modificada com polímeros, para assentamento de placas cerâmicas, foi desenvolvida na década de 60, na Europa e nos Estados Unidos, sendo utilizado inicialmente o polímero metil celulose, devido à sua grande capacidade de retenção de água (WAGNER, 1973).

No Brasil, a primeira argamassa colante surgiu na década de 70, inspirada na “*dry-set mortar*” (FIORITO, 1994). Essa denominação é devido ao fato da argamassa necessitar apenas do acréscimo de água, já que é comercializada como uma mistura pronta.

Anterior à argamassa colante, a camada de argamassa utilizada era de aproximadamente 20 mm de espessura, o que acarretava grandes perdas de água, tanto por sucção como por evaporação (FIORITO, 1994). Com o surgimento da argamassa colante foi possível a redução da espessura do adesivo e da massa atuante sobre estrutura resistente, houve aumento da produtividade e a melhora da mão de obra e da adesão entre cerâmica e substrato (BUCHER e NAKAKURA, 1999).

Na década seguinte os consumidores tiveram acesso às diversas marcas de argamassa colante, às quais eram formuladas de acordo com cada fabricante. No início da década de 90, o Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados, CB-18 da ABNT, em consequência da falta de padrão na fabricação das argamassas colantes, promoveu a realização de estudos e ensaios de

laboratório para alcançar a normalização neste campo. Como resultado deste trabalho, em 1998, os projetos de norma foram aprovados e publicados, dando origem às NBR 14081 (ABNT, 1998) a 14086 (ABNT, 1998) (BUCHER e NAKAKURA, 1999).

As argamassas colantes são utilizadas para a fixação de placas cerâmicas em substratos verticais e horizontais. Essas argamassas têm de atender a duas condições importantes, que são as de exposições durante a aplicação e as condições permanentes durante a vida útil dos revestimentos cerâmicos. A seguir são apresentadas algumas vantagens da aplicação da argamassa colante em relação à argamassa convencional:

- não há necessidade da dosagem da argamassa;
- maior potencial de aderência;
- responsabilidade do fabricante quanto ao controle de qualidade dos materiais constituintes da argamassa;
- maior produtividade;
- a mistura da argamassa pode ser feita no próprio local de utilização;
- não há necessidade de imersão das placas cerâmicas em água para o seu assentamento;
- disponibilidade de produtos diferenciados em função das características das placas cerâmicas e do local de utilização;
- menor consumo de argamassa.

## ***2.2. Propriedades das Argamassas Colantes***

### **2.2.1. Propriedades Reológicas das Argamassas Colantes**

Quanto às propriedades reológicas das argamassas colantes podem-se destacar o tempo em aberto, a trabalhabilidade e o deslizamento.

#### **2.2.1.1. Tempo em aberto**

O tempo em aberto, uma das principais propriedades da argamassa colante, é definido como o maior intervalo de tempo no qual uma placa cerâmica pode ser

assentada sobre a pasta de argamassa colante, NBR 14081-1 (ABNT, 2012). Essa característica depende, dentre outros fatores, da quantidade de água e de polímeros adicionados à argamassa, bem como, das condições ambientais (velocidade do vento, temperatura, umidade relativa do ar e radiação).

O motivo do descolamento tem sido atribuído também à formação de “película” na superfície de evaporação da argamassa, que impede a aderência da placa à pasta da argamassa (FIORITO, 1994; OLMO, 1982).

Póvoas (1999) demonstrou que existe uma correlação estatística entre a perda de água por evaporação e a resistência de aderência indicando que a evaporação influencia o tempo em aberto. O que há de verificação do tempo em aberto é que a superfície da argamassa torna-se seca e o interior do cordão da argamassa permanece ainda úmido. Ainda segundo Póvoas (1999), a película, na verdade, é resultado da dessecação superficial causada pela evaporação e sucção de água da argamassa.

Para aproveitamento da camada de argamassa colante ainda no estado fresco, pode-se, durante a aplicação das placas cerâmicas, fazer a ruptura da película formada sobre os cordões por meio de uma pequena movimentação das placas sobre os cordões, o que pode melhorar a resistência de aderência neste caso. Sendo assim, no momento do assentamento da placa cerâmica esta deve ser posicionada ligeiramente fora da posição e arrastada perpendicularmente sobre os cordões até a posição final.

#### 2.2.1.2. Trabalhabilidade

Em relação à trabalhabilidade, segundo Carasek (2007), esta é uma propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas em uma condição homogênea. A trabalhabilidade é uma propriedade complexa, resultante da conjunção de diversas outras propriedades, tais como: consistência, plasticidade, retenção de água, coesão, exsudação, densidade de massa e adesão inicial.

Nas argamassas colantes o efeito da trabalhabilidade é sentido no momento da sua aplicação no substrato com o auxílio de uma desempenadeira denteada, pois está diretamente relacionada à consistência das argamassas, leveza na aplicação, boa formação dos cordões durante a aplicação e tempo aberto adequado para sua aplicação.

A trabalhabilidade em argamassas colantes pode ser medida com a utilização de diversos ensaios, como o *Flow Table*, e complementadas com o ensaio *Squeeze Flow*, que utiliza a medição do esforço necessário para a compressão uniaxial de uma amostra, podendo detectar pequenas deformações nas características reológicas das argamassas (CARDOSO *et al.*, 2009).

#### 2.2.1.2.1. *Squeeze Flow*

No ensaio de *Squeeze Flow*, o escoamento do material provém da aplicação de uma carga de compressão sobre a amostra no estado fresco, a qual causa deslocamentos no seu interior devido aos esforços de cisalhamento radiais originados durante o fluxo. Este ensaio é interessante para estudo de argamassas colantes, visto que o método simula as condições de aplicação da argamassa sobre o substrato e o espalhamento da argamassa em decorrência da compressão (CARDOSO, PILEGGI, JOHN, 2007).

Este ensaio permite ainda caracterizar o comportamento reológico por meio da viscosidade e da tensão de escoamento, pois a argamassa deve ter uma viscosidade adequada para facilitar a formação de cordões e ter uma tensão de escoamento capaz de suportar o seu peso próprio e o peso das peças cerâmicas sem deslizar, além de se aproximar muito da forma como são aplicados os esforços a que estão sujeitas as argamassas colantes em obras (COSTA, 2006).

O perfil típico obtido de um ensaio de *Squeeze Flow* na forma de carga *versus* deslocamento apresenta três regiões (estágios) bem definidas, conforme demonstrado na Figura 1 (CARDOSO, 2009).

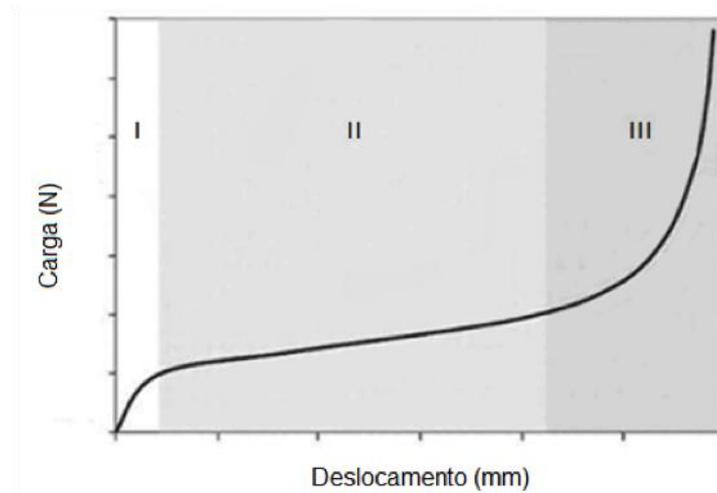


Figura 1: Perfil típico de carga versus deslocamento  
 Fonte: Adaptado de CARDOSO, 2009

Estágio (I): equivale à deformação elástica. Nesta faixa, ocorrem pequenas deformações: o material se comporta como um sólido, apresenta uma deformação elástica linear e a provável origem é a tensão de escoamento do material.

Estágio (II): equivale à deformação plástica ou fluxo viscoso. A faixa é mais extensa. Neste estágio o material pode sofrer grandes deformações sem o aumento expressivo de cargas de compressão. A aplicação do material é melhor, a compressão resulta em deformação radial elongacional e de cisalhamento, superando as formas que mantinham o material sob comportamento elástico. Assim, o material flui por deformação plástica, dependendo das suas características.

Estágio (III): equivale ao enrijecimento por deformação, faixa onde ocorrem grandes deformações. Ocorre, também, um aumento expressivo da carga de compressão, o que chamamos de inversão. Nesta faixa, as partículas geram forças restritivas ao fluxo devido à maior interação por embricamento, principalmente quando o material é solicitado em grandes ou baixas taxas de deslocamento. Podemos inferir que, nesta faixa, como as cargas de compressão são mais altas, os materiais podem apresentar maiores dificuldades à sua aplicação.

É importante ressaltar que a faixa de deslocamento e a intensidade dos estágios

variam de acordo com a composição dos materiais (teores de água e de ar, dimensões mínima e máxima das partículas, presença de aditivos) e também com a configuração de ensaio utilizada.

Portanto, a análise de uma curva carga ou tensão vs. deslocamento possibilita a compreensão do comportamento reológico da argamassa em diferentes situações durante sua aplicação, partindo de uma condição estacionária representando o material em repouso, até um elevado nível de deformação, cisalhamento e restrição geométrica durante a aplicação.

### 2.2.1.3. Deslizamento

Em relação ao deslizamento, segundo a NBR 14081-1(2012), esse fenômeno é definido como o deslocamento vertical de uma placa cerâmica aplicada sobre a argamassa colante ainda fresca, sob ação do seu peso próprio. Este ensaio é o único método no estado fresco preconizado na norma brasileira vigente.

O deslizamento, quando referente às placas cerâmicas, pode ocorrer devido à massa por unidade de área, absorção de água e rugosidade da face da cerâmica em contato com a argamassa. Em relação ao substrato, o deslizamento pode ocorrer devido à sucção inicial de água e textura. A espessura dos cordões da argamassa, intervalo de tempo entre a aplicação da argamassa e o assentamento da placa cerâmica, carregamento aplicado à placa cerâmica e tempo de permanência do substrato na posição vertical, também devem ser levados em consideração, assim como as condições ambientais de laboratório (SILVA, 2003).

Segundo Costa (2007), o deslizamento da argamassa ocorrerá quando a tensão de escoamento for inferior à tensão resultante dos pesos da argamassa e da placa cerâmica, ou seja, a tensão de escoamento da argamassa é que define se ocorrerá ou não o deslizamento, já a viscosidade da argamassa influenciará na velocidade com que essa escoará.

### **2.2.2. Propriedades Físicas das Argamassas Colantes**

Em relação às propriedades físicas das argamassas colantes, pode-se destacar a resistência à compressão, a aderência e a resistência à tração na flexão. A resistência à compressão é mais utilizada na verificação do controle de fabricação.

Já a resistência de aderência, uma das principais propriedades da argamassa colante no estado endurecido, é a capacidade da argamassa de aderir à placa cerâmica e ao substrato sem apresentar descolamento nessa interface. Essa propriedade confere ao sistema qualidade e durabilidade, e é de suma importância, visto que o descolamento desse conjunto é uma das manifestações patológicas mais encontradas em edifícios, o que gera grandes preocupações relativamente à segurança dos usuários, além do aspecto estético comprometido (SILVA, 2003).

A aderência pode ser entendida como a ligação de natureza atômica ou molecular existente na interface entre um corpo sólido e outro qualquer (THURLER; FERREIRA, 1995). Esta ligação pode ser tanto física, obtida pelo engaste entre o substrato e o adesivo, quanto química, por meio de forças eletrostáticas de van Der Waals (em que as moléculas ou grupo de átomos são unidos por meio de atrações eletrostáticas relativamente fracas).

A deficiência na aderência entre as camadas que constituem o sistema de revestimento ocorre principalmente devido às condições em que estes materiais ficam expostos, como às intempéries no caso de aplicações externas, ou locais com umidades excessivas, como é o caso de piscinas e banheiros (BAUER, 2005).

O mecanismo de aderência de uma argamassa pode ser dividido em duas etapas diferentes, porém muito relacionadas, sendo estas a adesão inicial e a aderência. A adesão inicial ocorre no momento em que a argamassa é aplicada e a aderência propriamente dita é a que se desenvolve ao longo do processo de hidratação dos aglomerantes da argamassa (MORENO JUNIOR e SELMO, 2007; STOLZ, 2011).

Segundo a NBR 13528 (ABNT, 2010) a aderência não é uma propriedade exclusiva da argamassa colante, mas sim, da interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento. Esta propriedade depende essencialmente da composição e reologia das argamassas, da natureza e características do substrato no qual a argamassa colante será aplicada, das condições de exposição e também dos procedimentos de assentamento do revestimento (CANDIA; FRANCO, 2000; CARASEK, 2007).

Já a aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno essencialmente mecânico, devido, basicamente, à penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação (CARASEK, 2007).

O que ocorre é que parte da água de amassamento, que contém em dissolução ou estado coloidal os componentes do aglomerante, penetra pelos poros e pelas cavidades do substrato quando sua superfície absorvente entra em contato com a argamassa.

No interior dos poros, ocorrem fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento e, transcorrido algum tempo, esses precipitados intracapilares exercem ação de ancoragem da argamassa à base. Por meio de estudos empregando microscópio eletrônico de varredura, foi confirmado que a aderência decorre do intertravamento principalmente de etringita no interior dos poros do substrato. Esse aumento local da concentração de etringita surge quando, ao se misturar o cimento Portland com água, a gipsita empregada como reguladora de pega do cimento dissolve-se e libera íons sulfato e cálcio. Esses íons são os primeiros a entrar em solução, seguidos dos íons aluminato e cálcio, provenientes da dissolução do  $C_3A$  do cimento (CARASEK, 2007). Na Figura 2 são apresentados os principais fatores que interferem na aderência das argamassas colantes.



Figura 2: Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas colantes

Fonte: Adaptado de Carasek, 2007

### 2.3. Revestimentos Cerâmicos

Trata-se de um conjunto monolítico de camadas aderidas à base (alvenaria ou estrutura), cuja camada exterior é constituída de placas cerâmicas, assentadas e rejuntadas com argamassa ou material adesivo (MEDEIROS; SABBATINI, 1999).

Campante e Baía (2003) explicam que o revestimento cerâmico está relacionado à aparência e à estética da edificação, sendo importante que haja harmonia entre os materiais e suas características, qualidade na execução do revestimento e que seja possível manter a aparência original ao longo de sua vida útil. Além disso, os revestimentos cerâmicos devem apresentar determinadas propriedades de forma que consiga desempenhar as suas funções obtendo um desempenho adequado às condições de uso. Estas propriedades são as seguintes:

- aderência: capacidade de permanecer aderido à base;
- resistência mecânica: capacidade de resistir às solicitações devidas ao uso, ao ambiente e aos outros subsistemas que compõem a edificação;
- capacidade de absorver deformações causadas pelas tensões dos outros subsistemas como a alvenaria e estrutura;

- isolamento térmico e acústico, estanqueidade à água e aos gases e segurança contra o fogo;
- características superficiais e de permeabilidade adequadas ao uso como, por exemplo, piso antiderrapante em áreas abertas;
- durabilidade e eficiência, ou seja, capacidade de manter suas características e propriedades durante a vida útil prevista em projeto.

### 2.3.1. Caracterização dos revestimentos cerâmicos

Os revestimentos cerâmicos constituem-se em um subsistema da edificação que se apresenta em camadas, sendo a camada mais externa formada pelas placas cerâmicas e juntas. Sob as placas tem-se a camada de fixação, o substrato ou emboço, a camada de preparação da base, quando houver, e a base (MEDEIROS; SABBATINI, 1999). Na Figura 3 é mostrada a posição dessas camadas e a base de alvenaria, a qual compõem um outro subsistema, constituindo a vedação nas edificações.

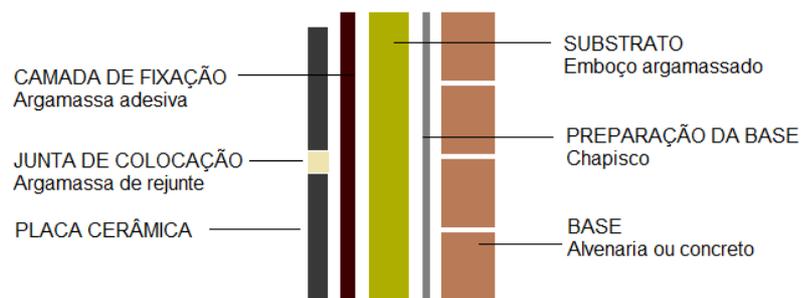


Figura 3: Camadas do Revestimento Cerâmico de Parede

Fonte: Adaptado de Medeiros; Sabbatini (1999)

Segundo Collantes (1998), os movimentos diferenciais entre as camadas causam tensões de tração e cisalhamento. Devem-se respeitar todas as camadas do revestimento, pois muitas patologias, como destacamentos ou descolamentos de placas cerâmicas, são causadas pela perda de aderência causada por falhas ou ruptura na interface entre as camadas do revestimento cerâmico, ou entre a base e o substrato (BARROS *et al.*, 1997).

O emboço, camada de regularização da superfície, geralmente construída com argamassa inorgânica, tem como função a absorção de deformações entre a camada de revestimento cerâmico e a base, devendo ser capaz de distribuir e

absorver tensões das movimentações diferenciais (responsáveis pelas tensões de tração e cisalhamento). Segundo a NBR 13749 (ABNT, 2013), recomenda-se que a camada de emboço em revestimentos externos tenha de 20 a 30 mm de espessura.

A camada de fixação é responsável pela ligação entre as placas cerâmicas e o emboço através de uma “cola” denominada argamassa colante industrializada. Esta camada deve ser capaz de suportar as tensões de tração e cisalhamento das interfaces, pois, se as tensões forem maiores que sua resistência de aderência, ocorre o destacamento da placa cerâmica ou até mesmo da superfície de emboço.

Em relação às placas cerâmicas, a NBR 13816 (ABNT, 1997) as define como “material composto de argila e outras matérias-primas inorgânicas, geralmente utilizadas para revestir pisos e paredes sendo conformadas por diferentes processos.

Segundo Campante e Baía (2003), as placas cerâmicas podem ser classificadas segundo:

- a) tipo de moldagem: extrudadas ou prensadas, sendo estas as mais frequentes no mercado;
- b) acabamento superficial: esmaltadas (quando recebem uma camada superficial de material vítreo) ou não-esmaltadas;
- c) textura: lisas ou rugosas, sendo que as lisas têm menor capacidade de absorção térmica que as rugosas e proporcionam maior reflexão dos raios solares, o que contribui para o melhor comportamento térmico;
- d) cor: claras ou escuras, sendo que as escuras, por apresentarem maior capacidade de absorção do calor proveniente dos raios solares, ficam submetidas a maiores temperaturas.

