

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE ARGAMASSA COLANTE E DO  
TEMPO EM ABERTO NA ADERÊNCIA EM PAREDE DE CONCRETO  
MOLDADA *IN LOCO***

Rodolfo Rabelo Neves

Belo Horizonte,

2021

RODOLFO RABELO NEVES

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE ARGAMASSA COLANTE E DO  
TEMPO EM ABERTO NA ADERÊNCIA EM PAREDE DE CONCRETO  
MOLDADA *IN LOCO***

Dissertação apresentado à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Tecnologia na Construção Civil. Linha de pesquisa: Materiais de Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Junior

Coorientador: Prof. Dr. White José dos Santos

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2021

N518a

Neves, Rodolfo Rabelo.

Análise da influência do tipo de argamassa colante e do tempo em aberto na aderência em parede de concreto moldada *in loco* [recurso eletrônico] / Rodolfo Rabelo Neves. – 2021.

1 recurso online (84 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Antônio Neves de Carvalho Junior.

Coorientador: White José dos Santos.

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

Bibliografia: f. 77-84.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil - Teses. 2. Materiais de construção - Teses.  
3. Revestimentos - Teses. 4. Argamassa - Teses. 5. Aderência - Teses.  
6. Paredes de concreto - Teses. I. Carvalho Júnior, Antônio Neves de.  
II. Santos, White José dos. III. Universidade Federal de Minas Gerais.  
Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 691(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MATERIAIS E CONSTRUÇÃO CIVIL  
MESTRADO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

RODOLFO RABELO NEVES

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE ARGAMASSA COLANTE E DO TEMPO  
EM ABERTO NA ADERÊNCIA EM PAREDE DE CONCRETO MOLDADA *IN  
LOCO***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Materiais e Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Belo Horizonte, 20 de outubro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Antonio Neves de Carvalho  
Junior:78724104604

Assinado de forma digital por Antonio  
Neves de Carvalho Junior:78724104604  
Dados: 2021.10.21 00:07:22 -03'00'

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior  
(Orientador)  
UFMG

White Jose dos  
Santos:04545674640

Assinado digitalmente por White Jose dos Santos:04545674640  
DN: cn=White Jose dos Santos:04545674640 o=BR c=UFMG  
Módulo: Eu sou o autor deste documento  
Local:  
Data: 2021.10.25 08:25:03.00

Prof. Dr. White José dos Santos  
(Coorientador)  
UFMG

Luiz Antonio Melgaco  
Nunes Branco:48639435634

Assinado de forma digital por Luiz Antonio  
Melgaco Nunes Branco:48639435634  
Dados: 2021.10.20 17:10:42 -03'00'

Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco  
UFMG

Prof. Dra. Ângela Borges Masuero  
UFRGS

Prof. Eduardo Chahud / Profa. Maria Teresa Paulino Aguilar  
Coordenação do Curso de Mestrado em Construção Civil

Os referidos membros e o aluno participaram da defesa por meio de videoconferência.

## AGRADECIMENTOS

Essa dissertação de mestrado é fruto não apenas de um esforço pessoal, mas também fruto da contribuição de diversas pessoas que me deram incentivo intelectual e emocional durante essa desafiadora jornada. Por essa razão, deixo registrado aqui a minha mais sincera gratidão.

Agradeço primeiramente à Deus, por me guiar e abençoar durante essa jornada que se iniciou muito antes de eu ter ingressado no programa de mestrado. Sem os Seus planos, o início dessa trajetória não seria possível.

Ao meu orientador e amigo Professor Doutor Antônio Jr. Por me inspirar e apoiar na conclusão desse sonho. Obrigado por todo auxílio, pelo profissionalismo e disponibilidade em compartilhar seu saber. Sou eternamente grato pela confiança depositada. Que a nossa parceria possa se estender para outros projetos.

Ao meu coorientador Professor Doutor White pela gentileza, paciência, por ser mão amiga e por ser um grande exemplo, pessoal e profissionalmente. Admiro-o muito. Que a nossa parceria possa se estender para outros projetos.

Aos meus pais por sempre priorizarem meus estudos durante toda minha vida, e por me ensinarem que a arma mais poderosa para construção de uma vida melhor é a educação. Obrigado, também, por serem os maiores patrocinadores dessa pesquisa. Sem vocês, não teria sido possível.

Aos colegas de profissão, Pedro, Kennedy e Stefane que foram fundamentais para que os ensaios ocorressem. Obrigado por toda ajuda e disponibilidade.

À Direcional Engenharia, em especial ao Renato Castro, minha grande inspiração profissional, ao Harrison, Dirson e Afrânio por terem sido tão gentis e prestativos e pelos recursos disponibilizados.

Ao querido Ricardo, do laboratório de concreto e argamassas da UFMG, que sempre foi extremamente solícito e atencioso. Obrigado meu amigo, você foi peça fundamental.

Ao Rafael, do Laboratório LCPnano, que realizou o ensaio de rugosidade.

À Isadora que me auxiliou no desenvolvimento de alguns ensaios dessa pesquisa, agradeço por ter sido tão gentil e disponível.

Ao Professor Doutor Paulo Brandão, por ter sido sempre tão encorajador e disponível. Obrigado por toda ajuda e por me ouvir e me orientar nas questões de análise laboratório.

Aos meus grandes amigos Juliana, Guilherme, Patrícia e Priscylla pela parceria construída ao longo dos anos. Juliana e Guilherme, juntos desde a graduação, sem vocês eu não teria conseguido. Quem diria que tornaríamos mestres? Obrigado por terem me apoiado tanto, por terem me ajudado tanto, pelo tempo cedido, pela disponibilidade e incentivo. Patrícia e Priscylla, grandes presentes da especialização que vieram para o mestrado ao meu lado. Obrigado por tudo que fizeram por mim, por serem amigas tão amorosas, atenciosas e que me apoiaram tanto ao longo desses anos que caminhamos juntos. Vocês fizeram que essa jornada no mestrado se tornasse mais leve.

Aos amigos Michael Geraci e Stephanie Geraci. Obrigado por terem me ajudado tanto, em especial no início do mestrado, nas dúvidas de termos em inglês quando estava escrevendo meus artigos ou estudando em livros em inglês os quais continham expressões e palavras que naquele momento eu desconhecia. Vocês foram luz.

À Universidade Federal de Minas Gerais pela oportunidade e aos funcionários da Escola de Engenharia pela colaboração. Em especial, à equipe do DEMC, pela gentileza e carinho no atendimento.

## EPÍGRAFE

*“A ciência de hoje é a tecnologia de amanhã.”*

*(Edward Teller)*

## RESUMO

A execução do sistema de revestimento sobre os substratos parede de concreto moldada *in loco* deve observar as peculiaridades deste sistema construtivo para garantir que o sistema de revestimento apresentará o desempenho esperado durante sua vida útil. Diversos fatores estão associados ao destacamento de placas cerâmicas assentadas sobre o substrato concreto, sendo o tipo de argamassa citado como um dos mais influentes. Apesar de estudos já terem sido realizados sobre o assentamento de cerâmicas sobre o substrato concreto, poucos se dedicaram a avaliar o deslocamento com enfoque no sistema construtivo parede de concreto moldada *in loco*. Sendo assim, este trabalho objetiva avaliar a influência do tipo de argamassa no destacamento de placas cerâmicas observadas as condições associadas ao citado sistema construtivo. Observou-se que a granulometria e tipo de agregado foram os fatores que mais influenciaram no desempenho das argamassas colantes, sendo que o menor teor de finos e a utilização de agregados naturais são fatores benéficos às argamassas colantes. Ainda, maiores tempos de abertura do pano se mostraram como fatores que reduzem a resistência de média de aderência à tração.

Palavras-Chave: revestimento cerâmico; argamassa colante; aderência; parede de concreto moldada *in loco*.



## **ABSTRACT**

The coating system execution on concrete wall castes in place must observe the peculiarities of this construction system to ensure that the coating system will present the expected performance during its useful life. Several factors are associated with the detachment of ceramic tiles seated on the concrete substrate, being the type of mortar cited as one of the most influential. Although studies have already been carried out on the laying of ceramics on the concrete substrate, few have evaluated the detachment with a focus on the constructive system concrete wall castes in place. Therefore, this work aims to evaluate the influence of the type of mortar on the detachment of ceramic tiles, observing the conditions associated with the mentioned construction system. It was observed that the granulometry and type of aggregate were the factors that most influenced the performance of the adhesive mortars, and the lower content of fines and the use of natural aggregates are beneficial factors for the adhesive mortars. Furthermore, longer opening times proved to be factors that reduce the average tensile adhesion strength.

**Keywords:** ceramic coating; adhesive mortar; adhesion; concrete wall castes in place.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Edificação em Parede de Concreto – Execução.....	17
Figura 2 - Superfície da Parede de concreto moldada in loco .....	18
Figura 3 - Camadas de um típico sistema de revestimento cerâmico.....	22
Figura 4 - Cristal de etringita (x2500).....	30
Figura 5 - Esquematização da pesquisa proposta. ....	36
Figura 6 – Placas cerâmicas assentadas sob parede de concreto moldada in loco – 1ª etapa .....	39
Figura 7 – Assentamento dos corpos de prova, colagem de chapa metálica e ensaio de arrancamento .....	39
Figura 8 – Lupa estereoscópica e separação do material retido para análise da morfologia .....	41
Figura 9 – Tubo de Karsten na Parede de Concreto .....	44
Figura 10 - Pontos de realização do teste de absorção com cachimbo.....	44
Figura 11 – Amostras para análise de rugosidade superficial .....	45
Figura 12 – Espectro de Infravermelho – Aditivo celulósico.....	50
Figura 13 – Espectro de Infravermelho – Argamassa ACII - Fornecedor 2 .....	51
Figura 14 – Espectro de Infravermelho – Argamassa ACII - Fornecedor 3 .....	52
Figura 15 – Espectro de Infravermelho – Argamassa ACIII - Fornecedor 3 .....	52
Figura 16 – Areias utilizadas nas argamassas .....	53
Figura 17 – Grãos de areia natural.....	55
Figura 18 – Grãos de areia artificial .....	55
Figura 19 - Rugosidade Superficial da Parede de Concreto .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedade das argamassas segundo a normatização brasileira.....	32
Tabela 2 - Propriedade das argamassas segundo a normatização norte americana.....	33
Tabela 3 - Propriedade das argamassas colantes comuns segundo a normatização europeia .....	34
Tabela 4 - Propriedade das argamassas colantes com polímeros redispersíveis segundo a normatização europeia.....	35
Tabela 5 - Caracterização dos materiais .....	36
Tabela 6 – Análise de Fluorescência de Raio X das Argamassas .....	47
Tabela 7 – Ensaio de Consistência das Argamassas.....	58
Tabela 8 – Exemplo de composição de argamassas colantes .....	60
Tabela 9 – Rugosidade média das superfícies por método de preparação da base .....	64

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Subsistema Revestimento - Obras Parede de Concreto. ....	20
Gráfico 2 - Fatores que impactam na escolha do tipo de revestimento. ....	20
Gráfico 3- Principais dificuldades: área úmida .....	21
Gráfico 4 – Percentual retido por peneira.....	56
Gráfico 5 – Curva Granulométrica das Argamassas .....	57
Gráfico 6 - Absorção de água – Parede de Concreto.....	61
Gráfico 7 - Absorção de água – Parede de Concreto – Desvio Padrão .....	61
Gráfico 8 – Média da resistência de aderência – 20 min – 1ª Etapa.....	65
Gráfico 9 – Resistências médias de aderência à tração – 0 min .....	66
Gráfico 10 – Interfaces de ruptura - 0 min .....	68
Gráfico 11 – Resistências médias de aderência à tração – 5 min .....	69
Gráfico 12 – Interfaces de ruptura - 5 min .....	70
Gráfico 13 – Resistências médias de aderência à tração – 10 min .....	70
Gráfico 14 – Interfaces de ruptura - 10 min .....	71
Gráfico 15 – Resistências médias de aderência à tração – 15 min .....	71
Gráfico 16 – Interfaces de ruptura - 15 min .....	72
Gráfico 17 – Resistências médias de aderência à tração – 20 min .....	72
Gráfico 18 – Interfaces de ruptura - 15 min .....	73
Gráfico 19 – Resistências médias de aderência à tração ao longo do tempo .....	73