Campante e Baía (2003) também comentam algumas propriedades das placas cerâmicas, como mostrado na Tabela 1:

Tabela 1: Propriedades das Placas Cerâmicas

Propriedade	Característica
Absorção de Água	Relacionada à porosidade da placa cerâmica e interfere em propriedades como resistência mecânica e resistência a impactos.
Resistência Mecânica	Relacionada com a composição da placa cerâmica e sua espessura, sendo medida através do módulo de resistência à flexão e da carga de ruptura.
Resistência à Abrasão	Medida através da abrasão superficial para placas esmaltadas e da abrasão profunda para placas não esmaltadas.
Dilatação Térmica e Expansão por Umidade	Ocorre um aumento de tamanho da placa causado por variação de calor e umidade, respectivamente.
Resistência à Gretagem	O gretamento ocorre em placas esmaltadas quando a expansão da camada superficial não acompanha a expansão do corpo da placa, ocorrendo a fissuração em forma de fio de cabelo ou teia de aranha.
Resistência a Choques Térmicos	A placa resiste a uma grande variação de temperatura.
Resistência ao Gelo	Relacionada com a absorção de água pela placa cerâmica, pois quando a água que penetrou na placa congela, o seu volume aumenta, danificando a placa.
Resistência à Manchas	Indica a facilidade de limpeza da superfície da placa.
Resistência ao Ataque Químico	Mede a resistência da placa diante da ação de produtos químicos.
Resistência ao Escorregamento	Medida pelo coeficiente de atrito dinâmico. Quanto mais áspera e rugosa for a superfície da placa, maior é a resistência ao escorregamento e mais difícil é a remoção de manchas.

A absorção de água é uma característica que está relacionada à porosidade e à permeabilidade do material. Dessa forma, os materiais de maior qualidade são aqueles que possuem menor absorção de água.

De acordo com o grau de absorção, a NBR 13817 (ABNT, 1997) classifica os materiais cerâmicos em grupos, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Materiais cerâmicos de acordo com o grau de absorção

Grupo	Grau de Absorção	Usos Recomendados
Ia	0% a 0,5%	Pisos e paredes
Ib	0,5% a 3,0%	Pisos, paredes, piscinas e saunas
IIa	3,0% a 6,0%	Pisos, paredes e piscinas
IIb	6,0% a 10,0%	Pisos e paredes
III	Maior que 10%	Paredes

Fonte: Adaptado da NBR 13817 (ABNT, 1997)

Quanto menor a absorção de água maior é a resistência do revestimento cerâmico contra quebra, fissuração da camada esmaltada, descolamento, entre outras patologias. Essa característica é muito importante em locais onde haja o risco de choques e variações de temperatura e umidade. O uso de revestimento com peças de elevada porosidade em um ambiente úmido possivelmente facilitará o surgimento de patologias, entre as quais pode-se destacar o descolamento das peças.

A absorção de água também está relacionada ao método de fabricação utilizado para confeccionar o revestimento cerâmico. De acordo com o método de fabricação, os revestimentos cerâmicos são classificados em três tipos:

- A - placas cerâmicas extrudadas;
- B - placas cerâmicas prensadas;
- C - placas cerâmicas produzidas por outros processos.

Ao especificar o material, deve-se utilizar uma codificação recomendada pela NBR 13817 (ABNT, 1997), composta pela letra correspondente ao processo de

fabricação (A, B ou C) acompanhada da nomenclatura correspondente ao grupo de absorção, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3: Nomenclatura de acordo com o grau de absorção

Absorção de água (%)	Método de Fabricação		
	Extrudado (A)	Prensado (B)	Outros (C)
Menor que 0,5%		Bla	
0,5% a 3,0%	AI	BIIb	CI
3,0% a 6,0%	AIIa	BIIa	CIIa
6,0 a 10,0%	AIIb	BIIb	CIIb
Maior que 10,0%	AIII	BIII	CIII

Fonte: Adaptado da NBR 13817 (ABNT, 1997)

Assim, um peça especificada como AIIb corresponde a um revestimento produzido por processo de extrusão (A) e que possui absorção entre 6 e 10% (IIb). Alguns revestimentos cerâmicos também recebem nomes específicos em função do grau de absorção, conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 4: Nomenclatura específica de acordo com o grau de absorção

Tipologia de Produto	Grau de Absorção
Porcelanato	0% a 0,5%
Grés	0,5% a 3,0%
Semi-Grés	3,0% a 6,0%
Semiporoso	6,0% a 10,0%
Poroso	Maior que 10%

Fonte: Adaptado da NBR 13817 (ABNT, 1997)

## 2.4. Aditivos

Os aditivos químicos estão presentes na indústria de argamassas e nas construções e, têm sido amplamente utilizados na produção de argamassas colantes (SILVA, 2001). As pesquisas a respeito dessa aplicação iniciaram-se nos anos 60 na Europa e nos Estados Unidos, e o polímero inicialmente investigado foi o metil celulose devido à sua grande capacidade de retenção de água (WAGNER, 1973).

Aditivos são produtos que adicionados em pequenas quantidades aos concretos e argamassas de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las à determinadas condições, NBR 1763 (ABNT, 1992).

Nas argamassas, a quantidade de polímero adicionada é calculada em relação à massa de cimento. Os polímeros, neste caso, também denominados de modificadores de cimento, são adicionados na forma de látices, pó ou solução. Eles são classificados de acordo com a função que desempenham, que podem ser: incorporador de ar, retenção de água, retardador ou acelerador de pega (RAMACHANDRAN, 1995).

Em argamassa colante do tipo AC I são utilizados em sua formulação éteres de celulose MHEC (metil hidroxietil celulose) e/ou MHPC (metil hidroxipropil celulose), como aditivos que promovem a retenção de água, aumentam a viscosidade e contribuem na resistência de aderência (OHAMA, 1998; BETIOLI 2007; PÓVOAS, 2005; PATURAL *et al.*, 2010).

Os éteres de celulose (polímeros celulósicos) em materiais à base de cimento agem principalmente na modificação da viscosidade da fase aquosa da mistura, o que afeta drasticamente a cinética da hidratação e as propriedades desses no estado fresco e como consequência, no estado endurecido (SILVA, 2001). Derivados da celulose, esses aditivos são solúveis em água devido à eterificação de alguns grupos hidroxila da celulose através da reação do óxido de etileno com a álcali-celulose. Os éteres incorporados ao grupo hidroxila evitam a formação das pontes de hidrogênio, promovendo a solubilização do aditivo (TURNER, 1963). Agem, principalmente, na modificação da viscosidade da fase aquosa da mistura, pois devido à sua natureza hidrofílica (presença de grupos hidroxila OH) as moléculas de água fixam-se nas moléculas do aditivo. Assim, tem-se o incremento na retenção de água, conjuntamente com o aumento da viscosidade (KHAYAT, 1998; PÓVOAS E JOHN, 2006).

Quando a argamassa fresca contendo um éter de celulose entra em contato com superfícies porosas (como substrato e as peças cerâmicas, por exemplo), a água aprisionada pelo hidrogel é succionada pelo substrato em uma taxa menor que a

água livre, deixando ainda água disponível para as reações de hidratação do cimento (WAGNER, 1973). Os éteres de celulose aumentam a adesão inicial da argamassa ao substrato e à peça cerâmica, resultando em maior aderência no estado endurecido (SILVA, 2004).

No que se refere ao cimento em hidratação, até o momento não há evidências de interação química entre este e os éteres de celulose, possivelmente os polímeros permanecem na fração da água que não é consumida nas reações de hidratação e não fazem parte da estrutura hidratada do cimento (WAGNER, 1973).

Em relação aos efeitos que os éteres de celulose proporcionam nas propriedades das argamassas no estado fresco, não há dúvidas de que a trabalhabilidade é muito afetada, pois além da mudança na viscosidade, é observada maior incorporação de ar durante a mistura devido à ação tensoativa dos éteres de celulose, que reduzem a tensão superficial da água na mistura (MAILVAGANAM, 1984; OHAMA, 1984; DO Ó, 2004).

Segundo Silva (2001), a influência desses aditivos na consistência das argamassas é fundamentada pela interação forte das moléculas dos polímeros com a água e entre si por pontes de hidrogênio, além de possuírem afinidade pelas superfícies polarizadas das partículas de cimento e agregados. Logo, devido a essa interação física, há um aumento na estruturação interna e na estabilidade do sistema, proporcionando redução na tendência à segregação e exsudação, além de tornar a água menos móvel no sistema, dificultando sua saída seja por evaporação (para o meio) ou por sucção (para o substrato).

Pesquisadores como OHAMA (1998) e DO Ó (2004) comprovaram experimentalmente o aumento da capacidade de retenção de água de materiais à base de cimento (argamassa e concreto) contendo éteres de celulose.

## **2.5. Quartzito**

Segundo Almeida e Luz (2009) o quartzito é uma rocha metamórfica formada a partir da transformação de outras rochas (ígneas, metamórficas ou mesmo sedimentares) através da exposição a parâmetros térmicos, mecânicos e químicos sem que ocorra fusão da rocha.

Segundo Costa (1950), a maior parte das rochas metamórficas apresenta aspecto nitidamente cristalino. Os mármore e quartzitos são os mais importantes nesta família e apresentam, na sua maioria, foliações mais ou menos nítidas.

A composição química do quartzito pode corresponder praticamente à da sílica ( $\text{SiO}_2$ ), mas pode conter pequena porção de alumínio, ferro, cálcio, entre outros minerais. Os quartzitos são em geral brancos com algumas variações para amarelo, vermelho ou acastanhado (TASONG *et al.*, 1998; ULLEMEYER *et al.*, 2000; KUMAR e BHATTACHARJEE, 2002).

Os quartzitos são utilizados como pedra de revestimento por ser, segundo Frazão (2002), facilmente transformados em placas com baixa alterabilidade, por serem porosos e a resistência mecânica ser dependente da posição da estrutura em relação à linha de aplicação de cargas. Na Figura 4 são apresentados exemplos de aplicação de quartzito como material de acabamento.

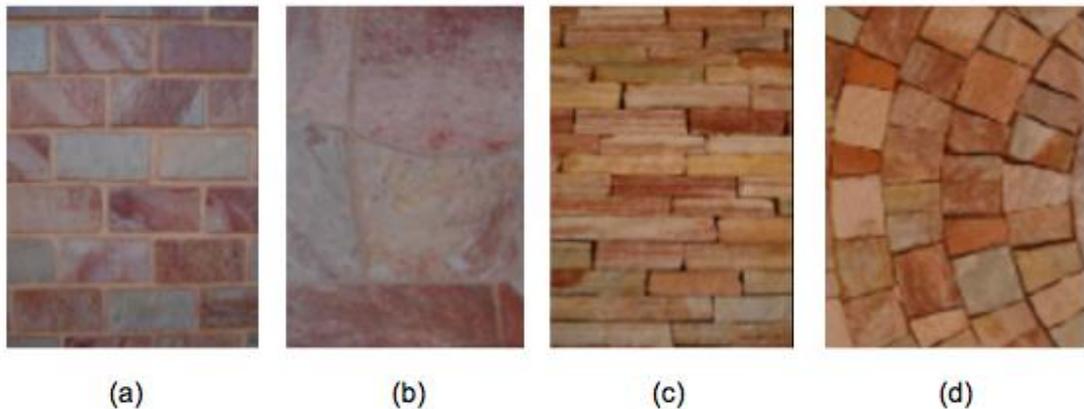


Figura 4: Utilização do quartzito como material de acabamento (a) Ladrilho cortado à mão, (b) Lajota irregular, (c) Filete, (d) Cubos

Fonte: Pires, 2007

Segundo a Associação Brasileira de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS), a produção brasileira de rochas ornamentais teria somado 7,8 milhões de toneladas em 2008 (Abirochas, 2009). No caso específico do quartzito, estima-se que a produção brasileira esteja por volta de 500.000 toneladas, sendo a grande maioria em Minas Gerais. As exportações de quartzitos em Minas Gerais representaram 87,5 % em valores do total exportado no Brasil (Abirochas, 2003).

Em função da presença de determinados minerais acessórios, como a dumortierita ou a cianita, ou ainda de minerais opacos alterados, os maciços de quartzito podem apresentar foliação até muito bem desenvolvida seguindo a disposição preferencial desses filossilicatos, não permitindo a extração de blocos e nem o corte regular de chapas, e sim, a extração em placas. A foliação é determinante no método de lavra, sendo, a partir dessa foliação que se desloca o material já em forma de lajões, e não mais em forma de blocos como no caso dos quartzitos com alto grau de recristalização. Tem-se, nesse caso, a extração de quartzito foliado, a forma de extração de quartzito mais importante em Minas Gerais, e também com maior geração de resíduos por m<sup>2</sup> de produto. Normalmente, verifica-se uma total falta de padrão e de regularidade nas áreas de extração de quartzito foliado, o que acarreta em grandes perdas e baixas taxas de aproveitamento para esses materiais.

A prática da lavra do quartzito em todo o estado de Minas Gerais é realizada a céu aberto. Primeiramente, é retirado todo o material estéril para então atingir o mineral. Por meio de explosivos e ferramentas manuais, o material de interesse é liberado para ser retirado em forma de placas. Nessa etapa, há uma grande geração de resíduo, composto por blocos e retalhos que, na sua maioria, ainda não são comercializáveis.

Para Deschamps *et al.* (2002), material estéril é todo aquele que não possui valor econômico e/ou não tem valor comercial. Esse material também pode ser definido como resíduo ou rejeito. Os mesmos autores subdividem o processo de produção de quartzito em três fases: (i) fase de decapeamento do manto de alteração, (ii) remoção do quartzito alterado/friável, e (iii) a lavra do quartzito comercial. Essas etapas são descritas a seguir.

(i) A camada superficial de solo, normalmente delgada e descontínua, é removida/raspada com ferramentas manuais. Em alguns locais o capeamento de solo é formado por um nível mais espesso de material siltoso, removido por tratores, pás-carregadeiras e caminhões.

(ii) O quartzito friável, interposto entre o capeamento de solo e o minério propriamente dito, não tem aproveitamento econômico como material de revestimento e é, por isto, definido como estéril da lavra. Quando este material

se encontra mais alterado ou amolecido, sua remoção é efetuada com ferramentas manuais e/ou por trator de esteiras e pás-carregadeiras. Em outras situações de maior coesão físico-mecânica, a remoção é efetuada com o uso de explosivos.

(iii) O desmonte das bancadas de quartzito comercial é efetuado por explosivos, mais raramente por cunhas e massas expansivas. A operação é completada por equipamentos manuais, como picaretas, alavancas e cunhas metálicas, além de pás mecânicas.

O excessivo volume de resíduo gerado no processo de extração e de processamento do quartzito é um grande problema para os empreendedores, pois acarreta em impactos ambientais negativos, tais como: desconfiguração da paisagem; alterações na conformação natural do relevo; assoreamento dos corpos de água; impedimento ao desenvolvimento da vegetação nativa; instabilidades nos taludes; dentre outros.

Por outro lado, caso os rejeitos de quartzito atendam aos padrões normativos estabelecidos para o uso de materiais rochosos nas diferentes possibilidades de aplicação na construção civil, podem tornar-se materiais viáveis para outros fins, podendo ser utilizados, por exemplo, como agregado na construção civil, material componente de argamassas e concreto.

A necessidade da reciclagem e minimização da geração de resíduos sólidos devem ser constantemente incentivadas, principalmente pelo fato do setor da construção civil ser grande consumidor de recursos naturais (JOHN, 2000).

A partir do reaproveitamento do resíduo de quartzito, diversas vantagens podem ser obtidas, tanto ambientalmente, através da diminuição do material destinado ao bota-fora e, conseqüentemente, redução dos impactos ambientais negativos já citados anteriormente, como economicamente, devido à disponibilidade de um novo tipo rochoso para uso na construção civil no mercado, com custo mais baixo.

## CAPÍTULO III

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. *Materiais*

Os materiais utilizados nas argamassas experimentais foram cimento Portland como aglomerante, aditivos, areia natural e rejeitos de mineração de quartzito. As argamassas naturais, isto é, sem a presença do rejeito de mineração de quartzito, foram executadas a fim de servirem como referência e testemunho em análises comparativas às argamassas compostas pelo rejeito. As placas cerâmicas utilizadas nos ensaios são pertencentes aos grupos BIa, BIa e BIII. Além desses materiais, foi utilizada uma argamassa industrial tipo AC I, a fim de comparação com as argamassas experimentais.

##### 3.1.1. Cimento

O cimento utilizado como aglomerante para produção das argamassas experimentais foi o cimento Portland CPIII 40 RS, em função de suas propriedades, disponibilidade e custo acessíveis. De acordo com a NBR 5735 (ABNT, 1991), este cimento é descrito como aglomerante hidráulico obtido pela mistura homogênea de clínquer Portland e sulfatos de cálcio (65 a 75 %), escória granulada de alto-forno (35 a 70 %) e material carbonático (0 a 5%), moídos em conjunto ou separado. De acordo com a Associação Brasileira de Cimentos Portland (ABCP) este cimento apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, além de baixo calor de hidratação, assim como alta resistência à expansão devido à reação álcali-agregado, além de ser resistente a sulfatos.

As propriedades físicas e mecânicas do cimento Portland CPIII 40 RS estão descritas na Tabela 5.

Tabela 5: Propriedades físicas e mecânicas do cimento Portland CP III 40 RS

<b>Cimento CAUÊ – CP III40 RS</b>		<b>Limites Normativos</b>
<b>Propriedades</b>	<b>Valores *</b>	<b>(NBR 5735)</b>
Finura #200	0,6 %	≤ 8,0 %
Finura #325	5,9%	-
Finura Blaine	4206 cm <sup>2</sup> /g	-
Início de pega	188 min	≥ 60 min
Fim de pega	255 min	≤ 720 min
Compressão 3 dias	21,7 MPa	≥ 12 MPa
Compressão 7 dias	31,3 MPa	≥ 23 MPa
Compressão 28 dias	43,6 MPa	≥ 40 MPa

*\*Valores médios obtidos do Mapa de Qualidade do CPIII 40 RS da fábrica de Pedro Leopoldo do período do mês de Julho de 2016.*

Fonte: InterCement, 2016

Quanto às propriedades químicas do cimento Portland CPIII 40 RS, estas estão descritas na Tabela 6.

Tabela 6: Propriedades químicas do cimento Portland CPIII 40 RS

<b>Cimento CAUÊ – CPIII 40 RS</b>		<b>Limites Normativos</b>
<b>Componentes</b>	<b>%</b>	<b>(NBR 5735)</b>
MgO	3,5	-
SO <sub>3</sub>	2,3	≤ 4,0%
Perda ao fogo média	3,5	≤ 4,5%
Resíduo insolúvel	1,5	≤ 1,5%

Fonte: InterCement, 2016

### 3.1.2. Agregado

A areia natural (AN) utilizada como agregado nas argamassas experimentais é composta basicamente por sílica, sendo de procedência do Rio Piranga no município de Ponte Nova, Minas Gerais.

Para garantir a qualidade almejada das argamassas experimentais e dos ensaios, a areia foi seca em estufa, em seguida processada e separada

granulometricamente em diferentes faixas de interesse para caracterização e produção das argamassas. O material foi então armazenado em sacos plásticos hermeticamente fechados e identificados. Os procedimentos descritos foram realizados no laboratório de Materiais de Construção Civil (LMC<sup>2</sup>), do Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas – UFOP.

### **3.1.3. Rejeito de Quartzito**

Este material, utilizado como agregado miúdo na composição de argamassas colantes, é um estéril de rocha de quartzito. Para as argamassas colantes, foram utilizadas duas amostras de quartzito de diferentes localidades. Sendo uma oriunda de uma mineradora na região de Itabirito/MG, nomeada como A1, e outra oriunda da região de São Thomé das Letras/MG, nomeada como A2.

As amostras foram coletadas de forma representativa, conforme prescrições normativas da NBR 10007 (ABNT, 2004) com o auxílio de máquinas de escavação em pontos de coleta distintos e enviados ao Laboratório de Materiais de Construção Civil da Escola de Minas/UFOP em bombonas plásticas, lacradas e devidamente identificadas, sendo posteriormente acondicionadas nas dependências do laboratório.