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	10
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	11
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	12
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>1.1 Considerações iniciais e justificativa</b> .....	14
<b>1.2 Objetivos</b> .....	15
<b>1.3 Estrutura do trabalho</b> .....	16
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
<b>2.1 Sistema construtivo parede de concreto moldada in loco</b> .....	17
2.1.1 <i>Sistema de revestimento em parede de concreto moldada in loco</i> .....	19
<b>2.2 Sistemas de revestimento</b> .....	21
2.2.1 <i>Características do sistema de revestimento</i> .....	22
2.2.2 <i>Fatores que influenciam no desempenho do sistema de revestimento</i> .....	23
<b>2.3 Aderência das argamassas ao substrato</b> .....	29
2.3.1 <i>Sistema mecânico de aderência</i> .....	29
2.3.2 <i>Sistema químico de aderência</i> .....	30
<b>2.4 Característica das argamassas colantes</b> .....	31
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	36
<b>3.1 Materiais</b> .....	37
<b>3.2 Métodos</b> .....	37
3.2.1 <i>Preparação do substrato</i> .....	37
3.2.2 <i>Mistura das argamassas</i> .....	38
3.2.3 <i>Análise da aderência</i> .....	38
3.2.4 <i>Caracterização física das argamassas</i> .....	40
3.2.5 <i>Caracterização química das argamassas</i> .....	41
3.2.6 <i>Caracterização das argamassas no estado fresco</i> .....	43
3.2.7 <i>Caracterização dos substratos</i> .....	44
<b>4 RESULTADOS E ANÁLISES</b> .....	47
<b>4.1 Caracterização Química</b> .....	47
4.1.1 <i>Fluorescência de Raio X (FRX)</i> .....	47
4.1.2 <i>Espectrometria de infravermelho</i> .....	50
<b>4.2 Caracterização física</b> .....	53
4.2.1 <i>Morfologia dos grãos de agregados</i> .....	53
4.2.2 <i>Granulometria por peneiramento</i> .....	56
<b>4.3 Caracterização da argamassa no estado fresco</b> .....	58

<b>4.4</b>	<b>Caracterização do substrato</b> .....	60
4.4.1	Absorção de água .....	60
4.4.2	Rugosidade superficial da parede de concreto .....	62
<b>4.5</b>	<b>Análise da aderência à tração</b> .....	64
4.5.1	Resistência de aderência à tração – 1ª Etapa.....	64
4.5.2	Influência do tempo em aberto na resistência de aderência à tração.....	66
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	75
<b>6</b>	<b>SUGESTÃO PARA TRABALHO FUTUROS</b> .....	76
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	77

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações iniciais e justificativa

O aumento da demanda por construções residenciais para fins sociais aliado à facilidade de crédito e a incentivos do governo, na última década, possibilitaram a difusão de novas técnicas construtivas no Brasil (ABCP, 2008). Devido à necessidade de se construir em larga escala e pelo fato de os empreendimentos com interesse social serem caracterizados pela sua alta repetitividade, as construtoras passaram a buscar por sistemas construtivos mais racionalizados e que pudessem atender à demanda existente. Neste cenário o sistema construtivo de parede de concreto moldadas *in loco* tornou-se um dos mais populares no país (ABCP, 2013).

Este sistema construtivo tem se desenvolvido e vem sendo cada vez mais utilizado em obras de padrões variados e, em edifícios mais altos, que chegam, em alguns casos, a 30 andares (MISURELLI, MASSUDA, 2009). Uma das premissas para o bom desempenho do sistema parede de concreto é a compatibilidade entre a estrutura moldada *in loco* (parede de concreto propriamente dita) e os subsistemas que integram a tecnologia (ABCP, 2013).

Em relação ao desempenho do sistema de revestimento, nota-se que o destacamento de placas cerâmicas tem se tornado uma das principais patologias na construção civil no Brasil, e visto é abordado como um problema setorial (SINDUSCON-SP, 2016). O desempenho dos sistemas de revestimento está relacionado a aderência das argamassas, uma das suas principais propriedades (CARASEK, 1997). Estudos realizados por autores como Carasek (1997), Candia (1998), Scartezini (2003), Moura (2007), Santos (2008), Melchiades (2001), Cruz (2015), Schankoski (2015) e Santos (2015) demonstram que a resistência de aderência à tração das argamassas é influenciada por alguns fatores, a saber: tipo, teor de umidade e pré-tratamento do substrato; tipo de argamassa; granulometria do agregado; absorção de água pela placa cerâmica; aplicação da argamassa – fator humano e; fatores externos como temperatura, umidade relativa e velocidade do vento.

Candia e Franco (2000) comentam que tipo de argamassa influencia no desempenho do sistema de revestimento, uma vez que estas argamassas podem variar com suas características reológicas, com os materiais empregados e suas proporções na mistura, e, também, com a forma de preparo e execução. No que tange aos materiais

constituintes das argamassas colantes deve-se ficar atento à granulometria do agregado, em especial ao teor de finos, que segundo a ABCP (2002), deve utilizar areia com diâmetros que variam de 0,06mm a 2,0mm. Outra característica associada ao tipo de argamassa colante são os teores de aditivos retentores de água e de polímeros adicionados à mistura (BAOGUO *et al.*, 2011), devido a aplicação de camadas finas de argamassa sobre substratos porosos ou não que pode levar a uma perda de água devido a absorção.

Apesar de serem muitos os estudos sobre as argamassas, como por exemplo os realizados por Chen; Wu (2013); Carasek, Cascudo, Cincotto, Scartezini (2001); Carasek (1996); Carvalho Junior, 2005; Felipe Regert Ruduit, 2009; Gonçalves, 2004; Jenni Et Al., 2005, 2006; Paes; Bauer; Carasek, 2010; Petit; Wirquin, 2013; Pourchez; Grosseau; Ruot, 2009; Schankoski; Prudencio Jr.; Pilar, 2015; Silva, V. S., Libório, 2002; Spiess *et al.*, 2004, poucas são as pesquisas relacionadas à interação da mesma com o sistema construtivo parede de concreto moldada *in loco*. Assim, sabendo desta deficiência de estudos em relação ao desempenho do sistema de revestimento no referido sistema construtivo, esta pesquisa justifica-se por ser uma oportunidade de construção de conhecimento. O resultado dessa pesquisa pode resultar em melhorias para edificações que utilizam este método de construção, ser base para normatizações pertinentes, reduzir a ocorrência de manifestações patológicas resultantes da má aderência, além de resultar em economia para construtoras, usuários e fabricantes.

Neste trabalho, focou-se na influência do tipo de argamassa, avaliando sua composição químico-mineralógica e granulometria para avaliação a capacidade de aderência de placas cerâmicas no substrato parede de concreto moldada *in loco*.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência do tipo de argamassa colante e do tempo em aberto na aderência de placas cerâmicas aplicadas em substratos de paredes de concreto moldada *in loco*.

Para alcançar o objetivo geral, tem-se como objetivos específicos:

- Caracterizar química e fisicamente argamassas colantes;
- Avaliar as propriedades das argamassas colantes no estado fresco e endurecido;
- Analisar a interação (aderência e tempo em aberto) entre as argamassas colantes ACII e ACIII com o substrato de parede de concreto moldada *in loco*.



### 1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido da seguinte forma: 1 – Introdução; 2 – Justificativa; 3 – Objetivos; 4 – Revisão Bibliográfica; 5 – Materiais e Métodos; e 6 – Programa Experimental.

O capítulo 1 faz a introdução ao tema estudado na presente dissertação. Nesse capítulo são feitas as considerações iniciais sobre o trabalho, motivação, objetivos e justificativa para a pesquisa. Neste capítulo também são apresentados os objetivos do presente estudo.

No capítulo 2, onde é apresentada a revisão bibliográfica, são abordadas as características do sistema construtivo parede de concreto, dando maior destaque ao sistema de revestimento neste sistema construtivo. São apresentados dados de estudos pretéritos relacionados ao sistema de revestimento interno, como o tipo mais utilizado, quais os principais fatores que influenciam na sua escolha e desafios relacionados ao mesmo. Ainda neste capítulo, aborda-se as características do sistema de revestimento composto por substrato, argamassa colante e placa cerâmica, dando enfoque nas condições relacionadas ao correto desempenho destes. Desta forma, também se trata da aderência da argamassa ao substrato, como esta se dá e quais as características que a argamassa colante deve possuir para atender à normatização existente.

O capítulo 3 traz os materiais que foram utilizados na pesquisa e quais os métodos de ensaio foram propostos para o desenvolvimento do trabalho.

Em seguida, no capítulo 4, são apresentados os principais resultados e é feita uma análise desses, relacionando-os entre si e com outras pesquisas realizadas por outros autores.

No capítulo 5, as principais conclusões que se pode chegar após realização desta pesquisa são apresentadas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Sistema construtivo parede de concreto moldada in loco

O sistema construtivo “Paredes de concreto” é um método de construção racionalizado no qual há a moldagem *in loco* dos elementos estruturais - estrutura e vedação (MISURELLI; MASSUDA, 2009). Neste sistema construtivo, representado na Figura 1, todas as paredes de cada ciclo construtivo de uma edificação são moldadas em uma única etapa de concretagem, permitindo que, após a desforma, as paredes já contenham, em seu interior, vãos para portas e janelas, tubulações ou eletrodutos de pequeno porte, elementos de fixação para coberturas e outros elementos específicos quando for o caso - NBR 16055 (ABNT, 2012).

Figura 1 - Edificação em Parede de Concreto – Execução



Fonte: CICHINELLI (2015)

A utilização desse sistema construtivo é indicada para obras em grande escala, onde exista simetria de projeto que permita uma maior reutilização das fôrmas. O ciclo de produção, se bem planejado, permite que seja concluída a montagem das armaduras e instalações, o posicionamento das fôrmas e a concretagem em um único dia (ABCP; ABSC; IBTS, 2008).

O sistema consiste na moldagem de paredes e lajes maciças de concreto armado com telas metálicas centralizadas. A estrutura é dimensionada para cada projeto específico de edifício. O processo de produção do sistema construtivo permite o controle geométrico das peças e a obtenção de superfícies aptas a receberem o acabamento (SILVA, 2011).

No geral, este sistema construtivo possui paredes e lajes com espessura de 10 cm. Ambas são armadas com telas de aço eletrossoldadas de malha quadrada de 100 mm e fios com diâmetro de 4,2 mm. A resistência característica à compressão do concreto, aos 28 dias, varia de 25 MPa a 40 MPa e a resistência mínima do concreto na desforma, a 15 horas, é de 1,8 MPa. A consistência especificada para o concreto é de  $22 \pm 2$  cm (*slump test*) (SILVA, 2011).

As obras executadas em paredes de concreto contribuem para a redução da geração de resíduos em relação aos demais métodos construtivos. Essa redução acontece, especialmente, devido à reutilização das fôrmas no decorrer da obra e da inexistência de algumas etapas, especialmente de acabamento. Dessa forma, o canteiro de obras produz menos resíduos, sendo que esta redução pode ser até seis vezes menor quando comparada aos sistemas convencionais (MORAES, 2013).

A utilização de fôrmas metálicas resulta em uma parede com acabamento de aspecto liso e uniforme conforme pode ser evidenciado na Figura 2. As marcas verticais que podem ser verificadas na imagem referem-se ao limite de cada módulo da fôrma.

Figura 2 - Superfície da Parede de concreto moldada in loco



Uma das premissas para o bom desempenho do sistema parede de concreto é a compatibilidade entre a estrutura moldada *in loco* (parede de concreto propriamente dita) e os subsistemas que integram a tecnologia. No que se refere ao sistema de revestimento o preparo da base é essencial para o bom desempenho do mesmo (ABCP, 2013).