As amostras de quartzito A1 e A2 foram processadas e separadas granulometricamente em diferentes faixas de interesse para caracterização e produção das argamassas. Para garantir a qualidade das dosagens das argamassas, as amostras foram previamente secas em estufas e acondicionadas em sacos plásticos hermeticamente fechados e devidamente identificados.

### **3.1.4. Aditivo**

O aditivo utilizado foi o *Waloce/ M-20678*, sendo este um hidroxietil metil celulose, da família dos éteres de celulose. Este aditivo é indicado para aplicações em matrizes cimentícias e extrusão de produtos de fibrocimento. Na Tabela 7 estão apresentadas as propriedades do aditivo e na Figura 5 tem-se uma imagem do mesmo.

Tabela 7: Características do aditivo

Características	Descrição
Forma	Pó
Solubilidade	Solúvel em água
Viscosidade	80 000 cps
pH (solução 2%)	Neutro
Teor de umidade (máx)	7%

Fonte: Dow Construction Chemicals (2013)



Figura 5: Aditivo Walocel 20678  
Fonte: Dow Construction Chemicals (2013)

### 3.1.5. Placas Cerâmicas

Neste trabalho foram utilizadas placas cerâmicas para revestimento do tipo Bla para o ensaio de deslizamento - NBR 14081-5 (ABNT, 2012); BIIa para o ensaio de resistência de aderência à tração - NBR 14081-4 (ABNT, 2012) e BIII para o ensaio de tempo em aberto NBR 14081-3 (ABNT, 2012). Todas as placas utilizadas passaram por um ensaio para verificar a taxa de absorção das mesmas, conforme prescreve a norma NBR 13818 (ABNT, 1997).

### 3.1.6. Substrato- Padrão

Foram utilizados substratos de concreto, de dimensões 25x50 cm, de modo que as placas cerâmicas de cada série completa de ensaio coubessem em um mesmo substrato, NBR 14081-2 (ABNT, 2012).

## 3.2. Métodos

### 3.2.1. Beneficiamento

As amostras AN, A1 e A2 foram recebidas no laboratório de Materiais de Construção Civil (LMC<sup>2</sup>) onde passaram pelo processo de peneiramento no peneirador de agregados graúdos (marca CONTENCO, modelo I 3007) e foram separados de acordo com sua granulometria. A faixa granulométrica de interesse utilizada foi escolhida segundo recomendações de produtores de aditivos, sendo esta faixa caracterizada por apresentar diâmetro máximo característico de 0,6 mm e módulo de finura de 1,26. Para garantir a qualidade das dosagens das argamassas, todas as amostras foram previamente secas em estufas e acondicionadas em sacos plásticos hermeticamente fechados e devidamente identificados.

### **3.2.2. Caracterização Física das Amostras**

Os agregados naturais (AN) e artificiais (A1 e A2) utilizados na produção da argamassa colante foram submetidos aos seguintes ensaios de caracterização: Análise granulométrica – NBR NM 248 (ABNT, 2003); Massa específica– NBR 9776 (ABNT,1987); Massa unitária–NM 45 (ABNT, 2006); Teor de umidade – NBR 9939 (ABNT, 2011);Teor de impurezas orgânicas – NM 49 (ABNT,2001); Teor de material pulverulento – NM 46 (ABNT,2003).

### **3.2.3. Caracterização Química e Mineralógica das Amostras**

Para caracterização química e mineralógica das amostras, foram necessárias pequenas quantidades de agregados, em estado sólido, às quais foram obtidas por quarteamento e posterior processo de cominuição. Para obter frações granulométricas abaixo de 0,075mm, um volume de 40 ml de amostra foi moída durante 15 minutos, em estado bruto, a uma rotação de 200 rpm, por moinho de alta eficiência (marca RETCSH, modelo PM100), como mostrado na Figura 6, utilizando-se jarros de volume igual a 250 ml (sendo o volume útil de 120 ml) e esferas de aço inoxidável (conjunto de 68 esferas pequenas de diâmetro igual a 10mm + 4 esferas grandes de diâmetro de 20mm).



Figura 6: Moinho de Alta Eficiência

### 3.2.3.1. Análise por Espectrometria de Fluorescência de raios X

Para determinação da composição química das amostras AN, A1 e A2, foram realizados ensaios de fluorescência de raios X, utilizando-se o equipamento da marca Shimadzu, modelo Rayny EDX 720 sendo o ensaio realizado no vácuo com tempo de análise igual a 100 segundos. As análises de fluorescência de raios X (FRX) foram realizadas pelo Laboratório NanoLab pertencente ao Departamento de Metalurgia da Escola de Minas/UFOP.

### 3.2.3.2. Análise por Difratometria de raios X

A análise difratométrica das amostras foram efetuadas em um difratômetro do tipo comercial, marca Shimadzu, modelo XRD 6100, disponível no Laboratório NanoLab pertencente ao Departamento de Metalurgia da Escola de Minas/UFOP, utilizando tubo de cobre, com uma tensão de 40 Kv e corrente de 30 mA. A varredura foi feita variando  $2\theta$  de  $5^\circ$  a  $70^\circ$ , com passo ( $\Delta\theta$ ) de  $0,02^\circ$  e tempo de 1,2 s, usando a radiação de Cu- $K\alpha$  para identificar as fases presentes. A difração é o fenômeno que permite com que uma onda atravesse fendas ou contorne obstáculos, atingindo regiões onde, segundo a propagação retilínea da luz, não conseguiria chegar. Com este princípio, a difratometria de raios X (DRX) consegue caracterizar a microestrutura de materiais cristalinos.

### 3.2.4. Caracterização Morfológica das Amostras

A análise por microscopia ótica para os agregados AN, A1 e A2 foi realizada utilizando-se um microscópio óptico, da marca Coleman e Kontrol, modelo 26600, com capacidade de ampliação de até 45 vezes. Através deste

equipamento foi possível determinara morfologia dos grãos, distribuição dos poros, dentre outros. Na Figura 7 é mostrado o microscópio utilizado.



Figura 7: Microscópio Óptico

### 3.2.5. Dosagem das Argamassas

A formulação inicial das argamassas colantes experimentais foi definida segundo informações de fabricantes de aditivos, como sendo a proporção dos materiais apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Dosagem das Argamassas

Material	Quantidade
Cimento	25%
Agregado	75%
Aditivo	0,24%
Água	Índice de Consistência

#### 3.2.5.1. Procedimento de Mistura

A mistura dos constituintes da argamassa (cimento, agregado e aditivo) no estado anidro foi realizada preliminarmente com o auxílio de um saco plástico, agitando-se o material dentro do saco para dispersar os materiais e obter uma mistura homogênea. Cada mistura de argamassa compreendeu um total de 2,5 kg de material anidro adicionados no misturador planetário seguindo os procedimentos determinados pela NBR 14081-2 (ABNT, 2012), que estabelece a

mistura do pó na água, utilizando um misturador planetário com capacidade 5 litros e velocidade de rotação baixa (140 RPM).

### 3.2.6. Propriedades das Argamassas no Estado Anidro

#### 3.2.6.1. Densidade de Massa Aparente

Para a determinação da densidade de massa aparente das argamassas colantes preencheu-se um recipiente de massa ( $M_1$ ) e volume ( $V$ ) conhecidos com argamassa colante (em seu estado anidro), despejando-a por uma concha apoiada na borda do recipiente e, posteriormente sua superfície foi rasada com uma régua. Determinou-se a massa do recipiente com o conteúdo ( $M_2$ ), NBR 14086 (ABNT, 2004). Na Figura 8 é mostrado o procedimento do ensaio. A densidade de massa aparente foi determinada pela Equação (1).

$$\gamma_s = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad (1)$$

Onde:  $\gamma_s$  é a densidade de massa aparente, em gramas por centímetro cúbico;

$M_2$  é a massa do recipiente com argamassa colante, em gramas;

$M_1$  é a massa do recipiente vazio, em gramas;

$V$  é o volume do recipiente, em centímetros cúbicos. ( $400 \pm 1 \text{ cm}^3$ )



Figura 8: Procedimento Densidade de Massa no Estado Anidro

### 3.2.7. Propriedades das Argamassas no Estado Fresco

#### 3.2.7.1. Índice de Consistência

Para a determinação do índice de consistência, utilizou-se como molde uma forma tronco cônico metálica de volume definido que foi preenchida com argamassa e, após compactada, utilizando-se uma espátula na direção vertical, o cone foi removido. A argamassa foi submetida a 30 golpes na mesa de consistência, em um intervalo de 30 segundos. O valor de índice de consistência foi obtido realizando-se a média da abertura em mm, do espalhamento da argamassa sobre a mesa, NBR 13276 (ABNT, 2005). Na Figura 9 é mostrado o procedimento de ensaio.



Figura 9: Procedimento Índice de Consistência

#### 3.2.7.2. Deslizamento

Para a determinação do deslizamento das argamassas colantes utilizou-se um substrato padrão, onde foi fixada uma régua metálica rígida contra a borda longitudinal da mesma, mediante dispositivo de fixação. Uma fita adesiva foi colada sobre o substrato padrão de modo que sua aresta ficasse rente à régua, assegurando a área onde posteriormente foram colocados os espaçadores. Na posição horizontal, imprimou-se a argamassa colante sobre o substrato, formando cordões perpendiculares à régua utilizando-se a desempenadeira metálica denteada. Tomou-se o cuidado para que a argamassa ficasse sobreposta ligeiramente à fita adesiva, NBR 14081-5 (ABNT, 2012).

Foram colocados espaçadores após a retirada da fita adesiva, posicionando dois espaçadores para cada placa cerâmica. Após dois minutos da aplicação da argamassa foram colocadas placas cerâmicas de arestas de  $100 \pm 1$  mm, do grupo de absorção Bla (absorção  $< 0,5\%$ ), de modo que uma de suas arestas encostasse, centralizadamente, contra os espaçadores, conforme ilustrado no esquema da Figura 10.

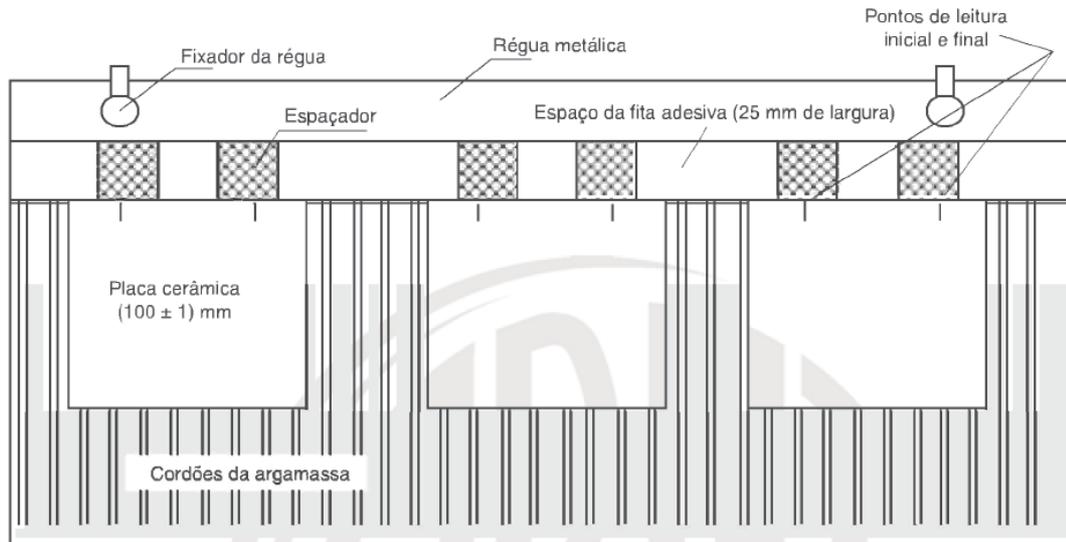


Figura 10: Procedimento Ensaio de Deslizamento

Fonte: NBR 14081-5 (ABNT, 2012)

Colocou-se uma massa padrão, de  $5 \pm 0,01$  kg sobre cada placa cerâmica durante 30 segundos, em seguida foram retirados os espaçadores e o substrato foi colocado na posição vertical durante 20 minutos. A distância entre a borda da placa cerâmica e a régua metálica foi determinada através de um paquímetro, em dois pontos de cada placa cerâmica. Essa medição ocorreu com o substrato ainda na horizontal, onde foi feita a medição inicial ( $L_i$ ) e após 20 minutos em que esteve na vertical foi feita a medição final ( $L_f$ ), conforme ilustrado na Figura 11.

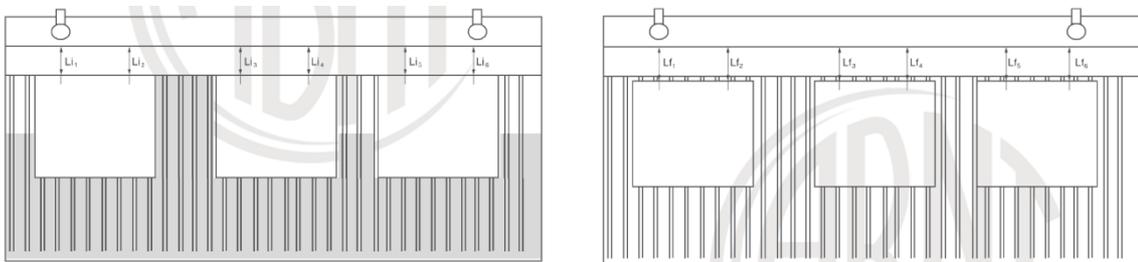


Figura 11: Leitura inicial e final - Ensaio de Deslizamento

Fonte: NBR 14081-5 (ABNT, 2012)

O cálculo do deslizamento pode ser obtido pela Equação (2).

$$L = \frac{\sum(L_f - L_i)}{6} \quad (2)$$

Onde:  $L_f$  é a leitura da posição final de cada ponto de leitura de cada placa cerâmica, expressa em milímetros (mm);  
 $L_i$  é a leitura da posição inicial de cada ponto de leitura de cada placa cerâmica, expressa em milímetros (mm).

### 3.2.7.3. Squeeze Flow

Para a obtenção do comportamento reológico das argamassas foi utilizada a técnica *Squeeze Flow*, método normatizado para argamassas convencionais, NBR 15839 (ABNT, 2010); com adaptações para argamassas colantes segundo recomendações sugeridas por KUDO (2012).

Utilizando o molde, anel restritivo 101,6 mm de diâmetro interno, moldou-se a amostra de argamassa sobre a placa inferior posicionada no equipamento (prensa Emic, modelo DL 20000). Utilizando uma espátula acondicionou-se o material dentro do molde, acomodando a massa gentilmente para promover preenchimento uniforme, visando evitar a compactação do material. Nivelou-se a superfície com a espátula para garantir um bom acabamento superficial, visto que a placa superior (punção) deve tocar perfeitamente o material antes do início do ensaio.

Após a placa superior (50,8 mm) ser posicionada sobre a amostra, sem aplicar carga sobre a mesma, aplicou-se a taxa de deslocamento de 0,1 mm/s até atingir 9 mm. Ao atingir essa posição, a placa superior ficou estacionada por 15 segundos para relaxação da amostra, para depois ser tracionada até a ruptura na estrição.

### 3.2.7.4. Retenção de Água

Para a determinação da retenção de água das argamassas colantes foi utilizado um molde cilíndrico de aço, de 100 mm de diâmetro e 25 mm de altura, um conjunto de 12 papéis-filtro, gaze, peso de 2kg constituído de cilindro maciço de

metal e uma placa circular de aço de 110 mm de diâmetro e 5 mm de espessura, conforme mostrado na Figura 12. Inicialmente foram registradas as massas do molde vazio ( $M_m$ ) e do conjunto de papéis-filtro secos ( $M_{se}$ ). A argamassa previamente preparada foi introduzida no molde, e registrou-se a massa desse conjunto argamassa/molde ( $M_{ma}$ ). Sobre a superfície da argamassa foram colocadas duas gazes, o conjunto de papel-filtro e a placa rígida, aplicando centralizadamente o peso de 2 kg. Imediatamente foi acionado o cronômetro e, após dois minutos, retirou-se o peso de 2 kg e a placa rígida, registrando a massa do conjunto de papéis-filtro molhados ( $M_f$ ), NBR 13277 (ABNT, 1995).



Figura 12: Procedimento Retenção de Água

O resultado da determinação da retenção de água das argamassas colantes foi calculado pela Equação (3) a seguir.

$$R_a = \left[ 1 - \frac{(M_f - M_{se})}{AF(M_{ma} - M_m)} \right] \times 100 \quad (3)$$

Sendo:

$$AF = \frac{M_w}{M + M_w} \quad (4)$$

Onde:  $M_w$  é a massa total de água acrescida à mistura, em gramas;  
 $M$  é a massa de argamassa industrializada ou a soma das massas dos componentes anidros no caso de argamassa de obra, em gramas;  
 $AF$  é o fator água/argamassa fresca;  
 $M_f$  é a massa do conjunto de discos molhados de papel-filtro, em gramas;

$M_{se}$  é a massa do conjunto de discos secos, em gramas;

$M_{ma}$  é a massa do molde com argamassa, em gramas;

$M_m$  é a massa do molde vazio, em gramas;

### 3.2.7.5. Teor de Ar Incorporado

Para a determinação do teor de ar incorporado das argamassas colantes preencheu-se o molde cilíndrico do equipamento (marca Solotest – modelo 1.150.001) com a argamassa e acoplou-se um dispositivo de vedação e leitura. Com as válvulas fechadas, o ar foi injetado por meio de uma bomba até que fosse atingida a marca inicial de leitura registrada no relógio. O valor do teor de ar incorporado foi obtido diretamente do monômetro do equipamento. Na Figura 13 é mostrado o equipamento utilizado.



Figura 13: Equipamento Teor de Ar Incorporado

### 3.2.7.6. Densidade de Massa

Para a determinação da densidade de massa no estado fresco inicialmente foi registrada a massa ( $M_v$ ) do recipiente cilíndrico de PVC, cujo volume era de 400 ml. As argamassas foram colocadas no molde e registrada a massa do conjunto ( $M_c$ ), NBR 13278 (ABNT, 2005).

O valor da densidade de massa no estado fresco foi calculado através da Equação (5).

$$A = \frac{M_c - M_v}{V_r} \quad (5)$$

Onde:  $M_c$  é a massa do recipiente cilíndrico de PVC, contendo a argamassa de ensaio, em gramas;

$M_v$  é a massa do recipiente cilíndrico de PVC vazio, em gramas;

$V_r$  é o volume do recipiente cilíndrico de PVC, em  $\text{cm}^3$ .

Na Figura 14 é ilustrado o procedimento para determinação da densidade de massa das argamassas no estado fresco.



Figura 14: Procedimento Densidade de Massa no Estado Anidro

### 3.2.8. Propriedades das Argamassas no Estado Endurecido

#### 3.2.8.1. Absorção de Água por Capilaridade

Para a determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade das argamassas colantes foram utilizados corpos de prova com dimensões 4/4/16 cm, com idade de 28 dias. Estes corpos de prova prismáticos tiveram suas superfícies lixadas, massa inicial ( $m_0$ ) registrada e posteriormente foram posicionados com a base apoiada em recipiente capaz de manter o nível de água constante a 5 mm acima da face de contato com água. A partir do posicionamento dos corpos de provas em contato com a água foram determinadas as massas de cada um aos 10 min ( $m_{10}$ ) e 90 min ( $m_{90}$ ), NBR 15259 (ABNT, 2005). Na Figura 15 é mostrado o procedimento de ensaio. A

absorção de água por capilaridade foi determinada pela Equação (6) e o coeficiente de capilaridade foi determinado pela Equação (7).



Figura 15: Procedimento Absorção de Água por Capilaridade

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad (6)$$

Onde:  $A_t$  é a absorção de água por capilaridade, para cada tempo, em gramas;  
 $m_t$  é a massa do corpo de prova em cada tempo, em gramas;  
 $m_0$  é a massa inicial do corpo de prova, em gramas;  
 $t$  corresponde aos tempos de 10 min e 90 min, em segundos;  
 16 é a área do corpo de prova, em centímetros quadrado.

$$C = (m_{90} - m_{10}) \quad (7)$$

Onde:  $C$  é o coeficiente de capilaridade, em gramas por decímetro quadrado pela raiz quadrada de minuto ( $\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ );

### 3.2.8.2. Resistência de Aderência à Tração

Para a determinação da resistência de aderência à tração utilizou-se substrato padrão, sobre o qual foi aplicada argamassa colante na direção da maior dimensão do substrato, formando cordões com a desempenadeira metálica denteada. Transcorridos 5 minutos, foram posicionadas 10 placas cerâmicas de seção quadrada ( $50 \pm 1$  mm de aresta) pertencente ao grupo de absorção B11a ( $3\% < \text{absorção} < 6\%$ ) respeitando uma separação de 50 mm entre elas e de no mínimo 25 mm entre suas arestas e a borda mais próxima do substrato.

Colocou-se sobre cada placa uma massa padrão de  $2 \pm 0,01$  kg durante 30 segundos, sendo os conjuntos formados por substrato/argamassa/placa-cerâmica estocados posteriormente. Estes procedimentos foram realizados para cura normal e cura submersa em água, NBR 14081-4 (ABNT, 2012).

Após o tempo para cada protocolo de cura, foi realizado o ensaio de arrancamento por tração, utilizando Aderímetro (Contenco). Previamente ao ensaio foram acopladas peças metálicas às placas cerâmicas utilizando adesivo epoxídico. Após acoplamento do aderímetro às peças metálicas, aplicou-se um esforço de tração perpendicular ao plano de assentamento das placas cerâmicas com uma velocidade de carregamento uniforme de  $250 \pm 50$  N/s até a ruptura. A resistência de aderência à tração foi obtida pela Equação (8).

$$f_t = \frac{T}{A} \quad (8)$$

Onde:  $f_t$  é a tensão de ruptura, arredondada à segunda decimal, expressa em megapascais (MPa);

T é a força de ruptura, expressa em newtons (N);

A é a área da placa cerâmica, considerada igual a  $2500 \text{ mm}^2$ , expressas em milímetros quadrados ( $\text{mm}^2$ ).

### 3.2.8.3. Tempo em Aberto

Para a determinação do tempo em aberto das argamassas utilizou-se substrato padrão, sobre o qual foi aplicada argamassa colante na direção da maior dimensão do substrato, formando cordões com a desempenadeira metálica denteada. Transcorridos 15 minutos, foram posicionadas 10 placas cerâmicas, de seção quadrada ( $50 \pm 1$  mm de aresta), pertencente ao grupo de absorção BIII (absorção  $> 10$  %), respeitando uma separação de 50 mm entre elas e de no mínimo 25 mm entre suas arestas e a borda mais próxima do substrato. Colocou-se sobre cada placa uma massa padrão de  $2 \pm 0,01$  kg durante 30 segundos, e após a retirada das massas os conjuntos formados por substrato/argamassa/placa-cerâmica foram estocados durante 28 dias, NBR 14081-3 (ABNT, 2012). O procedimento de ensaio é mostrado na Figura 16.



Figura 16: Procedimento Tempo em Aberto e Resistência de Aderência à Tração

Após o tempo de cura, foi realizado o ensaio de arrancamento por tração, utilizando Aderímetro (Contenco). Previamente ao ensaio foram acopladas peças metálicas às placas cerâmicas utilizando adesivo epoxídico. Após acoplamento do aderímetro às peças metálicas, aplicou-se um esforço de tração perpendicular ao plano de assentamento das placas cerâmicas com uma velocidade de carregamento uniforme de  $250 \pm 50$  N/s até a ruptura. A resistência de aderência à tração também foi obtida pela Equação (8).

#### 3.2.8.4. Resistência à Tração na Flexão e à Resistência à Compressão

Para a determinação da resistência à tração na flexão foram utilizados 3 corpos de prova prismáticos de 40x40x160 mm aos 28 dias de idade. Cada corpo de prova foi posicionado na prensa Emic, modelo DL 20000, onde foi aplicada uma carga de  $50 \pm 10$  N/s no centro dos corpos de prova biapoiados (com espaçamento de 10 cm entre os apoios) até a ruptura, NBR 13279 (ABNT, 2005). Na Figura 17 é mostrado o procedimento do ensaio para determinação da resistência à tração na flexão.

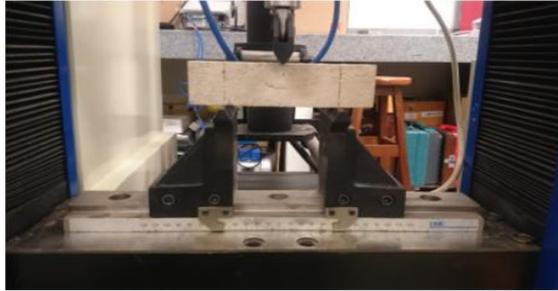


Figura 17: Procedimento Resistência à Tração na Flexão

A resistência à tração na flexão foi calculada pela Equação (9).

$$R_f = \frac{1,5F_f L}{40^3} \quad (9)$$

Onde:  $R_f$  é a resistência à tração na flexão, em megapascals;  
 $F_f$  é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons;  
 $L$  é a distância entre os suportes, em milímetros.

Para a determinação da resistência à compressão das argamassas colantes utilizou-se a metade de cada corpo de prova do ensaio de flexão, posicionando-os no dispositivo de apoio do equipamento (prensa Emic, modelo DL 20000) de modo que a face rasada não ficasse em contato com o dispositivo de apoio nem o dispositivo de carga, conforme mostrado na Figura 18. Foi aplicada uma carga de  $500 \pm 50$  N/s em uma área de  $40 \text{ cm}^2$ , até a ruptura dos corpos de prova, NBR 13279 (ABNT, 2005). A resistência à compressão foi calculada pela Equação (10).



Figura 18: Procedimento Resistência à Compressão

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (10)$$

Onde:  $R_c$  é a resistência à compressão, em megapascals;

$F_c$  é a carga máxima aplicada em newtons;

1600 é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga 40 mm x 40 mm, em milímetros quadrados.

### 3.2.8.5. Densidade de Massa no Estado Endurecido

Para a determinação da densidade de massa das argamassas no estado endurecido os corpos de prova foram moldados conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005) e ensaiados aos 28 dias. O ensaio consistiu em medir as dimensões para obtenção do volume, com auxílio de um paquímetro e registrar a massa, com precisão de 0,1 g, de cada corpo de prova, NBR 13280 (ABNT, 2005). Na Figura 19 é mostrado o procedimento do ensaio da densidade de massa, que é obtida dividindo-se a massa pelo volume dos corpos de prova.



Figura 19: Procedimento Densidade de Massa no Estado Endurecido

### 3.2.8.6. Resistência à Compressão

Para a determinação da resistência à compressão aplicou-se carregamento constante de  $(500 \pm 50)$  N/s nos corpos de prova devidamente colocados em dispositivo para aplicação das cargas. A resistência à compressão foi obtida pelo cálculo da média das resistências individuais, em MPa, dos corpos-de-prova ensaiados. Para cada argamassa foram rompidos 4 corpos de prova, aos 28 dias de idade, NBR 13279 (ABNT, 2005). O equipamento utilizado foi a prensa EMIC,

modelo DL 20000, e a célula de carga de capacidade de 200 KN, conforme mostrado na Figura 20.



Figura 20: Procedimento Resistência à Compressão

#### 3.2.8.7. Expansibilidade por Método Acelerado

O ensaio consiste de método acelerado para determinar, por meio da variação de comprimento de barras de argamassa, a suscetibilidade de um agregado participar da reação expansiva álcali-silica na presença dos íons hidroxila associados aos álcalis (sódio e potássio), fazendo-se uso de um cimento (CPV ARI) padrão prescrito na norma, NBR 15577-4 (ABNT, 2009).

Foram utilizados para cada agregado 3 corpos de prova prismáticos, de seção quadrada com 25,0mm de lado e 285,0mm de comprimento. Os corpos de prova continham dois pinos, um em cada extremidade, para a medição das dimensões e suas variações por extensômetro digital de precisão.

As barras de argamassa foram produzidas em acordo com a norma e permaneceram por 24h em câmara úmida para o início da cura. Após a desmoldagem as barras foram colocadas em um banho térmico a  $(80,0 \pm 2,0)^\circ\text{C}$  em água destilada para obtenção das medidas de referência para posterior comparação.

A seguir, as barras foram colocadas em um banho térmico a  $(80, 0 \pm 2, 0)^\circ\text{C}$  em solução de NaOH com concentração molar normativa. Além da leitura de referência, foram efetuadas leituras em diferentes idades e aos 30 dias.

A variação de comprimento ou expansão de cada barra de argamassa numa determinada idade representa a diferença entre seu comprimento na idade considerada e seu comprimento inicial (leitura zero), expressa em porcentagem do comprimento efetivo de medida. Na Figura 21 são mostrados os procedimentos para determinação da expansibilidade das barras de argamassa.



Figura 21: Procedimento Expansibilidade das Barras de Argamassa

### 3.2.9. Análise Econômica das Argamassas

A avaliação econômica dos traços das argamassas experimentais ocorreu por meio do somatório dos valores em R\$/kg dos materiais componentes (preço comercial, região metropolitana de Belo Horizonte-MG); onde posteriormente foi possível obter um valor aproximado das argamassas experimentais em R\$/tonelada, comparativamente à argamassa industrial (REF).

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS e DISCUSSÃO

#### 4.1. Caracterização Física das Amostras

##### 4.1.1. Distribuição Granulométrica

Este ensaio foi realizado com o intuito de aferir as características relativas à dimensão dos grãos das amostras a partir dos resultados obtidos das massas retidas em cada uma das peneiras. Desse modo foi possível traçar a curva ou distribuição granulométrica de cada uma das amostras analisadas (AN, A1 e A2) em seu estado bruto comparativamente ao agregado utilizado em argamassas industriais, aqui denominado por REF, obtido para o traçado da curva por processo de lavagem. Também foi traçada a curva granulométrica, denominada AP (Areia Padrão), usada para confecção das argamassas experimentais, que foi adotada por ser a mesma utilizada pelo fornecedor do aditivo utilizado nas argamassas experimentais desta pesquisa. Todas as curvas são mostradas na Figura 22.

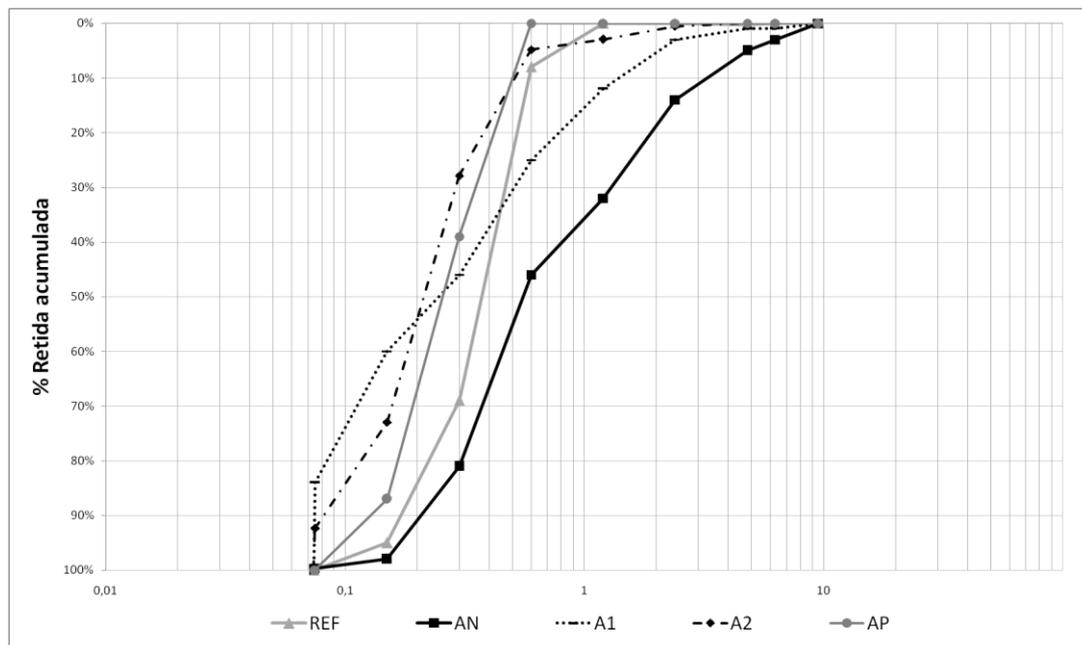


Figura 22: Distribuição Granulométrica dos Agregados – Estado Bruto

A Tabela 9 indica a classificação dos agregados em seu estado bruto, ou seja, antes do beneficiamento, segundo suas características granulométricas.

Tabela 9: Características granulométricas dos agregados – Estado Bruto

	REF	AN	A1	A2	AP
MF	1,72	2,76	1,47	1,09	1,26
DMC(mm)	1,2	4,8	2,4	0,6	0,6

Observa-se dos dados obtidos da análise granulométrica, que os rejeitos possuem granulometrias muito próximas de REF e AP, o que sugere necessidade de pouco processamento para sua utilização. Para que os resultados pudessem apresentar-se de forma normalizada, todos os agregados utilizados (AN, A1 e A2) tiveram sua curva ajustada à curva padrão, AP.

Assim, após o beneficiamento, foram obtidas as curvas respeitando o limite de DMC (0,6mm), ideais para utilização em argamassas colantes. Na Figura 23 são mostradas as curvas das areias AN, A1 e A2 após o beneficiamento. Apesar de ter sido adotado o mesmo procedimento para o beneficiamento, as amostras A1 e A2 apresentaram módulo de finura menores quando comparado à AN, conforme mostrado na Tabela 10.

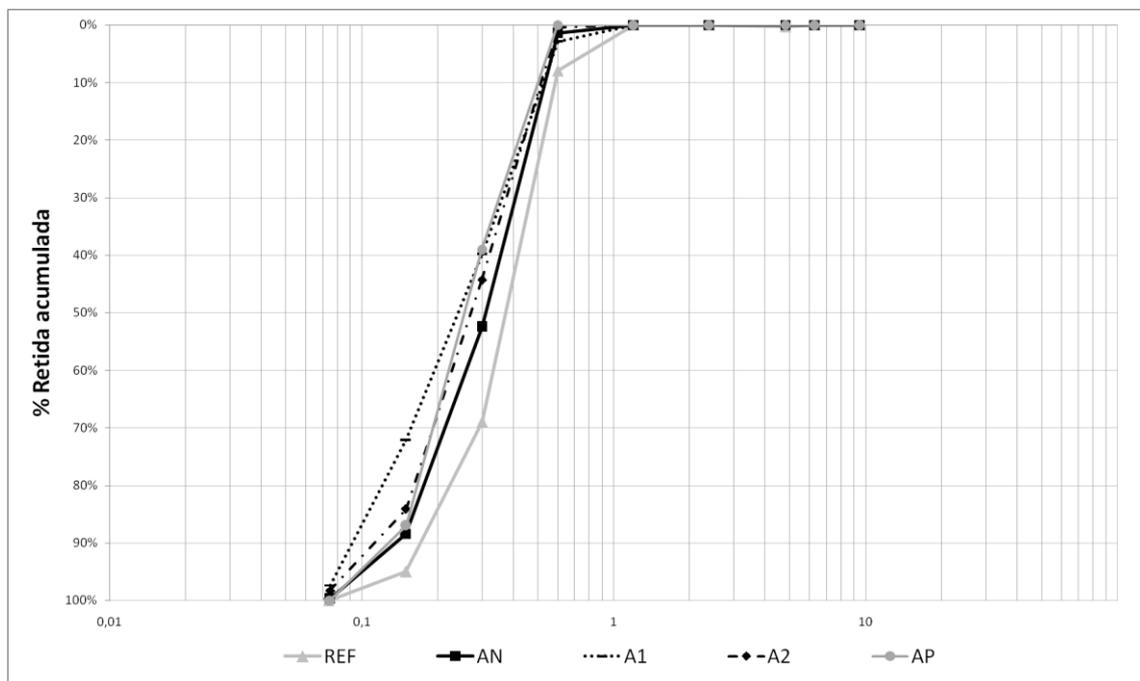


Figura 23: Distribuição Granulométrica dos Agregados – Após Beneficiamento

Tabela 10: Características granulométricas dos agregados – Após Beneficiamento

	REF	AN	A1	A2	AP
MF	1,72	1,42	1,15	1,29	1,26
DMC(mm)	1,2	0,6	0,6	0,6	0,6

#### 4.1.2. Massa Específica, Massa Unitária e Teor de Umidade

Observa-se dos dados obtidos para massa específica real e massa unitária, conforme apresentado na Figura 24, que os agregados produzidos a partir dos rejeitos A1 e A2, são idênticos ao AN, convencionalmente utilizado. Considerando que argamassas são produzidas essencialmente por agregados, variações nos valores para massa específica e massa unitária poderiam influenciar na aplicabilidade destes rejeitos como agregados, dado que as operações de aplicação e utilização das argamassas está diretamente relacionada ao seu desempenho no estado fresco.

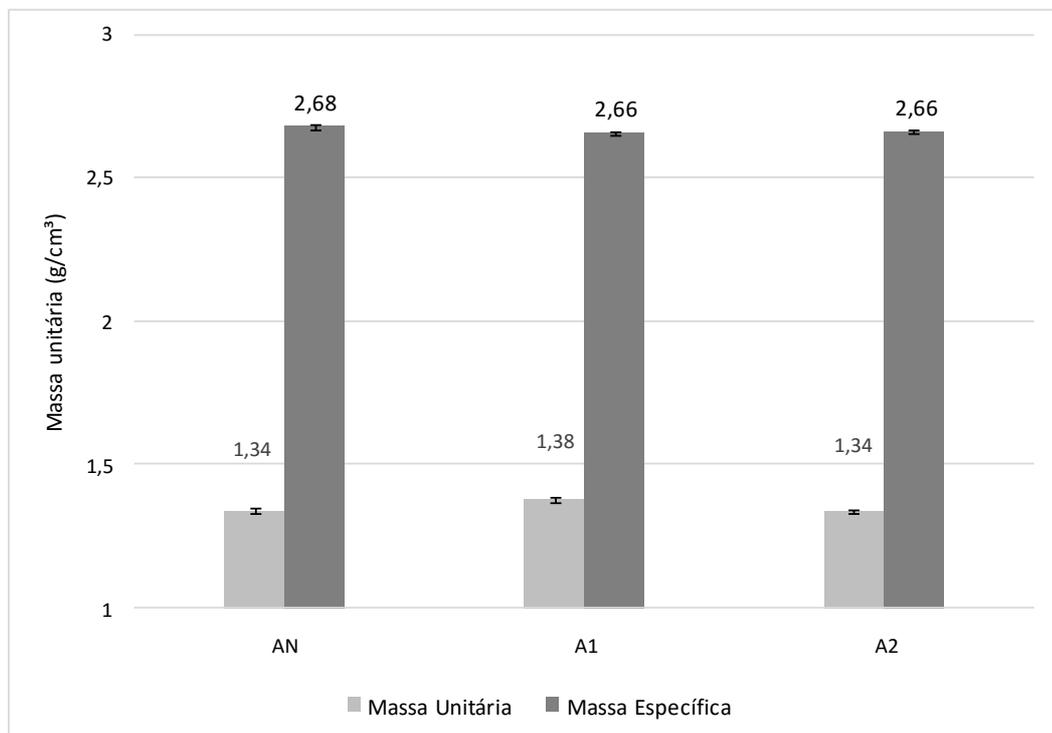


Figura 24: Massa Unitária e Massa Específica dos Agregados

Observa-se dos dados obtidos para o teor de umidade, conforme apresentado na Figura 25, que AN apresenta-se um pouco superior àqueles obtidos para A1 e A2, fato que pode ser devido à mesma apresentar maior absorção de água. Considerando que argamassas colantes são produzidas industrialmente, o

parâmetro umidade poderia influenciar de alguma forma no processamento dos agregados, relativamente à secagem para produção das misturas anidras.