A normatização brasileira estabelece que a escolha do desmoldante a ser empregado em fôrmas metálicas, de madeira, plásticas, ou seja, em qualquer tipo de fôrma a ser utilizada deve seguir os seguintes critérios (ABNT, 2012):

- garantir que o concreto não tenha aderência à fôrma;

- não deixar resíduos na superfície das paredes ou ser de difícil remoção, podendo comprometer a aderência do revestimento final e o aspecto da parede;
- não alterar as características físicas e químicas do concreto;
- não degradar a superfície das fôrmas.

Agentes desmoldantes devem ser aplicados de acordo com as especificações do fabricante, levando em consideração orientações referentes a requisitos ambientais e de saúde ocupacional.

Uma das características importantes deste sistema construtivo é a grande redução da espessura das camadas de revestimento. Não há restrições quanto ao uso de qualquer tipo de revestimento, sendo exigidos que se cumpram as especificações do fornecedor do material e normas técnicas específicas. Normalmente o revestimento é aplicado diretamente sobre a parede de concreto, sendo recomendável apenas que o acabamento seja iniciado após a cura úmida da parede (ABCP; ABSC; IBTS, 2008).

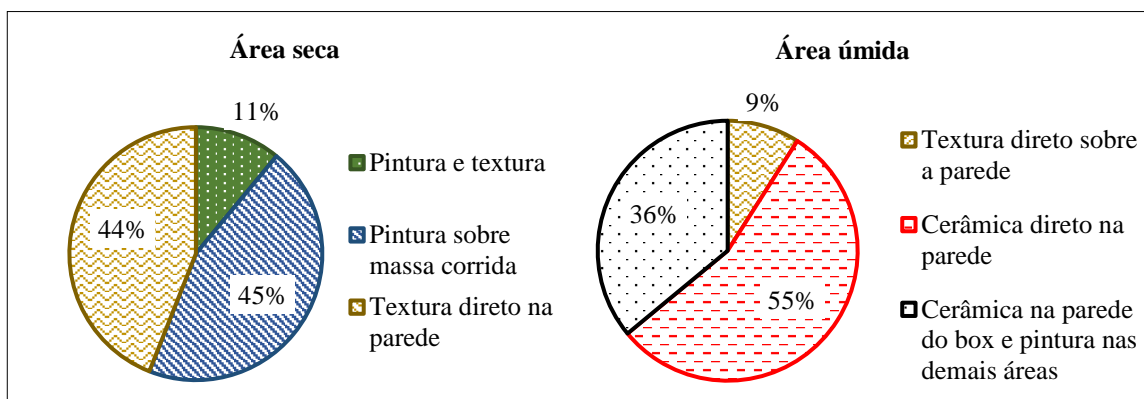
Segundo levantamento realizado pela Associação Brasileira de Cimento Portland; Associação Brasileira de Serviços de Concretagem e Instituto Brasileiro de Telas Soldadas (2009) os materiais mais empregados como revestimento em obras de parede de concreto moldadas *in loco* são: massa corrida, revestimentos cerâmicos, texturas e argamassas industrializadas sendo, nestes casos, aplicados diretamente sobre as paredes.

### 2.1.1 Sistema de revestimento em parede de concreto moldada *in loco*

Num estudo realizado pela (ABCP; ABSC; IBTS, 2013) foram avaliados quais os sistemas de revestimento mais utilizados pelas construtoras brasileiras em obras de parede de concreto. O Gráfico 1 ilustra os resultados obtidos em relação ao revestimento internos em área seca e em área úmida. Observa-se nos Gráfico 1 que o revestimento cerâmico tem sido utilizado, em áreas internas, nas paredes das áreas úmidas. Nas demais paredes, o mais comum é a utilização de textura (45%), pois esta permite que seja aplicada diretamente sobre a parede e que se encubra pequenas imperfeições da superfície.

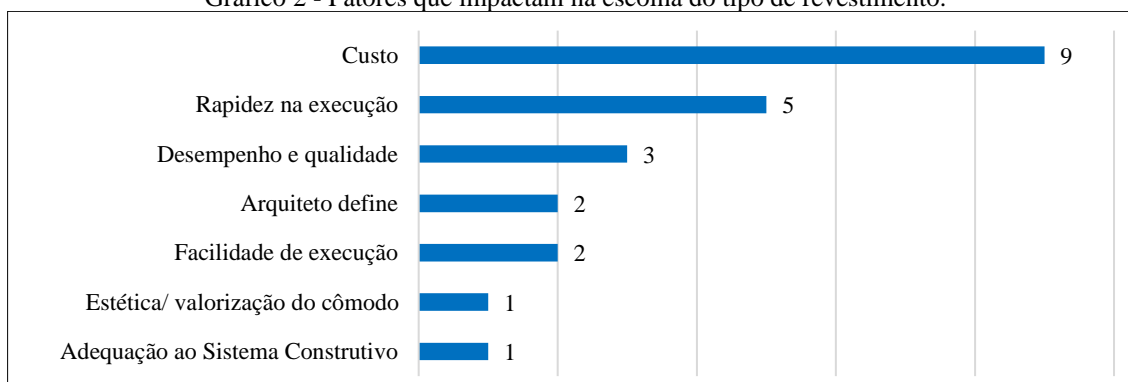
Ainda neste mesmo estudo realizado pela (ABCP; ABSC; IBTS, 2013), observou-se que o custo é o fator preponderante na escolha do tipo de revestimento a ser utilizado. Aliado a este, a velocidade de execução também foi apontada como um critério chave na tomada de decisão. O Gráfico 2 apresenta o resultado desta pesquisa que consultou 11 construtoras sobre os fatores que impactavam na escolha do tipo de revestimento.

Gráfico 1 - Subsistema Revestimento - Obras Parede de Concreto.



Fonte: Adaptado de ABCP (2013)

Gráfico 2 - Fatores que impactam na escolha do tipo de revestimento.

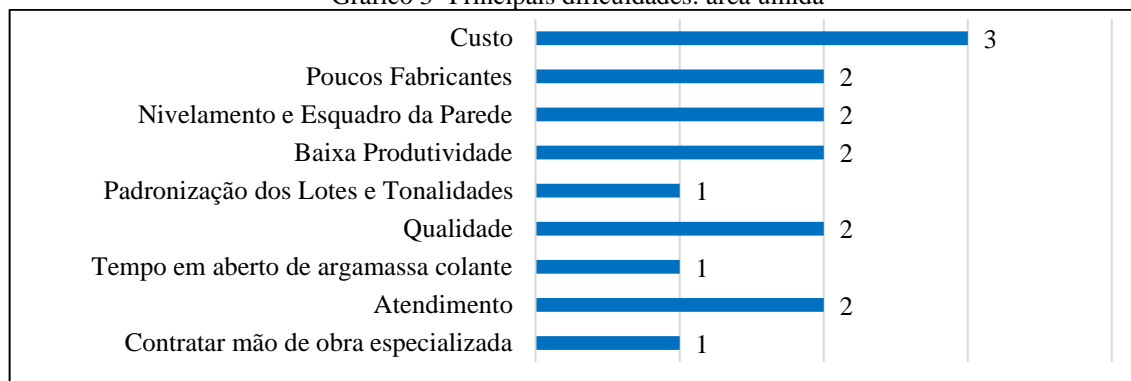


Fonte: Adaptado de ABCP (2013)

Considerados os Gráficos 1 e 2, nos quais observa-se que o revestimento cerâmico é utilizado majoritariamente em paredes de áreas úmidas e que a escolha do tipo de revestimento está associada principalmente ao custo e velocidade de execução, a ABCP (2013) ainda considerou, na mesma pesquisa, quais os desafios identificados pelas construtoras em relação ao sistema de revestimento. Segundo as construtoras consultadas, o assentamento de revestimento cerâmico peça a peça está em descompasso com os princípios da produção industrializada esperados para o sistema construtivo parede de concreto moldada *in loco*. Neste sentido, o estudo da (ABCP; ABSC; IBTS, 2013) procurou identificar quais as principais dificuldades associadas ao revestimento cerâmico, utilizado em áreas úmidas. O resultado da pesquisa, que contempla a resposta de dez construtoras, é apresentado no Gráfico 3.

Consideradas, agora, as informações apresentadas nos Gráficos 1 a 3, a ABCP; ABSC; e IBTS (2013) sistematizou, em seu estudo, algumas considerações sobre o sistema de revestimento sob a ótica das construtoras, fornecedores e sob uma perspectiva de desenvolvimento em conjunto.

Gráfico 3- Principais dificuldades: área úmida



Fonte: ABCP (2013)

Segundo ABCP (2013) para as construtoras, os grandes desafios em relação ao sistema de revestimento referem-se à viabilização de sistemas que proporcionem maior produtividade, como o desenvolvimento de revestimentos que possibilitem que etapas sejam eliminadas (por exemplo revestimento que possam ser utilizado sem a remoção do óleo desmoldante) ou mesmo que viabilizem novos sistemas. As construtoras ainda apontam que a aceitação de outros tipos de revestimento por parte dos órgãos financiadores é outra medida que poderia elevar a produtividade e reduzir custos. Já para os fornecedores, as construtoras devem saber diferenciar o bom produto, para evitar futuros custos de manutenção.

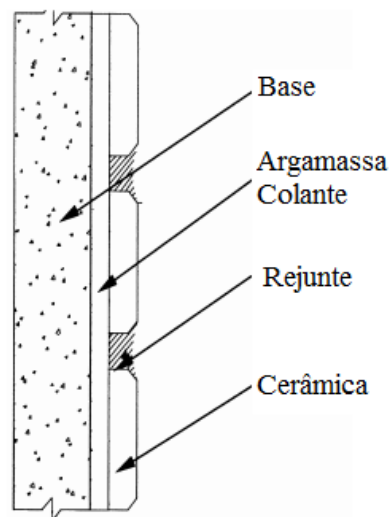
Com base nas informações obtidas de fornecedores e construtoras, a ABCP; ABSC; e IBTS, (2013) identificaram que há uma necessidade de um trabalho conjunto para desenvolvimento de normas técnicas para revestimentos cimentícios, sendo importante que ocorra uma sistematização das necessidades das construtoras, para melhor entendimento por parte dos fornecedores, bem como uma sistematização dos produtos oferecidos pelos fornecedores para que as construtoras conheçam as opções disponíveis no mercado. Aliado a isso, está a necessidade de uma articulação junto aos órgãos financiadores para aceitação de outros tipos de revestimentos.

## 2.2 Sistemas de revestimento

Os revestimentos cerâmicos são uma solução construtiva e arquitetônica amplamente utilizadas que garantem a proteção dos elementos de vedação do edifício, auxiliando-as no cumprimento das suas funções; regularizar e garantir acabamento final a superfície de pisos e paredes (FANTINI, 2010). Conforme ilustrado na Figura 3, o sistema de revestimento cerâmico é composto por três camadas importantes, a saber: camada de regularização (base), camada de fixação (argamassa colante) e camada de acabamento (placas cerâmicas e juntas de

assentamento) (JUNGINGER, 2003). No caso das argamassas colantes, têm-se que são amplamente utilizadas em revestimento cerâmicos em virtude de suas propriedades adesivas e resistência à flexão que garantem maior vida útil ao revestimento (PETIT; WIRQUIN, 2013).

Figura 3 - Camadas de um típico sistema de revestimento cerâmico.



Fonte: Chew (1999)

### 2.2.1 Características do sistema de revestimento

De acordo com a NBR 7200 (ABNT, 1998), a base/substrato deverá apresentar-se isento de partículas soltas para que seja feita a aplicação da argamassa ao mesmo. No entanto, caso exista partículas soltas, estas deverão ser removidas empregando-se lixas ou escovas. Nota-se que a aderência das argamassas à base pode ser comprometida pela existência de partículas soltas ou de grãos de areia, poeira, eflorescência, camadas superficiais de desmoldante ou quaisquer outros elementos que representem barreiras para ancoragem do revestimento à base (ABCP, 2002). Nestes casos a NBR 7200 (ABNT, 1998) também recomenda a remoção destas substâncias através de lavagem com solução de hidróxido de sódio, de baixa concentração, ou de hipoclorito de sódio. Ambos devem ser retirados, posteriormente, com água corrente limpa.