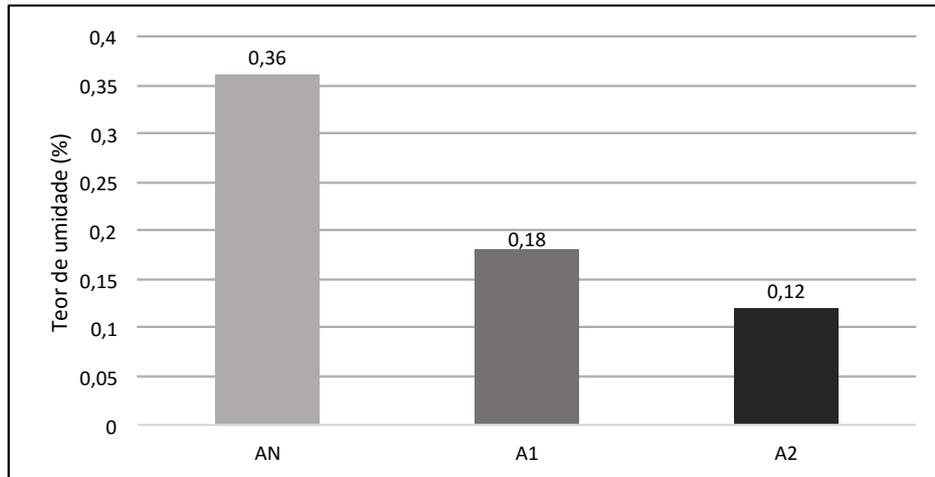


Figura 25: Teor de Umidade dos Agregados

#### 4.1.3. Teor de Impureza Orgânica e Teor de Material Pulverulento

Observa-se dos dados obtidos na determinação de impurezas orgânicas, que os materiais utilizados AN, A1 e A2, não possuem teores consideráveis de materiais orgânicos, conforme pode-se observar na Figura 26.



Figura 26: Resultado do Ensaio de Impurezas Orgânicas - Amostras AN, A1 e A2 respectivamente

Observa-se dos dados obtidos para teor de materiais pulverulentos, que a amostra A1 apresenta o maior teor, conforme pode-se observar na Figura 27.

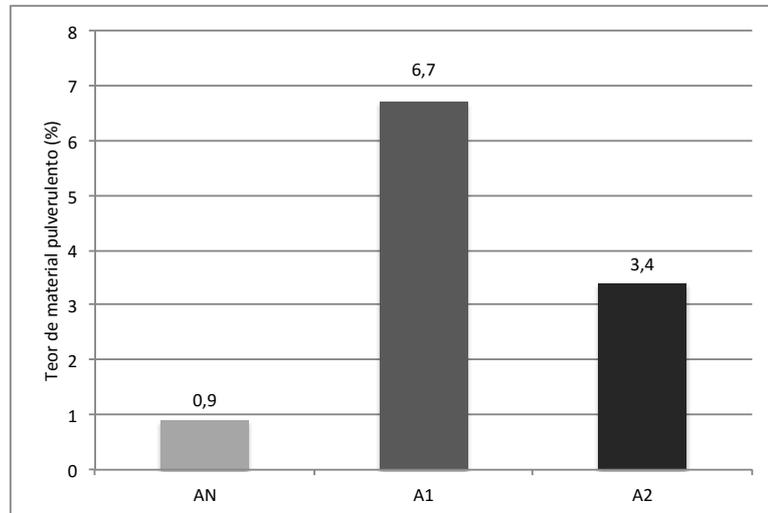


Figura 27: Teor de Material Pulverulento

Apesar do elevado teor de material pulverulento, a presença deste material fino não implicou em aumento da dosagem de água para produção das argamassas colantes quando comparado à AN. A presença destes materiais finos pode ter contribuído de alguma forma para o empacotamento da mistura, o que promoveu ganho em relação à consistência das argamassas produzidas com rejeitos A1 e A2. O mesmo efeito foi observado por Silva (2006), ao produzir argamassas colantes com areia de calcário britada.

#### 4.1.4. Fluorescência de Raios X

Observa-se dos dados obtidos da análise química por fluorescência de raios X apresentados na Tabela 11 a seguir; que os materiais AN, A1 e A2 são constituídos essencialmente por óxidos de sílica, com teores relativamente baixos de óxido de ferro. A presença de elevados teores de óxido de sílica sugerem materiais estáveis e resistentes a ações externas, garantindo matrizes mais duráveis e de melhor desempenho.

Tabela 11: Resultado da Análise por Fluorescência de Raios X

Elementos (%)	AN	A1	A2
SiO <sub>2</sub>	92,7	96	96,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,9	1,5	0,7
SO <sub>3</sub>	1,3	1,3	1,9
K <sub>2</sub> O	1	0,8	0,8

#### 4.1.5. Difração de Raios X

Observa-se dos dados obtidos na difração de raios X, conforme apresentado nas Figuras 28, 29 e 30, que os materiais AN, A1 e A2 são essencialmente formados por quartzo. A presença deste mineral garante estabilidade e durabilidade às matrizes. A utilização de rejeitos que apresentam-se estáveis na presença de cimento Portland e aditivos representa uma grande vantagem para os rejeitos A1 e A2, dado que as discussões acerca das inclusões de rejeitos em matrizes de cimento concentram-se nas hipóteses de que esses materiais possam gerar produtos pouco duráveis, o que de forma direta, comprometeria sua inclusão na cadeia produtiva.

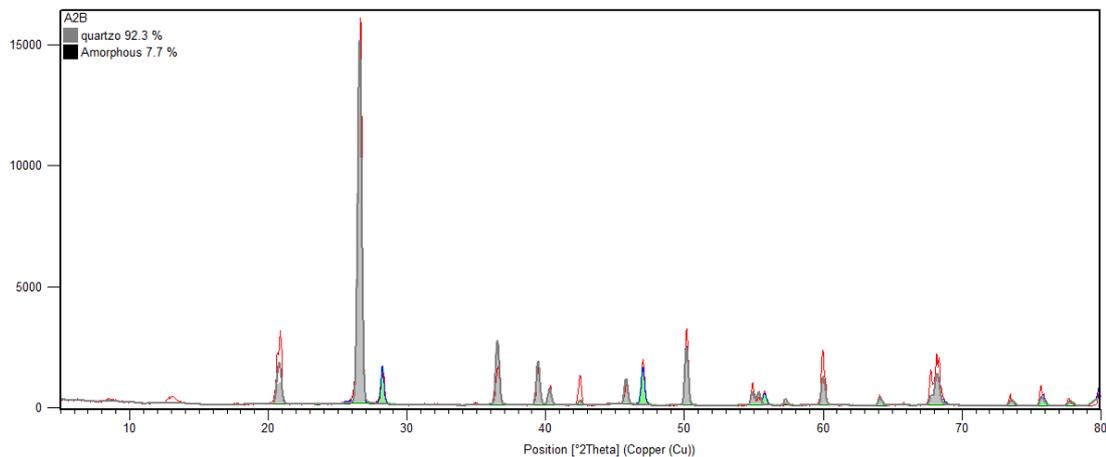


Figura 28: Difratograma da Amostra A1

:

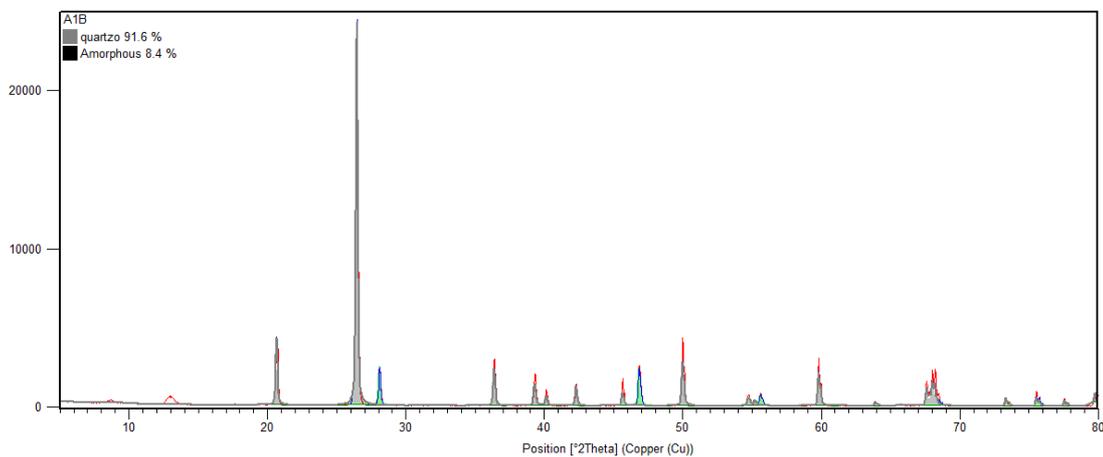


Figura 29: Difratograma da Amostra A2

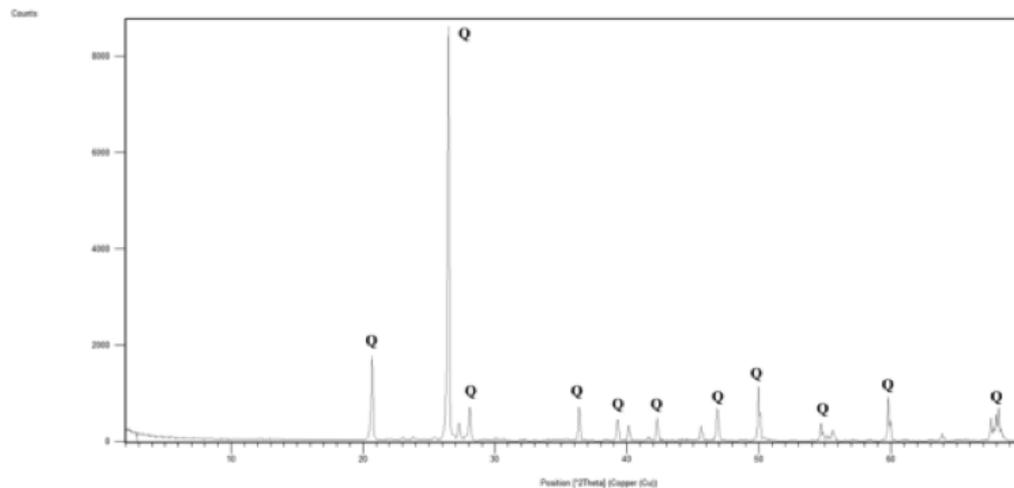


Figura 30: Difratoograma da Amostra AN (Q: quartzo)

#### 4.1.6. Microscopia Óptica

Observa-se dos dados obtidos para morfologia, conforme apresentados na Figura 31, que os agregados possuem forma cúbica e boa distribuição granulométrica, confirmando achados da granulometria. Adicionalmente, as imagens ilustram coloração translúcida para os grãos, características observadas em cristais de quartzo, o que também pode ser confirmado pelas análises químicas e de microestrutura dos materiais.

Os agregados AN apresentaram superfície pouco mais rugosa, o que pode justificar presença de maiores teores de umidade em seu estado natural, mesmo tendo maior superfície específica. De forma geral, A1 e A2 possuem rugosidades de superfície semelhantes.

A forma dos agregados influencia diretamente na reologia e no desempenho das matrizes de cimento, principalmente argamassas colantes, as quais devem apresentar-se estáveis durante tempos relativamente grandes após adição de água. Devem ainda sustentar elementos de revestimentos aderidos a substratos verticais sem se deformar e ainda garantir que estes elementos permaneçam aderidos a estes substratos mesmo quando solicitados por ações mecânicas e higrotérmicas.

A distribuição granulométrica dos agregados miúdos é uma variável determinante no desempenho das argamassas, tanto no que se referem às proporções adequadas de tamanhos quanto no que se refere à morfologia e textura das partículas (SILVA; CAMPITELI, 2006).

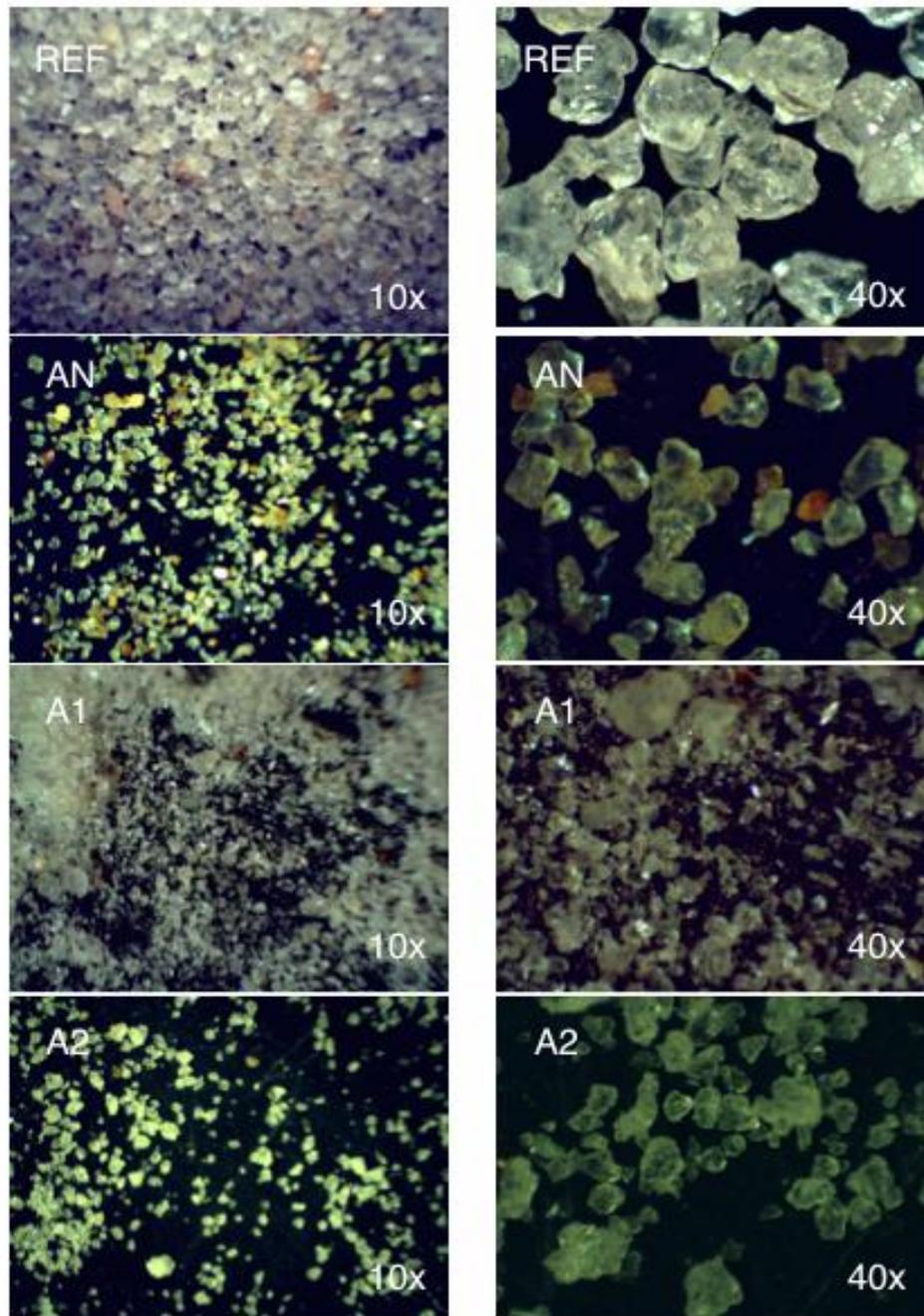


Figura 31: Microscopia Ótica dos Agregados REF, AN, A1 e A2

## 4.2. Propriedades das Argamassas no Estado Anidro

### 4.2.1. Densidade de Massa Aparente

Observa-se dos dados obtidos para densidade de massa, apresentados na Figura 32, que as argamassas são semelhantes. Fato que pode ser justificado pela equivalência entre os valores obtidos para massa específica e massa unitária dos materiais utilizados como agregados.

A equivalência entre as densidades de massa, associada à morfologia dos grãos garante desempenho semelhante das argamassas obtidas, que sejam os agregados AN, A1 ou A2.

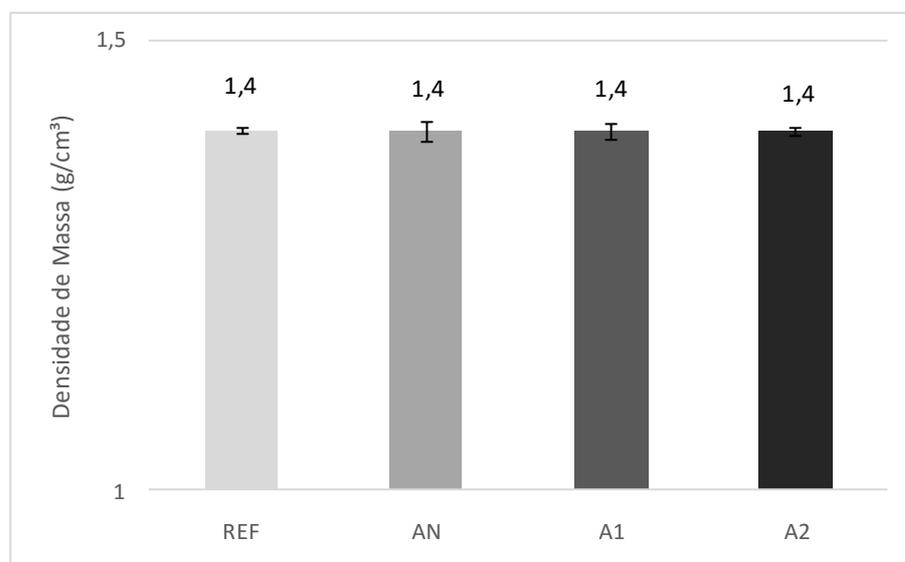


Figura 32: Densidade de Massa Aparente

## 4.3. Propriedades das Argamassas no Estado Fresco

### 4.3.1. Índice de Consistência

Observa-se dos dados obtidos para determinação do índice de consistência, conforme apresentado na Figura 33, que a argamassa com maior retenção de água e ainda com maior teor de ar incorporado possui fluidez ligeiramente superior, embora todos os tratamentos tenham produzido resultados idênticos considerando o intervalo de validade do ensaio.