A camada de argamassa colante, também chamada de camada de fixação tem a função de unir e manter a fixação das placas cerâmicas à base, devendo resistir as tensões de tração e cisalhamento que ocorrem nas interfaces substrato/argamassa colante e argamassa colante/cerâmica (COSTA, 2013). Esta camada é o ponto crítico do revestimento cerâmico, pois quando as tensões superam seu limite de resistência de aderência, causam o descolamento das placas cerâmicas ou mesmo o seu descolamento da base (FANTINI, 2010).

Chew; Wong; e Kang (1998), destaca que, embora o sistema de revestimento seja normalmente projetado como não-portador de cargas, esse sistema sempre responde ao ambiente com movimentos diferenciais devido à sua natureza composta. Por exemplo, as cerâmicas tendem a ter uma expansão por umidade irreversível, enquanto o substrato de concreto, ao contrário, tende a retrair permanentemente na secagem. Se a força de ligação entre os diferentes constituintes for suficiente, a tendência dos movimentos diferenciais pode ser restrita, causando alta acumulação de tensões e possíveis danos em componentes mais fracos do sistema. Em outros casos, no quais a força de adesão é fraca, mais movimentos diferenciais podem ocorrer, levando a uma desintegração do sistema composto na interface entre as camadas (CHEW; WONG; KANG, 1998). Fiorito (2009) apresenta ainda que, por estarem intimamente ligadas, qualquer deformação em uma das camadas do sistema de revestimento resultará no aparecimento de tensões em todo o conjunto, sendo que as tensões variarão em função da espessura, módulo de elasticidade e demais características físicas das camadas. O autor também destaca que entre as deformações às quais o revestimento está sujeito estão a retração da argamassa; a deformação lenta do concreto da estrutura atuando; recalque das fundações; as deformações originárias pela variação da umidade relativa do ar atuando sobre as argamassas endurecidas; a dilatação higroscópica dos elementos cerâmicos; e as originadas por variações térmicas.

### *2.2.2 Fatores que influenciam no desempenho do sistema de revestimento*

O desempenho dos sistemas de revestimento em argamassa tem como uma das propriedades mais importantes a aderência. A aderência relaciona-se, principalmente, à resistência de aderência à tração, que é influenciada pelo processo de execução, pelas características das argamassas e dos substratos, e pelas trocas de umidade entre argamassa-substrato (GONÇALVES, 2004). Scartezini; Carasek (2003) observaram que existem fatores associados às características do sistema de revestimento e da aplicação da argamassa que são preponderantes para o desempenho do sistema de revestimento. Cita-se, dentre estes, o fator humano, o tipo de substrato, o pré-tratamento do substrato, o tipo de argamassa e a granulometria do agregado. Segundo este estudo, o tipo de substrato é o fator de maior influência no desempenho do sistema de revestimento, sendo ocasionado especialmente pelas diferenças de rugosidade superficial dos substratos. Quanto maior a rugosidade, mais propício para a ocorrência da aderência.



Moura (2007) destaca que, para o substrato concreto, a busca por modos de construção mais competitivos, que possibilitam maior velocidade de construção, vem ocasionando mudanças nas características das estruturas de concreto, as quais passam a possuir elementos mais esbeltos e que utilizam concretos de maior resistência. O aumento da resistência resulta em concretos de menor porosidade, que, associado ao uso de fôrmas de maior desempenho, resultam em superfícies ainda mais lisas e que dificultam a aderência do revestimento. Ceotto; Banduck; Nakakura (2005) complementam que as condições de limpeza da superfície são importantes para a aderência do revestimento, devendo-se atentar para a presença de óleo desmoldante neste tipo de substrato.

Carasek, H. *et al.* (1997) também identificaram o teor de umidade do substrato como um fator importante para a aderência do revestimento. De modo geral, foi observado que há uma redução da resistência de aderência à medida que se aumenta o teor de umidade do substrato. Nos experimentos realizados por Carasek, H. *et al.* (1997) observou-se que as maiores resistências médias foram obtidas com os substratos secos, sendo que a molhagem dos mesmos levou a uma redução da aderência, independentemente do tipo de argamassa utilizada. Importante destacar, entretanto, que este estudo foi realizado para o substrato reboco/emboço no momento da realização do teste de arrancamento para determinação da resistência de aderência desta argamassa de revestimento.

Além do substrato onde será aplicado, o desempenho do revestimento de argamassa também é influenciado pelas condições de exposição do mesmo (VIEIRA, *et al.*, 2005). A durabilidade do revestimento pode ser prejudicada pela fissuração, espessura excessiva da argamassa, cultura e proliferação de microrganismos, falta de manutenção, ciclos de temperatura e de umidade (MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998). Fiorito (2009) também informa que desde as primeiras idades, cada camada do sistema de revestimento está sujeita a variações volumétricas diferenciais em virtude de fatores inerentes aos próprios materiais, como retração por secagem da argamassa e dilatação higroscópica do revestimento cerâmico, e por fatores externos, como variações de temperatura e umidade. Sendo as deformações de cada camada limitadas pela ligação entre elas, tensões surgirão entre estas camadas.

Candia; Franco (1998) ainda adicionam o tipo de argamassa aos fatores que influenciam no desempenho do sistema de revestimento. Segundo estes autores, as propriedades que as argamassas apresentam durante a vida útil do revestimento variam com suas características reológicas, com os materiais empregados e suas proporções na mistura, e, também, com a forma de preparo e execução. Carasek *et al.* (1997) demonstrou que o aumento da resistência de aderência está associado ao aumento do teor de cimento presente nas argamassas. Estando o

teor de cimento também associado às resistências à tração e compressão da argamassa (CARASEK *et al.*, 1997). A autora, entretanto, alerta para o fato de que argamassas ricas em cimento resultam em revestimentos rígidos, que tendem a fissurar e perder resistência ao longo do tempo. A influência do teor de cimento está relacionada com o sistema mecânico de aderência entre argamassa e substrato. Paes (2004) considera que este sistema de aderência é o resultado da absorção, pelo substrato, da água de amassamento presente na argamassa. Baía e Sabbatini (2000) explicam que as argamassas à base de cimento se aderem ao revestimento através de adesão física (mecânica). A pasta de aglomerante penetra nos poros dos substratos e placas cerâmicas criando pontos de engaste, de apoio, que segundo Carvalho Júnior (2005) é decorrente do intertravamento principalmente da etringita (trissulfoaluminato de cálcio hidratado) no interior dos poros do substrato.

Outra característica associada ao tipo de argamassa colante são os teores de aditivos retentores de água e de polímeros adicionados à mistura. As propriedades adesivas da argamassa podem ser otimizadas ao se utilizar polímeros e éteres de celulose que são misturados, em forma de pó redispersíveis, em diferentes formulações de argamassas colantes. Patural *et al.* (2010) explicam que os celulósicos atuam como retentores de água, aumentando a viscosidade da água e promovendo uma maior retenção desta dentro da argamassa. Eles também permitem que seja criada uma fina camada, uma espécie de filme, sobre a argamassa, que previne a perda de água, melhora a trabalhabilidade, no estado fresco, e melhora a aderência ao substrato, no estado endurecido. Petit e Wirquin (2013) complementam esclarecendo que a melhoria da trabalhabilidade, no estado fresco, advém de também de um processo de incorporação de ar à mistura. Ma *et al.* (2011) destacam que a aplicação de camadas finas de argamassa sobre substratos porosos leva a uma perda de água devido a absorção do substrato. Como consequência, pode não haver água de amassamento suficiente para a hidratação dos grãos de cimento, o que afeta as propriedades finais da argamassa. Neste contexto, a utilização dos aditivos retentores de água tem papel fundamental ao manter na mistura a água necessária para hidratação do cimento.

Apesar das vantagens obtidas ao se adicionar estas macromoléculas na argamassa colantes, estudos mostram que um efeito negativo da utilização das mesmas pode ser o retardo da hidratação do cimento (AYE; OGUCHI; TAKAYA, 2010; PESCHARD *et al.*, 2004; BETIOLI *et al.*, 2009; KHAYAT, 1998). A utilização de éteres de celulose está associada a uma gradual redução na taxa de dissolução do aluminato tricálcico, que também se associa à precipitação de etringita e dos hidroaluminatos de cálcio, responsáveis pelo início de pega (MEHTA; MONTEIRO, 2014; PETIT; WIRQUIN, 2013). A adsorção dos polímeros pelo

clínquer também inibe a formação de portlandita (hidróxido de cálcio) (WEYER *et al.*, 2005). Uma alteração na concentração e distribuição destes componentes pode levar a sérias mudanças nas propriedades de adesão das argamassas (PETIT; WIRQUIN, 2013).

Os polímeros, como o acetato de vinilo, acetato vinilo-etileno e estireno-butadieno, melhoram as propriedades da argamassa especialmente ao promover maior flexibilidade, ao reduzir o módulo de elasticidade da argamassa, e maior resistência à tração às argamassas no estado endurecido, conforme estudo realizado por Jenni *et al.* (2005). Rodger *et al.* (1985), Chandra e Flodin, (1987) e Silva *et al.* (2001) observaram que os polímeros interagem com os íons de cimento nas soluções nos poros da matriz cimentícia. Isso leva a alterações nas ligações covalentes formadas que resultam na melhoria das resistências à compressão, tração e de aderência das argamassas.

Outra característica referente aos materiais constituintes das argamassas colantes refere-se à granulometria do agregado que segundo a ABCP (2002) deve possuir diâmetros que variando entre de 0,06mm e 2,0mm. Petrucci (1998), Saraiva; Bauer e Gonçalves (2010) e Neville e Brooks (2013) destacam que o excesso de finos promove maior consumo de água de amassamento, que tende a melhorar a trabalhabilidade, a retenção de água, mas leva à redução da resistência mecânica e aumento da retração por secagem na argamassa. Corroborando, Carasek (1996) explica que o alto teor de finos é prejudicial à aderência à medida que os finos podem penetrar nos poros do substrato, ao invés dos produtos da hidratação do cimento, tornando a interface mais frágil. Tristão (1995), citado por Moura, (2007), aponta que a finura se relaciona à retenção de água pois quanto maior a finura, maior a área específica, o que resulta numa maior retenção de água. No entanto, segundo Carneiro (1993) esta retenção de água pelos finos só é favorável nas primeiras 24 horas, quando esta retenção de água regula a retração. Após este período há a aceleração da retração por secagem.

A textura superficial dos grãos também tem influência nas propriedades da mistura no estado fresco. Segundo Haach, G.; Vasconcelos, G. e Lourenço, P. B. (2011), o melhor tipo de agregador se trata de uma areia bem graduada e com uma forma parcialmente angular, de modo que se propicie o intertravamento entre os grãos e a adesão superficial destes. Já o pior tipo de seria a areia de tamanha único, de grãos arredondados e superfície polida, uma vez que este tipo de agregado possui um baixo intertravamento entre grãos e o aglomerante se adere mal a este. Mehta e Monteiro (2014), por sua vez, verificaram que há evidências que, durante as primeiras idades, a textura do agregado influencia em propriedades mecânicas, em especial a resistência à flexão. Nota-se que agregados com textura mais áspera propiciam a formação de uma aderência física mais forte entre a pasta de cimento e o agregado. Entretanto, em idades mais

avançadas, à medida que se desenvolve uma aderência química mais forte entre a pasta e o agregado, deixa de ser um efeito de muita importância.

Donza, Cabrera e Irassar (2002) verificaram que grãos angulosos melhoram o intertravamento entre partículas, contribuindo, desta maneira, favoravelmente com a resistência a compressão. Entretanto, Cortes et al (2008) aponta que as partículas angulares resultam em empacotamento de menor densidade o que reflete em menor rigidez quando comparado aos agregados mais arredondados. Wills (1967) também observa que a forma do agregado influencia diretamente na demanda de água na mistura. Carasek e Isaia (2010) verificaram que as partículas angulosas, por possuírem maior área superficial, exigem uma maior quantidade de água para atingir uma dada consistência. Esta maior demanda de água, pode ocasionar uma diminuição na resistência. De modo geral, é reconhecido que quanto maior o fator água cimento ( $a/c$ ), menor será a resistência.