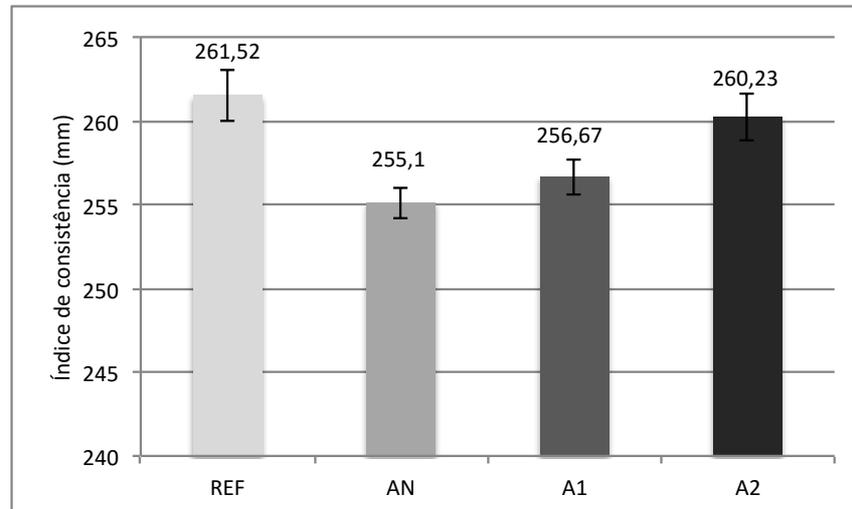


Figura 33: Índice de Consistência das Argamassas

A partir desse resultado foi possível determinar a relação de a/ms (água/massa seca) para cada argamassa, cujos valores se encontram na Tabela 12:

Tabela 12: Relação água/massa seca das argamassas

Argamassa	REF	AN	A1	A2
Relação a/ms	0,23	0,31	0,30	0,30

#### 4.3.2. Deslizamento

Para realização de ensaios em conformidade com a NBR 14081-5 (ABNT, 2012), obtiveram-se os valores de deslizamento conforme mostrado na Figura 34.

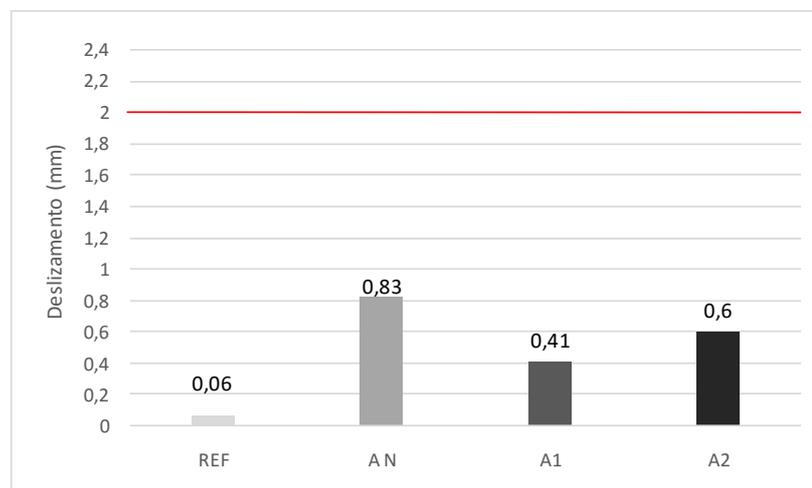


Figura 34: Deslizamento das Argamassas

Observa-se dos dados obtidos do deslizamento, que argamassas produzidas com rejeitos (A1 e A2) apresentaram menor deslizamento relativo que aquela argamassa produzida com agregado natural (AN). Considerando que as placas de revestimento eram idênticas, bem como substrato, pode-se inferir que a presença de finos dos agregados A1 e A2 induziu maiores tensões de adesão entre as placas e o substrato, o que garantiu menor deslizamento. Além disso, observou-se uma relação entre o ensaio de deslizamento e ensaio de *Squeeze Flow*, em que à medida que se obteve um menor deslizamento, proveniente também de menor quantidade de água na composição, obteve-se uma maior demanda de carga no ensaio de *Squeeze Flow*.

Observa-se também que os valores de deslizamento para os agregados A1 e A2 foram superiores àqueles verificados para argamassa de referência, REF. Dado que as granulometrias A1, A2 e AN são bastante próximas e quase se superpõem, podemos atribuir a diferença aos aditivos e teores utilizados de ligantes presentes na argamassa de referência. De fato, na presença dos éteres de celulose, é observado um aumento na resistência ao escoamento (KHAYAT, 1998).

Ainda assim todos os valores obtidos para deslizamento encontram-se dentro dos limites aceitáveis para essa classe de argamassas, sendo 2mm o máximo limite aceitável.

#### **4.3.3. *Squeeze Flow***

Como pode ser visto na Figura 35, no gráfico (carga *versus* deslocamento), as cargas de compressão necessárias para efetuar a deformação do material aumentaram com a taxa de deslocamento. Observa-se também que a argamassa industrial (REF) apresentou valores de carga de compressão muito elevados em comparação às argamassas experimentais, que pode ser devido à menor quantidade de água utilizada em sua formulação. Em relação à aplicabilidade, argamassas como a REF, com maiores valores de carga de compressão, podem exigir do aplicador uma necessidade de aumento do teor de água para conseguir uma consistência de trabalho.

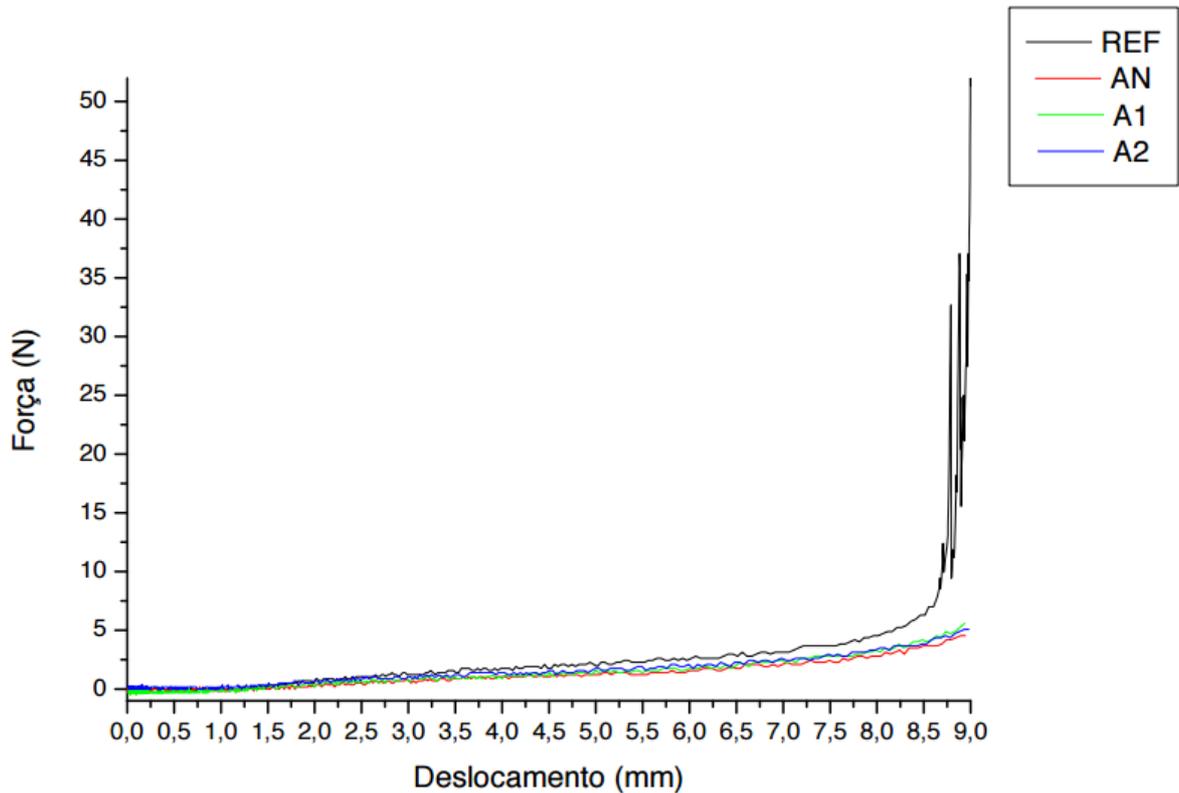


Figura 35: *Squeeze Flow*

Considerando que argamassa industrializada (REF) tem maior fluidez, a ação dos aditivos presentes em sua composição pode ter se apresentado mais efetiva que aqueles utilizados no modelo, proporcionando comportamento como fluido viscoso confinado. Comportamento que poderia ter influenciado a reação desta argamassa ao esforço mecânico de compressão aplicado, associado ao confinamento. Dessa forma, poderíamos ainda ter um alívio do contato intergranular, que também poderia ter contribuído com o comportamento reológico observado.

Esse fenômeno pode ser explicado pela forma da curva da argamassa de referência, a qual apresenta-se quase incompressível, alterando o estado de tensões de forma mais intensa, a exemplo de fluidos comprimidos.

Freitas (2010) ressalta a importância dos resultados obtidos nos ensaios de *Squeeze Flow*, onde é possível observar o comportamento das argamassas quando submetidas à aplicação do carregamento e realizar a analogia com a

aplicação na prática, ou seja, como a argamassa irá se comportar quando efetivamente empregada na execução do revestimento.

#### 4.3.4. Retenção de Água

Observa-se dos dados obtidos para retenção de água, conforme apresentado na Figura 36, que não há diferença entre os resultados obtidos para as argamassas produzidas com materiais naturais ou rejeitos; REF, AN, A1 e A2. A quantidade de água retida pela argamassa produz maiores tensões de aderência, melhor desempenho produtivo e maior durabilidade, função da maior formação de produtos de hidratação bem como ligações mais fortes entre revestimento e substrato.

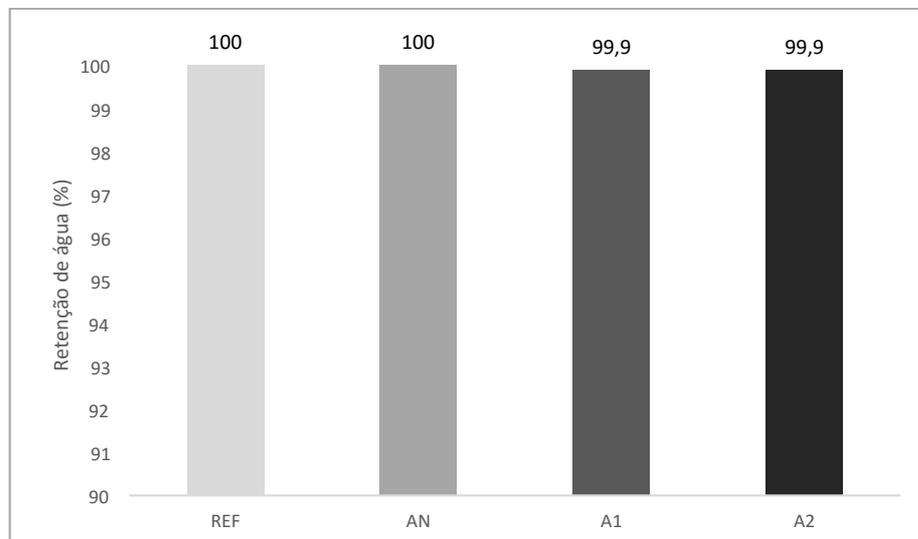


Figura 36: Retenção de Água das Argamassas

O que difere as argamassas colantes de argamassas convencionais é a alta capacidade de retenção de água. Esse aumento da capacidade de retenção da argamassa contendo éteres de celulose foi comprovado experimentalmente por diversos pesquisadores (WAGNER, 1960; OHAMA, 1984).

#### 4.3.5. Teor de Ar Incorporado

Observa-se pelos dados obtidos para determinação dos teores de ar incorporado, conforme apresentado na Figura 37, que há uma pequena variação nos teores para as argamassas AN, A1 e A2, sendo que os teores determinados para REF apresentam-se superiores. A incorporação de ar é função dos

protocolos de mistura, do aditivo e da morfologia dos grãos que constituem as argamassas.

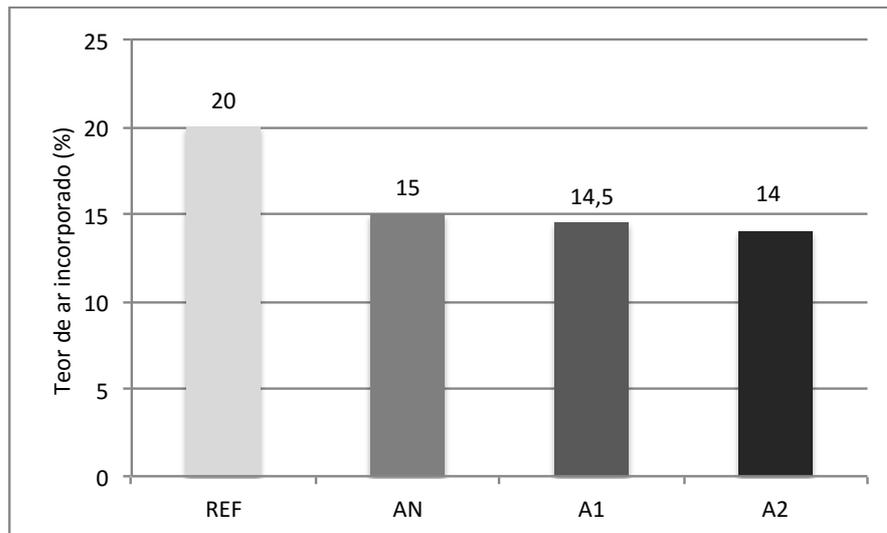


Figura 37: Teor de Ar Incorporado das Argamassas

Considerando que os protocolos experimentais são idênticos e, sendo que há diferença entre os aditivos utilizados nas argamassas REF e AN, A1 e A2, podemos justificar dessa forma a diferença encontrada. De fato, a trabalhabilidade dos materiais à base de cimento é muito afetada pela presença dos éteres de celulose, onde é observada maior incorporação de ar durante a mistura devido à ação dos tensoativos que reduzem a tensão superficial da água na mistura (MAILVAGANAM, 1984; OHAMA, 1984).

Considerando também que não houve influência da granulometria para as misturas produzidas com materiais AN, A1 e A2, mas sim para argamassa produzida com REF com grãos de tamanho superior, pode-se considerar que o tamanho dos agregados também contribuiu para a diferença no teor de ar incorporado obtido.

#### 4.3.6. Densidade de Massa

Observa-se dos dados obtidos para determinação da densidade de massa, conforme apresentado na Figura 38, que não houve diferença para os tratamentos, como era de se esperar, dado que a composição das argamassas consiste majoritariamente de agregados.

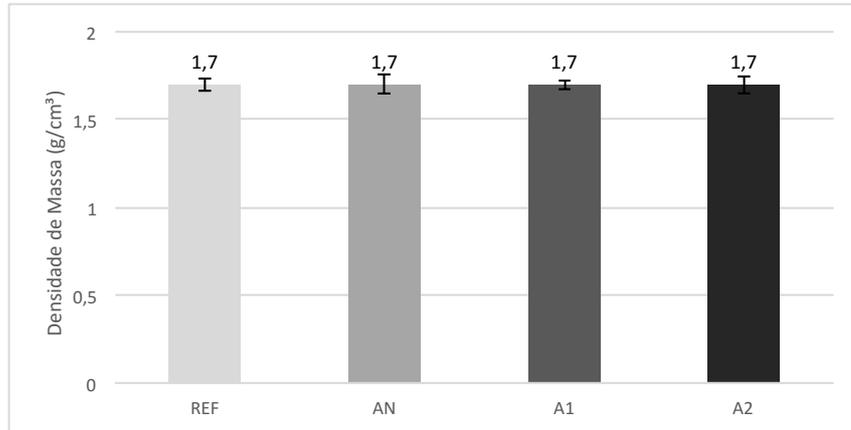


Figura 38: Densidade de Massa das Argamassas no Estado Fresco

#### 4.4. Propriedades das Argamassas no Estado Endurecido

##### 4.4.1. Absorção de Água por Capilaridade

Observa-se dos dados obtidos para determinação da absorção de água por capilaridade, conforme apresentado na Figura 39, que as argamassas REF, AN e A1 possuem valores idênticos para absorção de água, enquanto A2 apresenta valor para absorção significativamente inferior. O mesmo pode ser observado na determinação do coeficiente de capilaridade, conforme apresentado na Figura 40.

Essa diferença pode ter sido influenciada pela discreta variação dos valores de consistência bem como para o teor de ar incorporado.

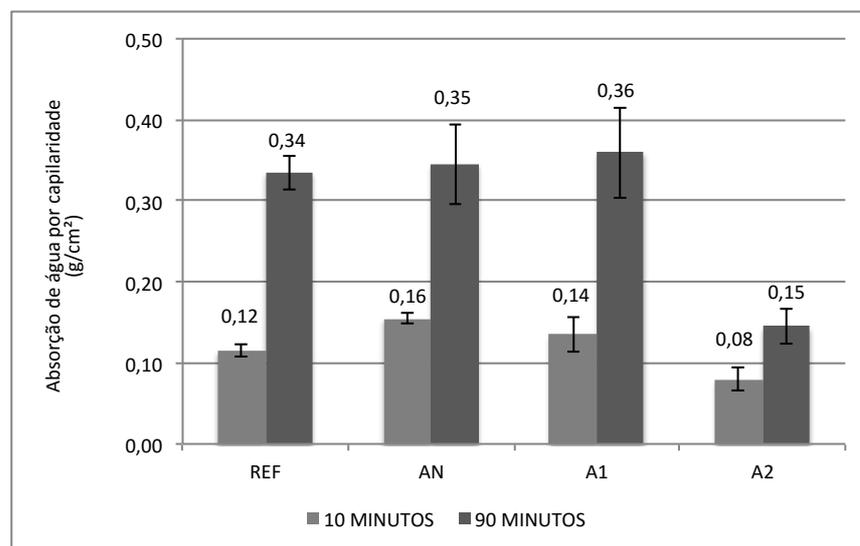


Figura 39: Absorção de Água por Capilaridade

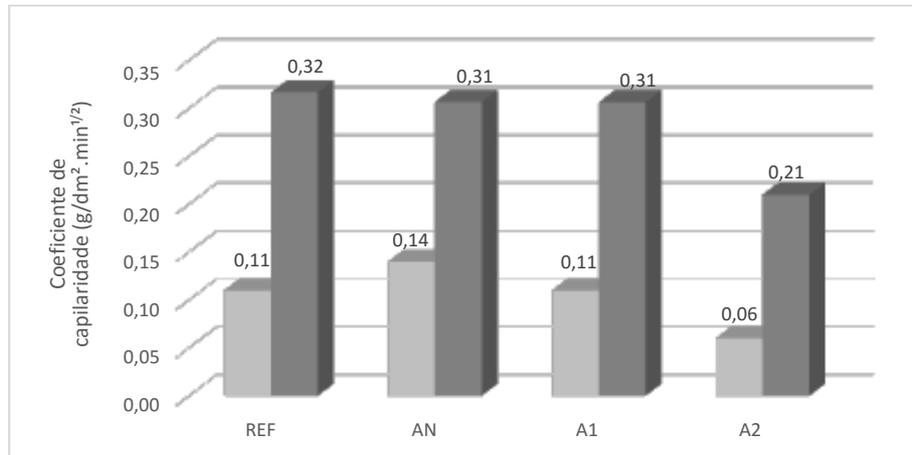


Figura 40: Coeficiente de Capilaridade

#### 4.4.2. Resistência de Aderência à Tração

Observa-se dos dados obtidos para determinação da resistência de aderência à tração, conforme apresentado na Figura 41, que argamassas com maior índice de consistência apresentaram melhores resultados. Cabe ressaltar que os maiores índices de consistência foram alcançados com menor quantidade de água na composição das argamassas. Essa observação pode estar relacionada à morfologia dos grãos e também à hidratação do cimento. No entanto, cabe ainda observar que todos os resultados para aderência a tração foram superiores ao limite mínimo prescrito pela NBR 14081-4 (ABNT, 2012), de 0,5 MPa.