O formato dos grãos dos agregados britados, granulometria, teor de material pulverulento, textura superficial e até a integridades dos grãos dependem da origem mineralógica da rocha matriz e do tipo de equipamento empregado para a cominuição da rocha (FABRO *et al.* 2001). Gonçalves et. al (2007) aponta que britadores de impacto resultam em partículas com maior integridades e formas mais isométricas em comparação a outros processos de trituração da rocha como britadores do tipo cone, martelo ou rolo. Namshik (2000) complementa ao verificar que a forma dos agregados finos britados é frequentemente mais angular e com superfície mais áspera que a dos agregados de origem natural, corroborando as observações feitas para esta pesquisa.

Barboza (2016) destaca que a ocorrência dos deslocamentos em revestimentos pode advir de problemas com a cerâmica, da argamassa ou, ainda, do conjunto cerâmica/argamassa. Assim, outro fator associado ao desempenho do sistema de revestimento é a absorção de água pelas placas cerâmicas. Ribeiro (2006) destaca que a movimentação higroscópica é uma importante causa do deslocamento de placas cerâmicas. Roscoe (2008) complementa dizendo que após o assentamento e devido ao contato com a umidade do meio ambiente, a placa cerâmica sofre um aumento irreversível ao longo do tempo, caracterizando a expansão por umidade. Isso ocorre, segundo Carvalho Jr. (2001), em virtude da adsorção física e química da umidade no interior do corpo cerâmico sobre as fases do produto após a queima. Para limitar tais movimentações higroscópicas, Goldberg (1998) recomenda que se utilize placas cerâmicas de baixa absorção de água.

Uma pesquisa realizada pela Neoway Criactive e coordenada pelo SindusCon-SP, em 2016, mostrou que o deslocamento tem ocorrido de modo que o revestimento cerâmico

“estufa” e as placas se soltam da parede. Assim, uma das possíveis causas levantadas para a ocorrência da patologia é o cisalhamento entre a placa cerâmica e a argamassa após um processo de expansão por umidade (EPU) bastante elevado (BARBOZA *et al.*, 2016). A expansão por umidade (EPU) refere-se à expansão sofrida por materiais cerâmicos quando em contato com a água na forma líquida ou de vapor, em virtude da reidratação da face amorfa (MENEZES *et al.*, 2006). Segundo Tarhan (2016) a expansão por umidade ocorre porque a força de atração molecular entre água/cerâmica é maior do que aquela entre as próprias moléculas de água. Portanto, a adsorção de moléculas de água na superfície do sólido interrompe o estado de equilíbrio anterior entre a superfície e o interior. A expansão de umidade é uma função da energia da superfície de um sólido e seu módulo de elasticidade

Embora a EPU tenha sido apontada como uma das possíveis causas para a ocorrência de destacamento de placas cerâmicas, o Centro Cerâmico do Brasil alerta que as cerâmicas utilizadas no mercado brasileiro apresentam EPU na faixa entre 0,2 - 0,5 mm/m, não podendo ser, portanto, as únicas responsáveis para esta manifestação patológica (BARBOZA *et al.*, 2016). Num outro estudo realizado pelo próprio Centro Cerâmico do Brasil (2010), as principais causas para os descolamentos são:

- falhas no preparo da argamassa colante;
- utilização da argamassa colante depois que o tempo em aberto foi excedido;
- uso de técnicas e ferramentas inadequadas;
- pressão de aplicação inadequada;
- infiltração de água;
- contaminação do tardo da placa cerâmica por pó.

Por fim, tem-se a influência do fator humano no desempenho dos sistemas de revestimento. Num estudo realizado por Saraiva; Bauer; Gonçalves, 2010 foi observada a influência do posicionamento do oficial pedreiro na aderência do sistema de revestimento. Verificou-se que a energia de lançamento é influenciada pela altura do plano de trabalho do oficial pedreiro, sendo a altura média do plano, próxima ao tórax, o local onde se verificou os melhores resultados de resistência de aderência. Isto ocorre pois se trata da região onde há maior facilidade ergonômica para promover um lançamento adequado e o bom espalhamento da argamassa, possibilitando uma maior extensão de aderência na interface e incrementando a resistência. Observou-se uma convergência destes resultados àqueles encontrados por Antunes (2005) especialmente no que se refere à associação do surgimento de macrodefeitos em função da energia de aplicação utilizada.

## 2.3 Aderência das argamassas ao substrato

Após as discussões sobre o sistema de revestimentos, suas camadas e fatores que afetam o seu desempenho, torna-se fundamental o melhor entendimento do fenômeno da aderência. A NBR 13528 (ABNT, 2010) define aderência como a “propriedade do revestimento de resistir às tensões atuantes na interface com o substrato. A aderência não é uma propriedade da argamassa, sendo a interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento que se pretende avaliar (base, preparo da base e revestimento)”. Esta aderência da argamassa ao substrato pode ocorrer por sistemas mecânicos e químicos, conforme apresentado a seguir.

### 2.3.1 Sistema mecânico de aderência

Carasek *et al.* (2001) mostram que a aderência entre uma argamassa e o substrato ocorre através da penetração da pasta de aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base onde é aplicada. Baía e Sabbatini, (2000) complementam dizendo que as argamassas à base de cimento colam o revestimento através de adesão física ou mecânica, pela qual o material penetra nos poros dos substratos e placas cerâmicas criando pontos de engaste.

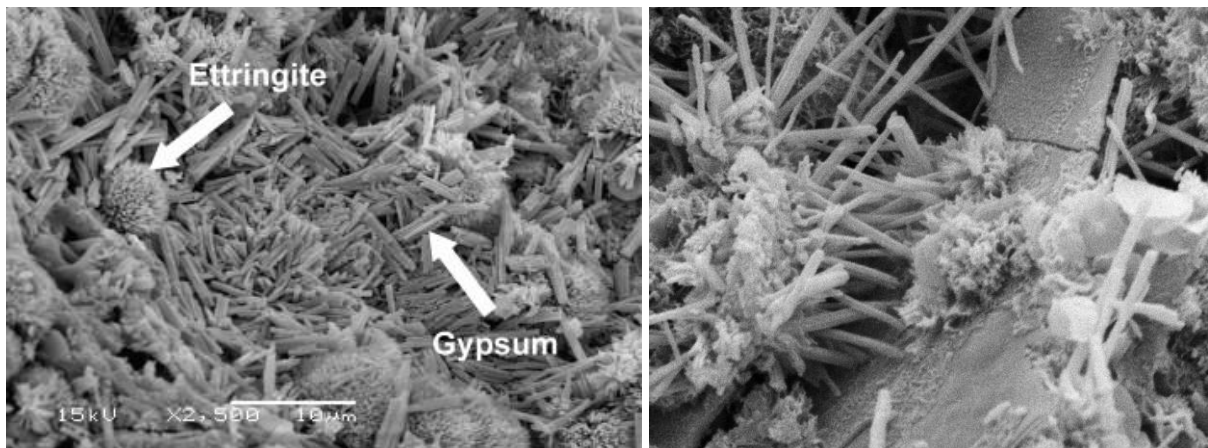
Sobre a formação de pontos de engaste, Carasek *et al.* (2001) também identificaram que quando a argamassa, no estado plástico, entra em contato com a superfície absorvente do substrato, parte da pasta de aglomerante penetra nos poros e cavidades deste substrato. No interior dos poros do substrato ocorre a formação de precipitados dos produtos da hidratação do cimento e da cal, que, após o tempo de cura exercem ação de ancoragem da argamassa à base. Para Baía e Sabbatini, (2000) a ocorrência da aderência por meio deste sistema de ancoragem só é possível quando se utilizam materiais com certa porosidade e/ou rugosidade, tanto em relação à base quanto à placa cerâmica.

Paes (2004) apresenta que um sistema de aderência mecânico é o resultado da absorção, pelo substrato, da água de amassamento presente na argamassa. Este processo se inicia na fase de adesão, o que faz com que ocorra uma alteração reológica do material. O autor ainda observa que existem inúmeras características que podem influenciar na capacidade de absorção pelo substrato, como por exemplo, a distribuição e o tamanho dos poros, a capacidade de absorção de água, a rugosidade superficial do substrato e a extensão da superfície de contato. Para Carasek *et al.* (2001) a absorção da água de amassamento pelo substrato tem início no momento em que a argamassa é lançada sobre o substrato sendo que qualidade do contato será um fator que influenciará na aderência. Carasek (1996) observou, com auxílio do microscópio eletrônico

de varredura, que o sistema mecânico de aderência decorre do intertravamento da etringita (trissulfoaluminato de cálcio hidratado) no interior dos poros do substrato. Neste estudo a autora percebeu que ocorre uma liberação de íons de sulfato de cálcio (proveniente da gipsita), íons aluminato e cálcio ( $C_3A$  do cimento) que, devido ao efeito de sucção ou absorção capilar causado pelos poros da base, são transportados para regiões mais internas do substrato, precipitando na forma de etringita. Este fenômeno ocorre principalmente nos poros capilares e em poros superficiais da base. Jenni *et al.* (2005) também observou esta a absorção de água nas placas cerâmicas através da migração da pasta aglomerante para o interior dos seus poros, o que permite a precipitação dos produtos da hidratação do cimento que promoverão a ancoragem mecânica.

Segundo Taylor (1997), a etringita, cuja composição química é  $C_3A_3CaSO_4 \cdot 32H_2O$  ou  $[Ca_3Al(OH)_6 \cdot 12H_2O]_2(SO_4)_3 \cdot 2H_2O$ , é uma importante fase resultante da hidratação dos aluminatos e ferritas de cálcio na presença de sulfatos. A sua formação tem início nos primeiros minutos após o contato do cimento com a água. O autor ainda observou que os cristais formados nos primeiros minutos têm cerca de 250 nm de comprimento e 100 nm de espessura e são encontrados nas superfícies dos grãos de cimento e a pouca distância deles. Imagens de cristais de etringita, obtidas com auxílio de microscopia eletrônica, são apresentadas na Figura 4.

Figura 4 - Cristal de etringita (x2500)



Fonte: Aye, Oguchi e Takaya (2010) e Jim Margeson, NRC-IRC [s.d]

### 2.3.2 Sistema químico de aderência

No sistema químico a resistência de aderência é proveniente de forças covalentes ou de forças de van der Waals que são desenvolvidas na interface entre o substrato e os produtos da hidratação do cimento (CARVALHO Jr. 2005). Baía e Sabbatini (2000) explicam que este tipo

de adesão advém da formação de uniões químicas e/ou eletrostáticas entre a argamassa, o substrato e a placa, e funciona como uma ‘cola’.

De acordo com Kampf (2001), o sistema com maior contribuição para a resistência de aderência das argamassas é o sistema mecânico, sendo sua contribuição muito superior à do sistema químico. O que é corroborado por Silva *et al.* (2001) que dizem que a parcela de aderência química corresponde a aproximadamente 10% do valor da resistência de aderência, podendo se tornar insignificante em algumas situações.

Ruduit (2009) ainda informa que a aderência química é proporcionada ao se introduzir aditivos adesivos que possuem a capacidade de melhorar a aderência das argamassas. Petit e Wirquin (2013), Plank e Gretz (2008) e Spiess *et al.* (2004) observaram que a utilização de polímeros redispersíveis e de éteres de celulose podem afetar a aderência com o substrato. Como a tensão superficial do éter de celulose (CE) é maior do que a do polímero redispersível (RDP) ou do álcool polivinílico (PVA), o transporte do celulósico até a interface argamassa/substrato pode favorecer a formação de pontes de hidrogênio entre o substrato e o filme de celulose.

## 2.4 Característica das argamassas colantes

Referências sobre as argamassas colantes são encontradas em diversas bibliografias internacionais. O International Code Council (2018) define as argamassas colantes como uma mistura de materiais cimentícios, agregados finos e água, podendo ou não ter aditivos, sendo que sua composição será em função do local de aplicação do revestimento. No Brasil a NBR 14.081-1 (ABNT, 2012) define a argamassa colante como um “produto industrial, no estado seco, composto de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos, que, quando misturados com água, forma uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas”.