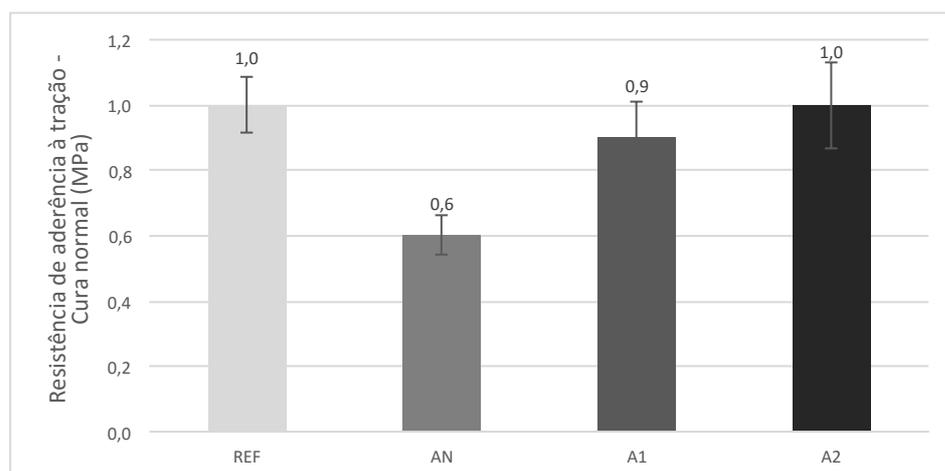


Figura 41: Resistência de Aderência à Tração - Cura Normal

Essa inferência pode ser ratificada pelos resultados em que as argamassas foram submetidas à cura submersa. Para essa condição não houve diferença

para os valores obtidos para resistência de aderência à tração, porém observou-se queda na resistência quando comparada à cura normal, conforme apresentado na Figura 42.

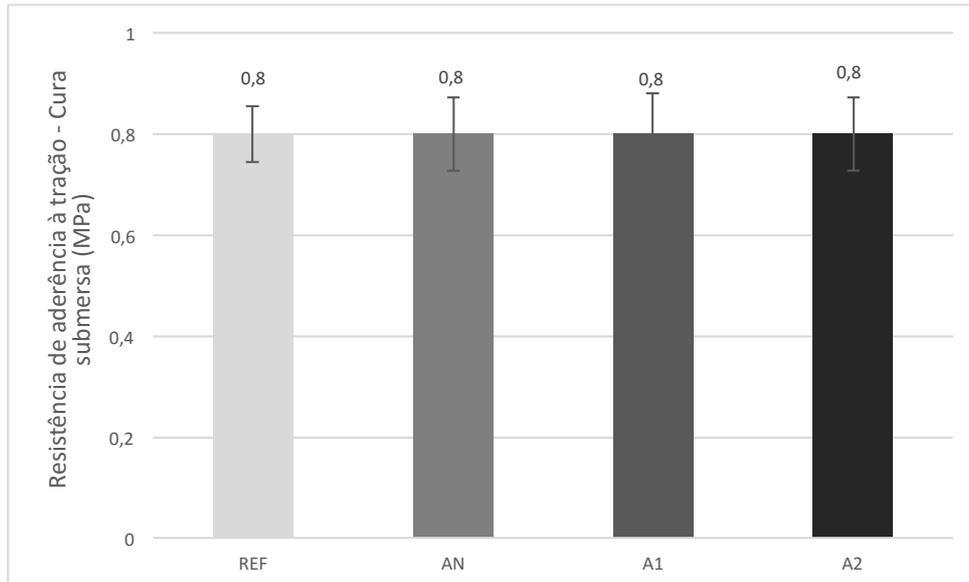


Figura 42: Resistência de Aderência à Tração - Cura Submersa

Existe consenso entre os pesquisadores de que a aderência da argamassa colante é prejudicada quando em condição submersa. Acredita-se que a mais provável razão da queda de resistência seja a modificação das propriedades da película polimérica quando em contato com a água, ou até mesmo a variação de volume da matriz cimentícia devido ao inchamento da fase polimérica e amolecimento de produtos de interação cimento/polímeros (OHAMA, 1984; JENNI, 2003).

#### 4.4.3. Tempo em Aberto

Observa-se dos dados obtidos para determinação do tempo em aberto, conforme apresentado na Figura 43, que mais uma vez a consistência das argamassas parece ser determinante.

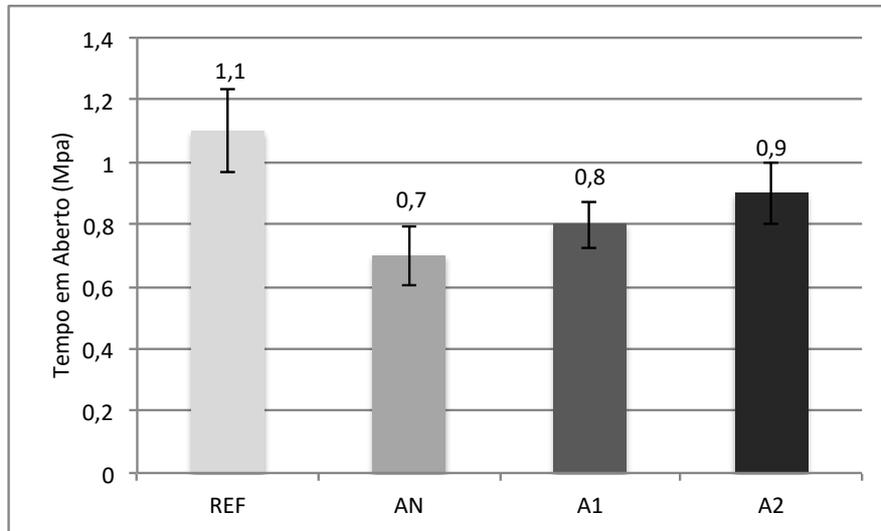


Figura 43: Tempo em Aberto

Conforme observado na Figura 43, todas as argamassas obtiveram resultados satisfatórios ou seja, acima de 0,5 MPa. Observou-se que os valores da tensão de ruptura das argamassas no ensaio de tempo em aberto também foram superiores ao ensaio de resistência de aderência à tração na cura submersa, com exceção da argamassa AN. Assim como nos ensaios de resistência de aderência à tração, no ensaio de tempo em aberto a amostra AN foi a que obteve menores valores de tensão de ruptura, devido à maior quantidade de água em sua formulação. Já a argamassa A2 obteve os melhores valores quando comparados às demais argamassas experimentais.

#### 4.4.4. Densidade de Massa Aparente

Observa-se dos dados obtidos para determinação da densidade de massa aparente, conforme apresentado na Figura 44, que os valores encontrados foram semelhantes. Segundo Freitas (2010) o valor da densidade de massa da argamassa é um indicativo da compactidade resultante da proporção de mistura agregado/aglomerante e da distribuição granulométrica do conjunto.

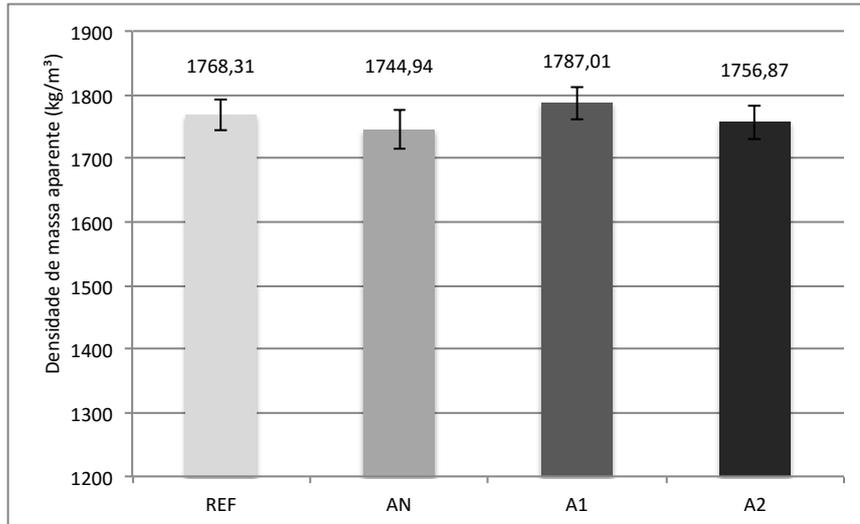


Figura 44: Densidade de Massa Aparente

#### 4.4.5. Resistência à Tração na Flexão

Observa-se dos dados obtidos para determinação da resistência à tração na flexão, conforme apresentado na Figura 45, que a amostra REF é superior às demais, o que pode ser devido à menor quantidade de água usada em sua dosagem. Porém as argamassas com rejeito de mineração de quartzito, A1 e A2 mostraram resultados satisfatórios, sendo superiores à da amostra AN. O fato de A1 e A2 possuírem elevadas resistências quando comparadas à AN pode estar associado ao maior teor de partículas finas que preencheram os poros produzindo uma matriz mais resistente, além de também possuírem menor teor de água em sua formulação.

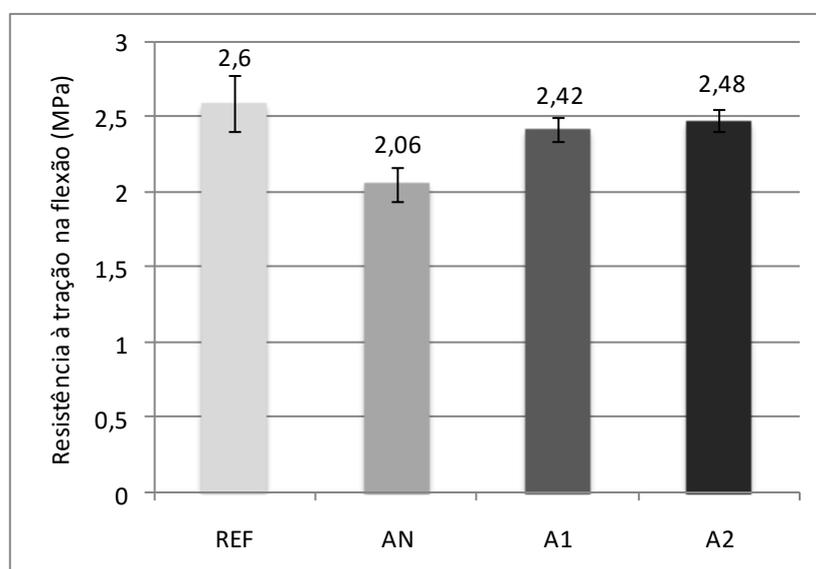


Figura 45: Resistência à Tração na Flexão

#### 4.4.6. Resistência à Compressão

Através da realização de ensaios em conformidade com a NBR 13279 (ABNT, 2005), obtiveram-se os valores de resistência à compressão das argamassas conforme apresentados na Figura 46, utilizando protocolo para corpos de prova prismáticos e cilíndricos.

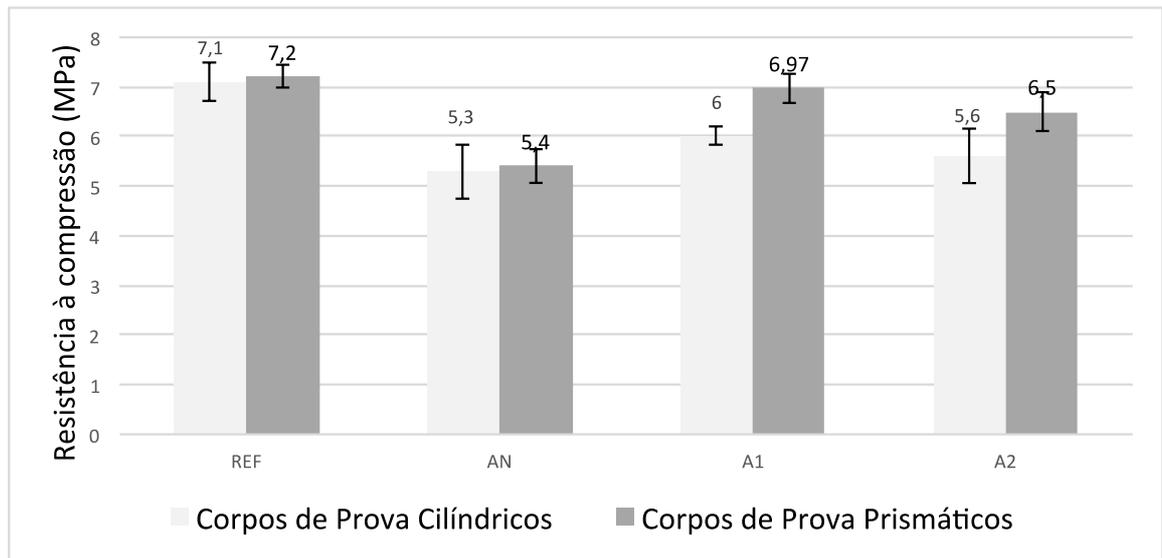


Figura 46: Resistência à Compressão

Como observado na Figura 46, a argamassa REF obteve valores de resistência à compressão mais elevados, o que pode ser explicado devido à menor quantidade de água utilizada em sua mistura. Schulze (1999), de fato, constatou que a diminuição da relação água/cimento provoca aumento da resistência à compressão das argamassas modificadas com polímeros, sendo o teor de cimento menos significativo. As argamassas experimentais A1 e A2, confeccionadas com rejeito apresentaram resultados melhores em relação à amostra AN, o que pode estar associado ao maior teor de partículas finas, como mostrado no resultado de teor de material pulverulento, que preencheram os poros produzindo uma matriz mais resistente e também à menor quantidade de água utilizada para atingir a mesma trabalhabilidade que a amostra AN.

#### 4.4.7. Expansibilidade por Método Acelerado

Observa-se dos dados obtidos para determinação da expansibilidade das argamassas conforme apresentado na Figura 47, que os materiais AN e A1 são

potencialmente inócuos, enquanto material A2 mostrou-se potencialmente deletério, segundo padrão NBR 15577-4 (ABNT, 2009), que considera inócuo aqueles agregados que apresentam variação dimensional inferior a 0,19% aos 30 dias.

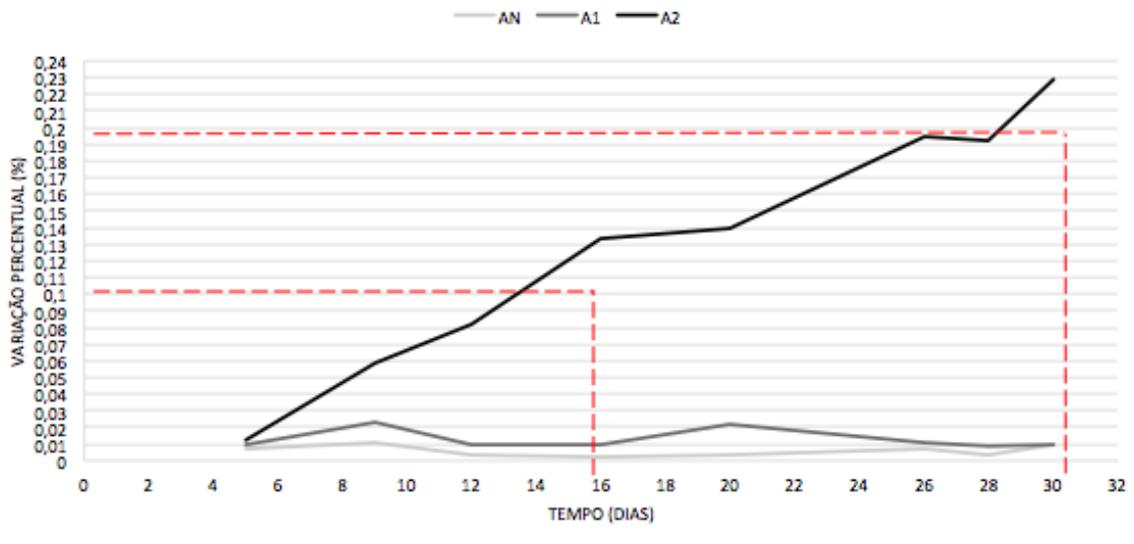


Figura 47: Expansibilidade das Argamassas

Em análise com base nos limites prescritos pela ASTM C-1260, os agregados que apresentaram variação dimensional inferior a 0,10% para idade de 16 dias, podem ser considerados como inócuos, como é o caso dos agregados AN e A1; enquanto aqueles com variação dimensional entre 0,10% e 0,20% podem incluir tanto agregados inócuos quanto deletérios.

Considerando o desempenho das argamassas produzidas com o agregado A2, bem como sua constituição química obtida pela FRX e sua composição microestrutural obtida pela DRX, é razoável afirmar que associados resultados obtidos pelos métodos ABNT e ASTM, inferem pela inocuidade deste rejeito.

#### 4.5. Análise Econômica das Argamassas

Os resultados das análises econômicas das argamassas experimentais encontram-se nas Tabelas 13 e 14 apresentadas a seguir. Importante ressaltar que para os valores apresentados na Tabela 13 não foram considerados meios de transporte e/ou custo de beneficiamento.

Tabela 13: Valor do Produto (R\$/t)

Produtos	Valor do Produto (R\$/t)
Areia	77,00
Rejeito A1	0,50
Rejeito A2	0,50
Aditivo	20357,40
Cimento	440,00

A partir do traço utilizado para confecção das argamassas experimentais foi possível estimar o valor total das mesmas, como mostrado na Tabela 14. O valor do produto (R\$) foi considerado para a confecção de 1 tonelada de argamassa anidra.

Tabela 14: Valor Total do Traço (R\$/t)

Argamassa	Produtos	Valor do produto (R\$)	Valor total do traço (R\$/t)
AN	Areia	57,75	216,61
	Aditivo	48,86	
	Cimento	110,00	
A1	Rejeito A1	0,38	159,24
	Aditivo	48,86	
	Cimento	110,00	
A2	Rejeito A2	0,38	159,24
	Aditivo	48,86	
	Cimento	110,00	

Na Figura 48, é mostrado um gráfico com os valores para cada argamassa experimental, comparando também com a argamassa industrial. Sendo que o valor apresentado para REF foi conforme o produto é disponibilizado para comercialização.

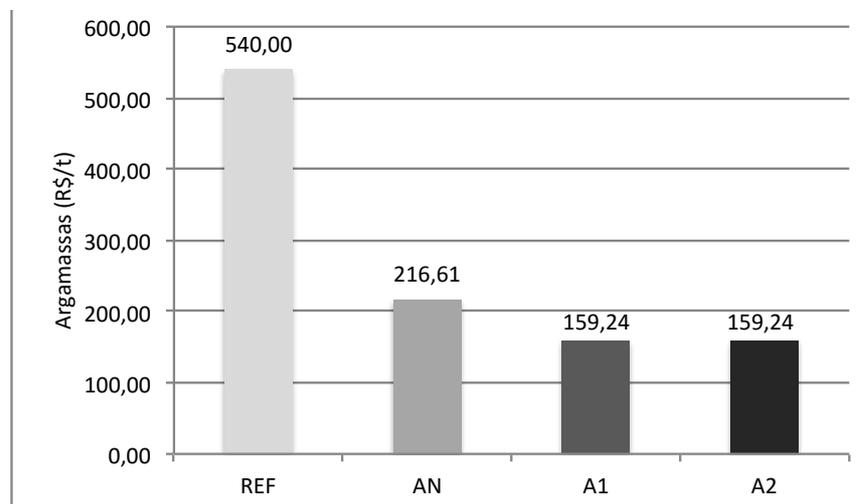


Figura 48: Comparação dos Preços das Argamassas

Pela análise dos valores dos traços das argamassas, observou-se que as argamassas com rejeito possuem menor custo de produção em relação à argamassa industrial e à argamassa experimental produzida com areia natural, indicando a viabilidade econômica na produção de argamassas colantes com rejeito de mineração de quartzito.

# CAPÍTULO V

## 5. Considerações e Sugestões

### 5.1. Considerações Finais

O desenvolvimento experimental realizado possibilitou resultados importantes para consolidar os objetivos inicialmente propostos. Assim, as conclusões obtidas a partir do presente trabalho são apresentadas a seguir.

- Em relação à distribuição granulométrica dos agregados, estes não apresentaram características desejáveis como agregados na produção de argamassas colantes, o que demandou a necessidade de um processo de beneficiamento antes de sua aplicação como agregado, através do peneiramento dos mesmos;
- Em relação aos demais resultados da análise física, os agregados apresentaram massa específica e massa unitária semelhantes, sendo a massa específica de AN ( $2,68 \text{ g/cm}^3$ ) ligeiramente superior a massa específica de A1 e A2, cujos valores foram de  $2,66 \text{ g/cm}^3$  e, a massa unitária de A1 ( $1,38 \text{ g/cm}^3$ ) ligeiramente superior à AN e A2 que foram de  $1,34 \text{ g/cm}^3$ . Já o teor de umidade do material AN apresentou teor mais elevado, fato que pode ser devido à mesma apresentar maior absorção de água. Em relação ao teor de material pulverulento, apesar do elevado teor nos agregados artificiais, a presença deste material fino não implicou em aumento da dosagem de água para produção das argamassas colantes. A presença destes materiais finos pode ter contribuído para o empacotamento da mistura, o que promoveu ganho em relação à consistência das argamassas produzidas com rejeitos A1 e A2. Quanto ao teor de impurezas orgânicas, nenhum agregado apresentou impurezas orgânicas em quantidades suficientemente significativas.
- Quanto aos resultados da análise química, mineralógica e morfológica, a análise química por FRX mostrou que as amostras AN, A1 e A2 são constituídas essencialmente por óxidos de sílica, com teores relativamente

baixos de óxido de ferro, sugerindo materiais estáveis e resistentes a ações externas. No ensaio de DRX foi constatada presença predominante de quartzo nas amostras. Morfologicamente, observou-se que os agregados possuem forma cúbica e boa distribuição granulométrica, confirmando achados da granulometria. Observou-se também coloração translúcida para os grãos, características observadas em cristais de quartzo, o que também pode ser confirmado pelas análises químicas e de microestrutura dos materiais. Em relação à rugosidade, todas as amostras apresentaram tal característica, sendo que a areia AN apresentou uma textura rugosa mais acentuada.

- Nos ensaios das argamassas no estado anidro as amostras apresentaram resultados semelhantes no ensaio de densidade de massa, fato que pode ser justificado pela equivalência entre os valores obtidos para massa específica e massa unitária dos materiais utilizados como agregados.
- Nos ensaios das argamassas no estado fresco, as amostras apresentaram resultados semelhantes para os ensaios de retenção de água, atingindo valores acima de 99,9% e para a densidade de massa valores de 1,7 g/cm<sup>3</sup>. Já no ensaio de deslizamento, todas as amostras obtiveram resultados satisfatórios (abaixo de 2mm), sendo que a argamassa AN apresentou valores maiores, sendo este de 0,83 mm, devido à maior quantidade de água utilizada em sua confecção. Além disso, considerando que as placas de revestimento eram idênticas, bem como substrato, pode-se inferir que a presença de finos dos agregados A1 e A2 induziu maiores tensões de adesão entre as placas e o substrato, o que garantiu menor deslizamento.
- Nos resultados do teor de ar incorporado, a argamassa industrial, REF, apresentou um valor elevado quando comparado às demais, sendo o valor obtido de 20%. Podemos justificar a diferença encontrada entre as argamassas experimentais e a industrial devido à diferença entre os aditivos utilizados nas argamassas REF e AN, A1 e A2, visto que se desconhece o tipo de aditivo utilizado em REF. Em relação ao ensaio de *Squeeze Flow*, através dele foi possível observar o comportamento reológico das

argamassas através dos níveis de carga atingidos e realizar a analogia com a aplicação na prática.

- Em relação ao ensaio de densidade de massa, não houve diferença entre as argamassas, como era de se esperar, dado que a composição das argamassas consiste majoritariamente de agregados. Para o índice de consistência, observou-se que a argamassa com maior retenção de água e ainda com maior teor de ar incorporado possui fluidez ligeiramente superior, embora todos os tratamentos tenham produzido resultados idênticos considerando o intervalo de validade do ensaio.
- Nos ensaios das argamassas no estado endurecido, a argamassa A2 apresentou menores valores de absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade no ensaio de absorção de água, o que proporciona à mesma ganhos em durabilidade, impermeabilidade e nas propriedades mecânicas. A argamassa A2 também mostrou melhores resultados nos ensaios de resistência de aderência à tração em ambas as curas e no ensaio de tempo em aberto quando comparada às demais argamassas experimentais, ficando atrás apenas da argamassa industrial. Os ensaios de resistência de aderência à tração e tempo em aberto são os únicos no estado endurecido normatizados para argamassa colante, e os resultados obtidos foram satisfatórios, visto que foram superiores a 0,5 MPa, valor mínimo exigido para argamassas colantes do tipo AC I.
- Os resultados obtidos no ensaio de densidade de massa no estado endurecido não divergiram muito, ficando na média de 1764,28 kg/m<sup>3</sup>. Nos ensaios de resistência à tração na flexão e resistência à compressão, as argamassas com rejeito obtiveram valores melhores que a argamassa natural AN, porém ambas foram inferiores à argamassa industrial REF, o que pode estar associado ao fato de REF possuir menor quantidade de água em sua formulação, o que torna sua matriz mais resistente. Já nos ensaios de expansibilidade, apesar da argamassa A2 possuir um indicativo de comportamento deletério em campo, esta apresentou resultados muito satisfatórios nos demais ensaios.

- A partir de uma análise econômica, os resultados indicaram a viabilidade da confecção de argamassas colantes a partir da substituição total dos agregados naturais por agregados provenientes dos rejeitos de mineração de quartzito, devido à redução significativa dos custos de produção dessas argamassas experimentais em relação ao custo de venda da argamassa industrial.
- Assim, a substituição integral dos agregados naturais por agregados obtidos do rejeito de mineração de quartzito na produção de argamassas colantes consiste numa alternativa tecnicamente adequada, durável e economicamente viável, permitindo a redução dos impactos ambientais causados pelas mineradoras e pela construção civil.

## ***5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros***

- Estudo de novas dosagens, como a variação do teor de aditivos nas formulações, avaliando se há alguma melhora nas propriedades das argamassas.
- Estudo da influência de fatores do meio ambiente (temperatura, umidade, etc.) no desempenho das argamassas.
- Estudo da aplicação das argamassas com a dosagem utilizada a diferentes substratos, a fim de verificar a influência da absorção do substrato na resistência de aderência.
- Obtenção das propriedades microestruturais das argamassas em diferentes idades.
- Ampliação do estudo reológico para as argamassas colantes tipo AC II e AC III.
- Estudo da variação da distribuição granulométrica dos agregados no desempenho reológico de argamassas colantes.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEDIA, S. L. M.; LUZ, A. B. **Manual de Agregados para a Construção Civil**. 1. ed. Rio de Janeiro-RJ: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, 2009. 245p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 1260. **Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates** (Mortar- Bar Method). Philadelphia, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – **ABCP**. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/perguntas-frequentes/cimento-portland-de-alto-forno-cp-iii-com-escoria-nbr-5735/>. Acesso em 31/10/2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – ABIROCHAS. **Os quartzitos de São Thomé das Letras, Minas Gerais: principais demandas para o desenvolvimento sustentável da atividade produtiva**. São Paulo, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – ABIROCHAS. **Situação mundial e posição brasileira no setor de rochas ornamentais em 2008. Informe 18/2009**. São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 1763**. Aditivos para concreto de cimento portland. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 5735** – Cimento Portland de Alto-Forno. Rio de Janeiro 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 7181**. Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215**. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro. 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 7389-1**. Agregados – Análise petrográfica de agregado para concreto. Parte 1: Agregado miúdo. Rio de Janeiro. 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 8522.** Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro. 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 9776.** Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 9939.** Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 10007.** Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro. 2004.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 13276.** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13277.** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13278.** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279.** Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13280.** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281.** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro. 2005.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 13749.** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas– Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 13816.** Placas Cerâmicas para Revestimento – Terminologia. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 13817.** Placas Cerâmicas para Revestimento – Classificação. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 13818.** Placas Cerâmicas para Revestimento - Especificação e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 14081-1.** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 14081-1.** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 14081-2.** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 14081-3.** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 3: Determinação do tempo em aberto. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 14081-4.** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 14081-5.** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 5: Determinação do deslizamento. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 14081- 6.** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Determinação da densidade de massa aparente. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15259.** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15577-4.** Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 15577-6.** Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 6: Determinação da expansão em prismas de concreto. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 15839.** Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método *Squeeze Flow*. Rio de Janeiro. 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 16372.** Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). Rio de Janeiro. 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45.** Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro. 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 46.** Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro. 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 49.** Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro. 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL - **ANEPAC**. *Anuário Anepac*, 2012.

BARROS, M. M. B.; TANIGUTI, E. K.; RUIZ, L. B.; SABBATINI, F. H. **Tecnologia construtiva racionalizada para produção de revestimentos cerâmicos verticais**. Notas de aula. São Paulo: USP, 1997.

BAUER, E.; **Revestimentos de argamassa - características e peculiaridades**. 1. ed. BRASÍLIA: LEM-UnB - SINDUSCON/DF.2005.

BETIOLI, A. M. **Influência dos polímeros MHEC e EVA na consolidação de pastas cimentícias**. 2007. 190p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2007.

BUCHER, H. R. E.; NAKAKURA, E. H. **Argamassas Colantes Flexíveis**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3º, 1999, Vitória, ES. Artigo técnico. p. 417-424.

CAMPANTE, E. F.; BAÍA, L. L. M. **Projeto e execução de revestimento cerâmico**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2003.

CANDIA, M. C; FRANCO, L. S. **Avaliação do tipo de preparo da base nas características superficiais do substrato e dos revestimentos de argamassa**. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído. Anais ANTAC. Salvador. 2000.

CARASEK, H. **Argamassas, Materiais de Construção Civil**. São Paulo, IBRACON 2007.

CARDOSO, F. A.. **Método de formulação de argamassa de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2009.

CARDOSO, F. A.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. **Rheological behavior of mortars under different squeezing rates.** *Cement and concrete research*, v. 39, n. 9, p. 748-753, 2009. ISSN 0008-8846.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995, Boletim 68 IPT.

COLLANTES, C. M. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa.** 1998. 198f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

COSTA, A. G.; Campelo, M. S.; Pimenta, V. B. (2001). **Rochas ornamentais de revestimento de Minas Gerais - Principais ocorrências, caracterização e aplicações na indústria da construção civil.** *GEONOMOS* v. 8 (1), p. 9-13.

COSTA, J. B. (1950). **Estudo e classificação das rochas por exame macroscópico.** 4. ed. In: Fundação Calouste Gulbenkian. Portugal, Lisboa. P.161-184.

COSTA, M. R. M. M. **Análise comparativa de argamassas colantes de mercado através de parâmetros reológicos.** 2006. 131p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.

COSTA, M. R. M. M.; CINCOTTO, M. A.; PILLEGI, R. G. **Análise do deslizamento da argamassa colante através do seu comportamento reológico.** VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Anais. Recife, 2007.

DESCHAMPS, E. *et al.* (2002). **Controle ambiental na mineração de quartzito pedra São Tomé.** Projeto Minas Ambiente. Belo Horizonte: Secrac.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **Stoffe für keramische Bekleidungen im Dünnbettverfahren – begriffe und grundlagen – DIN 18156. (Teil 1).** Berlin, 1977.

DO Ó, S. W. **Análise da retenção de água em argamassas de revestimento aditivadas**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

FEAM (2002). **Gestão de passivos ambientais na Mineração** - Federação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). pp. 1–143..

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. São Paulo: PINI, 1994, 221p.

FRAZÃO, E. B. (2002). **Tecnologia de rochas na construção civil**. São Paulo. Ed. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 132p.

FREITAS, C. **Argamassas de revestimento com agregados miúdos de britagem de região metropolitana de Curitiba: Propriedades no estado fresco e endurecido**. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Pará, 2010.

IBRAM. **Informações sobre a Economia Mineral Brasileira 2015**. Brasília, 2015.

JENNI, A. **Microstructural evolution and physical properties of polymer-modified mortars**. Bern: University of Bern. 101p, 2003.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000. 102p.

KHAYAT, K. H. **Viscosity-Enhancing admixtures for cement-based materials – an overview**. Cement and Concrete Composites, 1998. Vol. 20: 171 – 188.

KUDO, E. K. **Caracterização reológica de argamassas colantes**. 2012. 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2012.

KUMAR, R.; BHATTACHARJEE, B. (2002). **Porosity, pore size distribution and in**

**situ strength of concrete.** Cement and Concrete Research – Pergamon. 2002.

LARA, D.; NASCIMENTO, O.; MACEDO, A.; GALLO, G.; PEREIRA, L.; POTY, E. **Dosagem das argamassas.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, I., 1995, Goiânia. Anais... Goiânia: ANTAC, 1995. p. 63-72.

MAILVAGANAM, N.P. Miscellaneous admixtures. In: RAMACHANDRAN, V.S. (Ed.). **Concrete Admixtures Handbook.** New Jersey: Noyes Publications, 1984, Cap.9, p.480- 557.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios.** São Paulo: USP, 1999. Boletim técnico n. 246. Disponível em: [http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT\\_00246.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00246.pdf). Acesso em: 10 de setembro de 2016.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 3a Edição. IBRACON. São Paulo, 2008.

MORENO JUNIOR, R; SELMO, S. M. de S. **Aderência de argamassas de reparo de estruturas de concreto.** Boletim técnico da escola politecnica da Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 2007.

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

OHAMA, Y.; **Polymer-based Admixtures.** Journal Cement and Concrete Composites, vol. 20. 1998, 189-212p.

OHAMA, Y. **Polymer-modified mortars and concretes.** In: RAMACHANDRAN, V. S. (Ed.) Concrete Admixtures Handbook. New Jersey: Noyes Publications. Cap.7, p.337-429. 1984.

OLMO, C. *et al.* **Morteros cola: Características y condiciones de empleo.** Informes de la Construcción, v9, n342 (1982) p.41-48. PATURAL L.; MARCHAL P.;

GOVIN A.; GROSSEAU P.; RUOT B. DEVÈS O. **Cellulose ethers influence on water retention and consistency in cement-based mortars.** Cement and

Concrete Research 41. 46–55. 2010.

PIRES, P. R, (2007). **Caracterização sócio-econômica e ambiental da atividade do tratamento de quartzito na região de Ouro Preto**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental (Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG. 147p.

PÓVOAS, Y. V. **Tempo em aberto da argamassa colante: método de medida e influência dos aditivos HEC e resina PVAc**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PÓVOAS, Y.V. **Avaliação da formação de "película" na argamassa colante e sua influência na adesão**. 2005. 159p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PÓVOAS, Y.V.; JOHN, V.M. **Avaliação da formação de "película" na argamassa colante e sua influência na adesão**. São Paulo, 2006. Boletim técnico da escola politecnica da USP – Departamento de Engenharia de Construção Civil.

RAMACHANDRAN, V.S. **Concrete Admixtures**. Handbook, Second Edition, Noyes Publications, 1995.

RATO, V. N. P. M. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil na especialidade de Reabilitação do Património Edificado) – Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2006.

SCHULZE, J. **Influence of water-cement ratio and cement content on the properties of polymer-modified mortars**. Cement and Concrete Research, vol.29, 1999, p.909-915.

SILVA, C. O. **Análise crítica dos requisitos e critérios de qualidade da argamassa colante**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

SILVA, D.A. **Efeitos dos polímeros HEC e EVA na microestrutura de pastas de cimento Portland**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,

2001. 246p.

SILVA, D.A. **Pore size distribution of hydrated cement pastes modified with polymers.** Cement and Concrete Research. Volume 31, Issue 8, 2001.

SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia/Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas. In: **XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído - ENTAC**, Florianópolis, Brasil, 2006.

SILVA, V. S. **Aderência de chapisco em concretos estruturais – melhoria da microestrutura da zona de interface pela adição da sílica da casca de arroz.** São Carlos. Tese (Doutorado). Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais - Universidade de São Paulo, 2004.

SILVA, W. G. **Estudo da introdução de resíduo de britagem de rocha calcária e cinza de biomassa de cana-de-açúcar em formulações de argamassas colantes.** Tese (Doutorado)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Natal, RN, 2013.

STOLZ, C. M. **Influência da interação entre parâmetros reológicos de argamassas e área potencial de contato de substratos na aderência de argamassas de revestimento.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, 2001.

TASONG, W. A., CRIPPS, C. J. E., LYNSDALE, C. J. (1998). **Aggregate – Cement Chemical Interations.** In: Pergamon. In: P II. p 1037-1048.

THURLER, C.; FERREIRA, V. **A evolução da resistência de aderência de algumas argamassas colantes nacionais.** Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, v. 1, p. 177-186, 1995.

TURNER, G. B. **Cellulose derivatives**. Chemistry and Industry, v. 23, p. 920-928, 1963.

ULLEMEYER, K., BRAUN, G., DAHMS, M., E OLESEN, N. (2000). **Texture Analysis of a Muscovite-Bearing Quartzite: a comparison of some currently used techniques**. In: Journal of Structural Geology. P 1541-1557.

VASCONCELOS, Y. **Desenvolvimento tecnológico nas fábricas de pisos e azulejos leva o Brasil ao posto de segundo produtor mundial**. Pesquisa FAPESP, Edição 205 - Março de 2013. Disponível em: [http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2013/03/068-073\\_Ceramica\\_205.pdf?520326](http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2013/03/068-073_Ceramica_205.pdf?520326). Acesso em: 12/10/2015.

WAGNER, H. B. **Compressive strength of polymer – modified hydraulic cements**. I & EC Product Research and Development, vol. 5, no. 2, Jun. 1973, p. 149 – 152.

WAGNER, H. B. Methyl cellulose in water-retentive hydraulic cements. Industrial and Engineering Chemistry, vol. 52, no. 3, 1960, p. 233-234.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 10 Ed. São Paulo: Pini, 2009.