As argamassas colantes utilizadas para assentamento cerâmico devem obedecer a uma série de requisitos (no estado fresco ou endurecido), conforme as principais normas vigentes (EN 12.004 - EUROPEAN STANDARDS, 2017; ISO 13.007; ANSI 118 (TCNA, 2017); NBR 14.081-1-ABNT, 2012). Quando atendidos, estes garantirão que as argamassas apresentem o desempenho esperado na fase de uso. A normatização brasileira classifica as argamassas colantes de acordo com as solicitações mecânicas e termo-higrométricas às quais estarão sujeitas e em relação ao seu local de aplicação, no entanto, não especifica quais a composição/traço de cada um dos tipos de argamassa.



Sendo assim, segundo a NBR 14.081-1 (ABNT, 2012), tem-se:

- argamassa colante industrializado tipo I – AC I: recomendada para revestimentos internos, com exceção daqueles aplicados em saunas, churrasqueiras, estufas e outros revestimentos especiais;
- argamassa colante industrializado tipo II – AC II: recomendada para revestimentos de pisos e paredes internos e externos sujeitos a ciclos de variação termoigrométrica e a ação do vento;
- argamassa colante industrializado tipo III – AC III: Argamassa colante industrializada que apresenta aderência superior em relação às argamassas dos tipos I e do tipo II;
- argamassa colante industrializada com tempo em aberto estendido – tipo E;
- argamassa colante industrializada com deslizamento reduzido – tipo D

A normatização brasileira prevê que os requisitos dispostos pela NBR 14.081-1 (ABNT, 2012) devem ser seguidos para condições de laboratório, sendo portanto, os parâmetros a serem observados pelos fabricantes das argamassas colantes. Entretanto, para testes realizados em campo, como obras, a norma a ser seguida é a NBR 13.574 (ABNT, 1996). Esta determina que seis corpos de prova devem ser ensaiados e, após a cura de 28 dias da argamassa colante, pelos menos quatro valores devem ser maiores ou iguais a 0,30 MPa. Apresenta-se, na Tabela 1, as propriedades requeridas para as argamassas colantes segundo normatização brasileira.

Tabela 1 - Propriedade das argamassas segundo a normatização brasileira.

Característica		Tipo de Argamassa		
		ACI	ACII	ACIII
<b>Tempo em Aberto</b>		≥ 15 min	≥ 20 min	≥ 20 min
<b>Resistência de aderência à tração aos 28 dias</b>	Cura normal	≥ 0,5 MPa	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa
	Cura submersa	≥ 0,5 MPa	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa
	Cura em estufa	–	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa
<b>Local de utilização</b>		Revestimentos internos, com exceção daqueles aplicados em saunas, churrasqueiras, estufas e outros revestimentos especiais.	Revestimentos de pisos e paredes internos e externos sujeitos a ciclos de variação termoigrométrica e a ação do vento.	Argamassa colante industrializada que apresenta aderência superior em relação às argamassas dos tipos I e II.

Fonte: Adaptado de NBR 14081 (ABNT, 2012)

Na Tabela 2 apresenta-se as propriedades das argamassas colantes segundo as normas americanas ANSI 118 (TCNA, 2017).

Tabela 2 - Propriedade das argamassas segundo a normatização norte americana

<b>Propriedade</b>	<b>Requisitos</b>	
<b>Argamassas colantes comuns</b>		
<b>Tempo em aberto</b>	20 min	Resistência à tração $\geq 0,5$ MPa (28 dias)
<b>Tempo em aberto – estendido</b> (opcional)	30 min	Resistência à tração $\geq 0,5$ MPa (28 dias)
<b>Deslizamento</b>	$\leq 0,5$ mm	
<b>Cerâmicas esmaltada (parede) – Resistência ao cisalhamento</b>	7 dias	$> 1,38$ MPa
	7 dias - imerso em água	$> 1,03$ MPa
<b>Porcelanatos – Resistência de cisalhamento</b>	1 dia	$> 0,34$ MPa
	7 dias	$> 1,03$ MPa
	7 dias – imerso em água	$> 0,69$ MPa
	28 dias	$> 1,03$ MPa
	12 semanas	$> 1,03$ MPa
<b>Argamassas colantes de secagem rápida</b> (as propriedades aqui não listadas se mantêm)		
<b>Tempo de secagem</b>	$< 4$ horas	
<b>Tempo em aberto</b>	10 min	Resistência à tração $\geq 0,5$ MPa (28 dias)
<b>Porcelanatos – Resistência de cisalhamento</b>	4 horas	$> 0,34$ MPa
<b>Argamassas colantes modificadas</b> (as propriedades aqui não listadas se mantêm)		
<b>Tempo em aberto</b>	20 min	Resistência à tração $\geq 0,5$ MPa (28 dias)
<b>Tempo em aberto estendido</b> (opcional)	30 min	Resistência à tração $\geq 0,5$ MPa (28 dias)
<b>Deslizamento</b> (opcional)	$\leq 0,5$ mm	
<b>Cerâmicas esmaltada (parede) – Resistência ao cisalhamento</b>	7 dias	$> 2,07$ MPa
	7 dias - imerso em água	$> 1,38$ MPa
<b>Porcelanatos – Resistência de cisalhamento</b>	1 dia	$> 0,5$ MPa
	7 dias	$> 1,38$ MPa
	7 dias – imerso em água	$> 1,03$ MPa
	28 dias	$> 1,38$ MPa
	28 dias submetido a ciclos de congelamento	$> 1,21$ MPa
	12 semanas	$> 1,38$ MPa
<b>Cerâmicas sem esmalte – Resistência ao cisalhamento</b>	28 dias	$> 1,03$ MPa
	28 dias submetido a ciclos de congelamento	$> 0,69$ MPa
<b>Argamassas colantes modificadas de secagem rápida</b> (as propriedades aqui não listadas se mantêm)		
<b>Tempo de secagem</b>	$< 4$ horas	
<b>Tempo em aberto</b>	10 min	Resistência à tração $\geq 0,5$ MPa (28 dias)
<b>Porcelanatos – Resistência de cisalhamento</b>	4 horas	$> 0,34$ MPa

Fonte: Adaptado de ANSI A118.1 e ANSI A118.4 (TCNA, 2012)

Para melhor entendimento desta, faz-se necessário as seguintes definições, considerando o exposto nas normas ANSI 118.1 (TCNA, 2012) e ANSI 118.4 (TCNA, 2012):

- argamassa colante comum: argamassa de cimento, com propriedade de retenção de água, que elimina a necessidade de imersão da cerâmica e/ou do substrato antes da instalação.

Estas argamassas são projetadas para terem uma adesão direta e não devem ser usadas para regularização ou nivelamento de substratos;

- argamassas de secagem rápida: argamassas especialmente formuladas para obter a resistência de aderência ao cisalhamento mínima requerida num intervalo de tempo muito inferior ao das argamassas comuns;
- argamassa colante modificada: argamassas para assentamento de placas cerâmicas às quais foram adicionados aditivos que melhoram sua performance de modo que possuem desempenho superior ao das argamassas colantes comuns.
- argamassa colante modificada de secagem rápida: argamassas especialmente formuladas para obter a resistência de aderência ao cisalhamento mínima requerida num intervalo de tempo muito inferior ao das argamassas colantes modificadas.

Pelas Normas Europeias, as argamassas são classificadas em C1 e C2 quando referem-se ao desempenho de aderência à tração – Tabela 3. Os critérios da Classe C1 representam os requisitos mínimos (min. 0,5 N/mm<sup>2</sup> = MPa). Os padrões de desempenho especificados para a Classe C2 são sensivelmente maiores, com uma resistência de adesão mínima à tração de 1 N/mm<sup>2</sup> (MPa). Os testes de aderência à tração para as classificações C1 e C2 são realizados para quatro condições de ensaio diferentes.

Tabela 3 - Propriedade das argamassas colantes comuns segundo a normatização europeia

Tipo de argamassa		C1	C2
Especificação Técnica		Requisitos mínimos	
Resistência de aderência à tração	28 dias em condições normais	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa
	Envelhecimento acelerado a +70°C por 14 dias	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa
	Imersão em água por 21 dias	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa
	Após 25 ciclos de congelamento/descongelamento	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa
Tempo em aberto para assentamento cerâmico		≥ 20 min	≥ 20 min
Características para argamassas colantes modificadas			
Classificação	Características	Requisito mínimo	
T: Deslizamento reduzido	Deslizamento	≤ 0,5 mm	
E: Tempo em aberto estendido	Tempo em aberto	≥ 30 min	
F: Secagem rápida	Resistência de aderência à tração após 24 horas	≥ 0,5 MPa	
	Tempo em aberto	≥ 10 min	

Fonte: Adaptado de EN 12.004 (EUROPEAN STANDARDS, 2017)

A norma EN 12.004 (EUROPEAN STANDARDS, 2017) também classifica as argamassas colantes em D1 e D2 quando estas são avaliada em relação à resistência ao cisalhamento, conforme Tabela 4. Segundo esta norma todos as argamassas com polímeros

redispersíveis devem atender, pelo menos, aos requisitos da Classe D1, pelo qual devem atingir pelo menos 1 N/mm<sup>2</sup> (MPa) de resistência ao cisalhamento após armazenamento a seco e temperatura elevada. A classificação D2 requer, adicionalmente, uma resistência ao cisalhamento mínima de 0,5 N/mm<sup>2</sup> (MPa) após imersão em água e resistência ao cisalhamento  $\geq 1$  N/mm<sup>2</sup> (MPa) após submetido a temperaturas elevadas.

Tabela 4 - Propriedade das argamassas colantes com polímeros redispersíveis segundo a normatização europeia

Tipo de argamassa		Argamassa colante com polímeros redispersíveis	
		D1: Normal	D2: Melhorada
Especificação Técnica		Requisito mínimo	
Resistência ao cisalhamento inicial após 28 dias em condições normais*		$\geq 1,0$ MPa	$\geq 1,0$ MPa
Resistência ao cisalhamento após:	Envelhecimento térmico a +70°C por 14 dias	$\geq 1,0$ MPa	$\geq 1,0$ MPa
	Imersão em água após 14 dias	-	$\geq 0,5$ MPa
	Teste de tensão sob alta temperatura	-	$\geq 1,0$ MPa
	Choques térmicos	-	
Tempo em aberto para assentamento cerâmico		$\geq 20$ min	$\geq 20$ min

Fonte: Adaptado de EN 12.004 (EUROPEAN STANDARDS, 2017)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O programa experimental proposto para esta pesquisa busca identificar a influência das características de diferentes argamassas colantes encontradas no mercado, tipos ACII e ACIII, no desempenho em relação à aderência do sistema de revestimento no sistema construtivo parede de concreto moldada *in loco*, conforme Figura 5 e Tabela 5. Para isto, estruturou-se o programa experimental em três etapas, a saber: caracterização das amostras de argamassa colante; caracterização do substrato quanto à rugosidade e absorção; e avaliação da resistência aderência à tração dos diferentes tipos de argamassas.

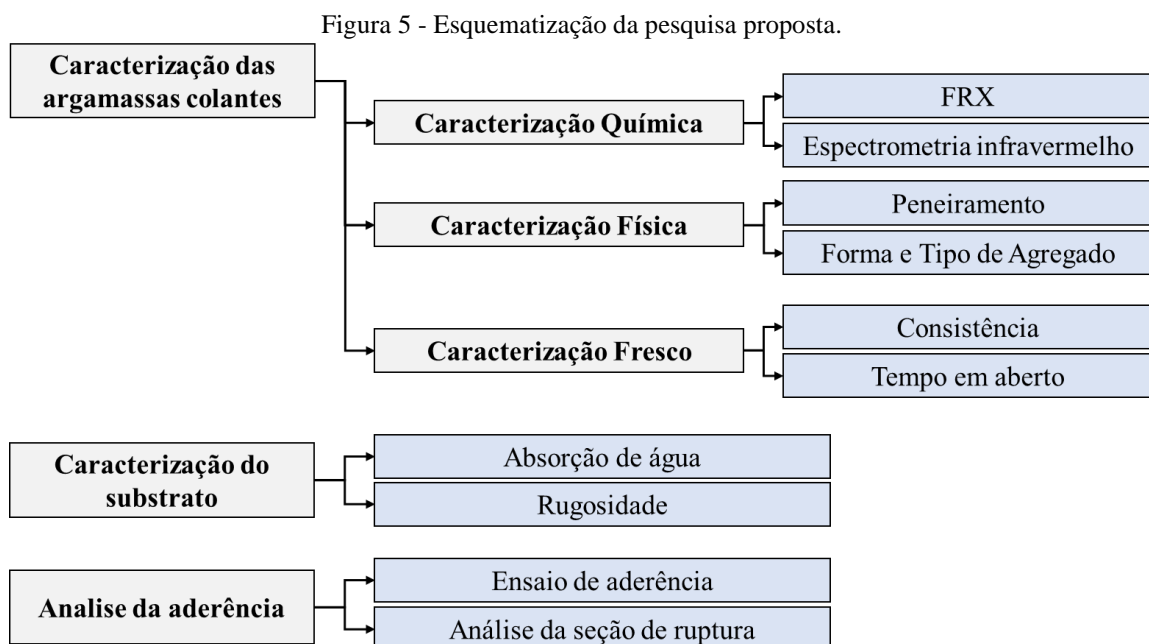


Tabela 5 - Caracterização dos materiais

Característica analisada	Método	Argamassas colantes	Placa cerâmica assentada com argamassa colante sobre a parede de concreto	Parede de concreto
Granulometria	Peneiramento	x		
Forma e tipo de agregado	Lupa eletrônica	x		
Composição Química	FRX Infravermelho	x		
Consistência	<i>Flow table test</i>	x		
Tempo em aberto	Assentamento em diferentes tempos de abertura do pano	x		
Resistência de aderência à tração	NBR13754:1996	x	x	x
Absorção de água	Tubo de Kastern			x
Rugosidade superficial	Perfilômetro Óptico			x

### 3.1 Materiais

Para a realização do estudo proposto foram utilizadas quatro marcas diferentes (FAB1, FAB2, FAB3 e FAB4) de argamassas colantes do tipo II (ACII) e do tipo III (ACIII), encontradas no mercado de Belo Horizonte. A utilização das argamassas de mercado selecionadas para este estudo, justifica-se pelo fato de serem produtos com melhor preço e largamente utilizadas por várias construtoras. Ainda, as diferentes formulações de cada fabricante podem possibilitar às argamassas colante diferentes comportamentos durante a vida útil do sistema de revestimento.

As paredes de concreto do empreendimento onde se realizou o ensaio de resistência de aderência à tração foram executadas com concreto cuja resistência característica à compressão é  $f_{ck} = 25$  MPa; módulo de elasticidade tangente  $E_{ci} = 28$  GPa; fator água/cimento  $\leq 0,60$  e *slump* teste  $22 \pm 3$  cm.

As placas cerâmicas utilizadas no teste supracitado possuem dimensão de 100mmx100mm e espessura de 6,0 mm. De acordo com as especificações técnicas do fabricante, a absorção média de água varia de 6% a 10%, sendo classificada no grupo BIIb, segundo a NBR 13006 (ABNT, 2020) e com método de fabricação por via úmida. As placas possuem módulo de resistência à flexão  $\geq 18$ MPa e expansão por umidade (EPU)  $\leq 0,6$  mm/m.

### 3.2 Métodos

Em virtude do interesse em se avaliar o desempenho quanto à aderência das argamassas colantes aplicadas na parede de concreto, parte do programa experimental desta pesquisa foi realizado em uma obra que utiliza o sistema construtivo parede de concreto moldada *in loco*. A obra localiza-se na cidade de Contagem, estado de Minas Gerais. Os ensaios foram realizados no período de agosto a outubro de 2019 e o programa experimental consistiu nas seguintes etapas:

#### 3.2.1 Preparação do substrato

A preparação do substrato se deu por meio de limpeza com escova de cerdas de náilon previamente umedecidas. Este procedimento foi necessário para a remoção de poeira e outras partículas soltas que poderiam estar presentes parede de concreto, sem causar ranhuras no substrato. A limpeza foi feita de cima para baixo, lavando-se as cerdas da escova sempre que

estas apresentavam aspecto de sujo. Esta limpeza possuía uma característica similar a se estar varrendo a parede para que sujidades fossem retiradas.

### 3.2.2 *Mistura das argamassas*

Para a realização dos trabalhos, as argamassas foram preparadas segundo recomendações dos fabricantes. Os mesmos recomendam que se adicione  $25 \pm 5\%$  de água, em relação à massa. Portanto, para um saco de 20kg, se utiliza de 4,7 a 5,3 litros de água. Para quantidades inferiores a 20kg, adotou-se valores proporcionais, respeitando os percentuais indicados acima. Após a mistura, as argamassas colantes permaneceram em repouso por 10 minutos antes da aplicação.

### 3.2.3 *Análise da aderência*

A avaliação da aderência foi realizada por meio de ensaios de resistência de aderência à tração. A metodologia proposta neste trabalho teve como objetivo verificar se haveria variações significativas nesta propriedade ao se analisar diferentes fabricantes, tanto para ACII quanto para ACIII, no ambiente de obra e com variação no tempo de assentamento das placas cerâmicas. Este ensaio foi dividido em duas etapas, conforme será explicado a seguir.

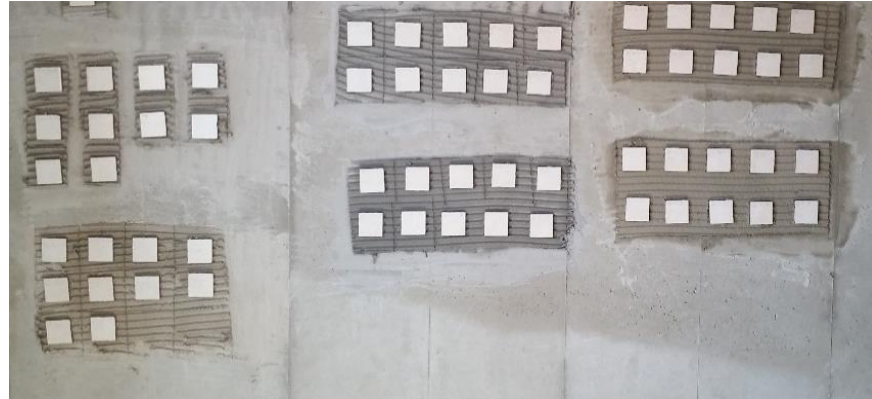
O procedimento experimental foi realizado em obra de parede de concreto, localizada em Contagem, MG. Inicialmente, foi realizada a preparação dos substratos e das placas cerâmicas, para retirada do material pulverulento e partículas soltas. Esse procedimento se deu das seguintes formas: na parede de concreto moldada *in loco* foi realizada limpeza da superfície com vassoura e água e as cerâmicas tiveram a superfície do tardo limpo com água e escovação manual. Os substratos não foram saturados, sendo essa uma limpeza apenas das superfícies para remoção de material pulverulento.

O ensaio foi dividido em duas etapas. A primeira delas foi feita utilizando-se cerâmica com dimensões de  $50 \times 50 \text{mm}$  ( $\pm 1 \text{mm}$ ). Estendeu-se a argamassa sobre o substrato, na direção longitudinal, e se aguardou o tempo de aplicação de 20 min. Ao se assentar as cerâmicas, elas foram posicionadas sobre quatro cordões de argamassa colante, sendo que a colocação destas foi feita de modo que não transcorresse um tempo maior do que 30s entre a colocação da primeira e últimas. Nesta primeira etapa foram testadas argamassas ACII e ACIII de três diferente fabricantes.

O assentamento foi realizado sobre a parede de concreto moldada *in loco* (plano na vertical) e as placas cerâmicas foram aplicadas contra a parede sendo pressionadas com as

pontas dos dedos com movimentos que permitissem a quebra dos cordões de argamassa. A idade na qual foi feito o arrancamento foi de 56 dias.

Figura 6 – Placas cerâmicas assentadas sob parede de concreto moldada *in loco* – 1ª etapa



O arrancamento foi realizado com um aderímetro da marca PROCEQ, modelo Z16 (*Pull-off Tester Z16*), com leitor digital. Com base nos resultados obtidos nesta primeira etapa, foi identificada a necessidade de se repetir esta análise.

Na segunda etapa de análise da aderência a argamassa de assentamento foi aplicada com auxílio de desempenadeira de aço denteada com dentes quadrados de dimensões 6 x 6 x 6 mm. As placas cerâmicas foram aplicadas sobre os cordões de argamassa colante em quatro situações: imediatamente, 5 min, 10 min, 15 min e 20 min após a abertura do pano. A aplicação foi realizada com auxílio de um martelo de borracha para aplicação de vibrações de forma a se obter maior acomodação, que foi constatada quando a argamassa colante fluiu nas bordas das placas cerâmicas. Após isto, esperou-se alguns minutos e se realizou a limpeza das bordas das cerâmicas, removendo o excesso de argamassa colante que “vazou”.

Figura 7 – Assentamento dos corpos de prova, colagem de chapa metálica e ensaio de arrancamento





O arrancamento foi feito utilizando-se aderímetro provido de manômetro analógico. Esta pastilha é colada à cerâmica e o equipamento, por sua vez, possui uma haste que é enroscada num ponto de fixação da placa metálica. Após este processo, o conjunto placa metálica/cerâmica é tracionado. A velocidade de aplicação da carga deve ser a mesma para todos os corpos de prova e se deve aplicá-la de forma lenta e progressiva.

Realizado o arrancamento da placa cerâmica, a leitura do equipamento é feita verificando-se o valor apontado pelo ponteiro vermelho. Este valor lido no equipamento, quando da análise dos resultados, deve ser convertido multiplicando-se a pressão lida no manômetro pela área do cilindro hidráulico do equipamento e posteriormente dividindo-se pela área do corpo de prova (para tal pode-se utilizar o fator de conversão 0,035979591).

Em ambas as etapas, para a leitura e interpretação dos valores obtidos nos ensaios de arrancamento, também se examinou a seção onde ocorreu a ruptura do corpo-de-prova. A ruptura pode ocorrer aleatoriamente em quaisquer interfaces ou no interior de uma das camadas que constituem o revestimento. As interfaces a serem consideradas são:

- ruptura na interface placa cerâmica/argamassa colante;
- ruptura no interior da argamassa colante;
- ruptura na interface argamassa colante/substrato;
- ruptura no interior da argamassa do substrato;
- ruptura na interface substrato/base;
- ruptura no interior da base;
- ruptura na interface pastilha metálica/cola; ou
- ruptura na interface cola/placa cerâmica

Caso ocorra mais que uma forma de ruptura, em um mesmo corpo de prova, deve-se indicar o percentual aproximada da área de cada forma de ruptura.

#### *3.2.4 Caracterização física das argamassas*

A análise da composição granulométrica foi realizada em duas etapas. A primeira foi realizada no Laboratório de Concreto e Argamassas da Escola de Engenharia na Universidade Federal de Minas Gerais, por meio da granulometria por peneiramento, segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003) até a peneira #200 com abertura de 74  $\mu\text{m}$ . Por se tratar de argamassa colante, que possui apenas agregados miúdos, optou-se por utilizar as peneiras com abertura de 1,18mm (#16), 850 $\mu\text{m}$  (#20), 590  $\mu\text{m}$  (#30), 300 $\mu\text{m}$  (#50), 150 $\mu\text{m}$  (#100), 105 $\mu\text{m}$  (#140),

74 $\mu$ m (#200). Para a realização do ensaio utilizou-se uma balança com resolução de 0,1% da massa da amostra de ensaio. Também foram utilizadas as peneiras de série normal e intermediária, com tampa e fundo, conforme exigido pela NM-ISO 3310, bandeja e escova com cerdas metálicas para limpeza das peneiras.

Por se tratar de argamassa colante, na qual há a presença apenas de agregado miúdo, os gráficos das curvas granulométricas foram construídos considerando apenas os percentuais retidos das peneiras de menor abertura ( $\geq 1,18$ mm), das séries normal e intermediária, e retido no fundo.

A morfologia dos agregados foi avaliada em função da forma, origem e textura superficial dos agregados. Para avaliação destas propriedades foi utilizada um microscópio digital USB com sensor de imagem de 0,3mm CMOS, resolução de 2,0 Mpx, zoom digital de 5x e alcance focal de 15mm a 40mm. Este equipamento é ilustrado na Figura 8. Para cada fabricante foi separada uma quantidade de agregado retido nas peneiras nº 50 e nº 100, cujas malhas possuem abertura de 0,3mm e 0,15 mm, respectivamente, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Lupa estereoscópica e separação do material retido para análise da morfologia



### 3.2.5 Caracterização química das argamassas

Para a determinação quantitativa da composição química das argamassas foi utilizada a análise de fluorescência de raios-x, realizada pela empresa SGS Geosol – Laboratórios Ltda, localizada na cidade de Vespasiano, Minas Gerais. Utilizou-se um espectrofotômetro de fluorescência de raios-X da marca MalvernPanalytical, modelo MagixFast.

Para realização desta análise houve prévia preparação das amostras para que se pudesse determinar os óxidos majoritários. A preparação das amostras tem por objetivo obter amostras representativas para análise. Este procedimento consistiu em secagem, britagem de 75% da

amostra a 3 mm, homogeneização, quarteamento em Jones e pulverização das amostras em moinho de aço 95% a 150 microns. Após a secagem das amostras foram separados 75% de material cuja granulometria fosse inferior a 3mm para cada uma delas. O material separado foi homogeneizado e separado utilizando-se o quarteador tipo Jones. A parte separada após o quarteamento passou por um processo de pulverização de modo de passasse a ter granulometria inferior a 105 microns.

A medição da qualidade na preparação física das amostras e nos processos analíticos fez-se pela inclusão de brancos de preparação. Para o controle de qualidade dos resultados analíticos foram incluídos materiais de referência certificados (STD), brancos analíticos (BLK) e replicatas (REP) em cada lote de amostras. O BLK é inserido no início de cada lote, já a posição dos STD's em um lote de análise é aleatória e as replicatas são selecionadas aleatoriamente e normalmente analisadas ao final do lote. O número mínimo de amostras de controle de qualidade depende especificamente do tamanho do rack e do método de análise. Para a presente análise o controle de qualidade foi realizado utilizando-se cinco amostras de STD, uma amostra de REP e uma amostra de BLK.

Estando as amostras preparadas para a realização do ensaio, foi realizada a análise de fluorescência de raios X, sendo adotados os métodos de perda ao fogo por calcinação da amostra a 1000°C (LOI) e fusão com tetraborato de lítio e carbonato de lítio.

Na FRX as duas principais formas de preparação de amostras sólidas para análise são por prensagem e por fusão. No presente estudo foi utilizada a técnica de fusão. Neste tipo de preparação as análises quantitativas são mais precisas, já que as pérolas fundidas obtidas podem ser consideradas como de fase vítrea, na qual os efeitos de matriz são minimizados. Adicionalmente, neste material fundido há total homogeneidade dos elementos constituintes, eliminando problemas de granulometria de amostra, as superfícies são completamente lisas e não há risco de descolamento de partículas dentro do espectrômetro, o que pode ocorrer com as pastilhas prensadas (OLIVEIRA, J. V.; NETO, A. A., 2017). Os fundentes utilizados foram o tetraborato de lítio e carbonato de lítio.

Embora a técnica de fusão seja mais precisa, destaca-se que esta apresenta uma tendência de perda de voláteis, como o enxofre, afetando sua quantificação. Desta maneira, optou-se por determinar o teor de enxofre total por infravermelho (marca LECO, modelo CS-230SH).

A técnica de análise por fluorescência de raios X (FRX) se baseia no princípio da detecção dos raios X característicos emitidos pelos elementos químicos presentes na amostra. Por meio de fontes de excitação, como tubos de raios X ou fontes radioativas emissoras de raios

X ou gama, que forneçam energia adequada para ocorrer interação por efeito fotoelétrico, é possível induzir transições eletrônicas nos níveis mais internos dos átomos, o que resulta na emissão de energia na forma de fóton. Quando a energia deste fóton se encontra na faixa de energia de raios X, este é denominado de raio X característico, que são específicos para cada elemento (ASFORA, 2010).

Os limites de detecção para cada óxido analisado, em porcentagem, são: SiO<sub>2</sub> (0,1 a 99), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,1 a 100), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,01 a 100), CaO (0,01 a 70), MgO (0,1 a 100), TiO<sub>2</sub> (0,01 a 100), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,01 a 45), Na<sub>2</sub>O (0,1 a 12), K<sub>2</sub>O (0,01 a 18), MnO (0,01 a 75), LOI (-45 a 100). Outra técnica utilizada para a determinação da composição química das argamassas foi utilizado o espectrômetro de fluorescência de raios-x da marca MalvernPanalytical, modelo MagixFast (Revisar quando chegar análise). Esta análise teve como objetivo tentar identificar a parcela orgânica de constituintes da argamassa colante, em especial para determinação do teor de aditivo celulósico.

Outro método de análise utilizado para a caracterização química das argamassas foi a caracterização por espectroscopia de infravermelho. Esta análise teve como objetivo determinar de fases orgânicas das argamassas colantes (como o teor de celulose).

Neste método foi realizado utilizando o aparelho Perkin Elmer Paragon 1000 FT-IR Spectrometer. Para a preparação das amostras, utilizou-se a pastilha de KBr (brometo de potássio – haleto alcalino

### 3.2.6 Caracterização das argamassas no estado fresco

O índice de consistência das argamassas foi aferido através do *flow table test*, conforme procedimento indicado pela NBR 13.276 (ABNT, 2016) e Anexo A da NBR 7215 (ABNT, 2019). O ensaio foi realizado no Laboratório de Concreto e Argamassas da Escola de Engenharia na Universidade Federal de Minas Gerais. Para este ensaio de consistência utilizou-se uma mesa para índice de consistência, molde troncocônico, soquete metálico e régua metálica. A preparação da argamassa foi realizada conforme NBR 16541 (ABNT, 2016), sendo necessária a utilização de balança digital, misturador mecânico, proveta, cronômetro e espátula.

Conforme dito anteriormente, o volume de água adicionado à mistura com argamassa colante foi de 25% ± 5% de água, em relação à massa de argamassa, conforme orientação do fabricante.

O cálculo do índice de consistência da argamassa é determinado pela média aritmética das três medidas de diâmetro, expressa em milímetros e arredondada ao número inteiro mais próximo.

### 3.2.7 Caracterização dos substratos

A absorção de água da parede de concreto foi avaliada utilizando-se o tubo de Karsten, também conhecido como método do cachimbo. Os equipamentos utilizados para a realização do ensaio são o tubo de vidro, graduado (Figura 9), pisseta plástica e cronômetro.

A metodologia de ensaio seguiu recomendações de normas/publicações internacionais, a saber:

- NIT 224 (CSTC, 2002);
- Test Method No. II.4 (RILEM, 2015).

Figura 9 – Tubo de Karsten na Parede de Concreto



A avaliação da absorção da parede foi realizada em quatro locais diferentes, os quais estão indicados na Figura 10.

Figura 10 - Pontos de realização do teste de absorção com cachimbo



Pelo método de avaliação da absorção de água da parede de concreto utilizando-se o tubo de Karsten, a superfície do bordo do tubo que fica em contato com a parede é coberta com mástique e pressionada contra a superfície. Após o endurecimento do selante, o tubo é cheio de água até ao seu nível máximo. O abaixamento do nível da água foi medido aos 5, 10, 15, 20, 30, 60, 75, 90 e 120 minutos. Este procedimento deverá ser repetido em três locais diferentes, no mínimo, sendo adotados quatro pontos diferentes no presente trabalho. Através dos valores de água absorvida, em  $\text{cm}^3$ , em cada um dos três locais ensaiados, e pela respectiva média aritmética é obtida a absorção da parede.

Segundo Scartezini et al. (2002) o coeficiente de absorção do substrato é dado pela inclinação da reta do gráfico de volume de água absorvido em função do tempo, sendo expresso em  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$ . O cálculo deste coeficiente de absorção de água a baixa pressão pode ser realizado utilizando-se a Equação (1), sugerida por PROCEQ (2001), citado por Flores-Colen (2009).

$$C_{\text{absorção}} = \frac{X \times 10^{-3}}{d^2 \times \left(\frac{\pi}{4} \times 10^{-6} \times \sqrt{t}\right)} \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:  $C_{\text{absorção}}$  - coeficiente de absorção de água da camada superficial ( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ );

$X$  - água absorvida (em ml);

$d$  - diâmetro da superfície em que é feita a penetração de água (mm) = 26mm;

$t$  - duração da leitura (h).

A rugosidade superficial foi avaliada por meio de perfilometria óptica 3D com resolução de 100 nm (em Z) sobre área de 2 mm, ou resolução de 1 nm em área de 0,2 mm. Utilizou-se o equipamento Zygo NewView 7300, no espaço de processamento de dispositivos do Departamento de Física da Universidade Federal de Minas Gerais. Foram extraídas três amostras da parede de concreto moldada *in loco* (Figura 11), todas de paredes sem tratamento superficial e oriundas da metade inferior da parede.

Figura 11 – Amostras para análise de rugosidade superficial



A técnica utilizada neste trabalho, perfilometria óptica 3D, fornece uma imagem tridimensional referente a muitos perfis calculados ao longo da área ou superfície selecionada, gerando uma imagem em 3D. Esta imagem é formada por dados obtidos e registrados como uma distribuição de alturas (picos e vales), os quais fornecem parâmetros matemáticos que permitem identificar as propriedades da superfície da amostra, no caso a rugosidade superficial (XAVIER, 2011). Para avaliação dos resultados, é utilizada a rugosidade média ( $R_a$ ) que se refere à média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição (ROSA, 2007).

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta seção do trabalho serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios e análises realizadas na presente dissertação.

### 4.1 Caracterização Química

Para a caracterização química das argamassas objeto de estudo deste trabalho foram realizados a análise de fluorescência de raio X (FRX) e espectrometria de infravermelho.

#### 4.1.1 Fluorescência de Raio X (FRX)

A análise das amostras de argamassa (Tabela 7) por meio dos percentuais dos óxidos presentes nos materiais, obtidos por fluorescência de raios-X (FRX) e infravermelho (LECO), demonstram que os óxidos predominantes foram o óxido de cálcio (CaO), óxido de silício (SiO<sub>2</sub>) e óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Nota-se que as maiores variações de concentração dos óxidos analisados ocorreram para o CaO, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e MgO. Verificou-se que também houve uma variação significativa na perda ao fogo das amostras analisadas. Para os óxidos Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, MnO e SO<sub>3</sub> os percentuais obtidos não houve grandes alterações, sendo os percentuais obtidos próximos para todas as amostras.

Tabela 6 – Análise de Fluorescência de Raio X das Argamassas

Amostra	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	SO <sub>3</sub>	LOI
FAB2.ACII	50,6	10,9	2,46	1,13	1,4	0,11	0,15	<0,1	0,4	0,06	0,925	31,53
FAB3.ACII	22,7	61,4	2,52	1,93	0,57	0,15	0,09	0,11	0,35	0,06	0,775	9,25
FAB4.ACII	46,4	14,3	2,85	1,17	2,25	0,13	0,11	0,17	0,57	0,08	0,825	31,11
FAB1.ACII	50,8	11,5	2,49	1,01	1,83	0,12	0,14	<0,1	0,42	0,08	0,875	33,09
FAB2.ACIII	51,8	10,9	2,5	1,24	1,38	0,11	0,14	<0,1	0,41	0,06	0,950	31,43
FAB3.ACIII	27,8	59,7	3,91	2,49	0,88	0,2	0,13	<0,1	0,46	0,1	1,525	4,29
FAB4.ACIII	47,9	15	3,07	1,31	2,24	0,15	0,13	0,11	0,58	0,09	0,950	30,00
FAB1.ACIII	45,2	18,1	3,8	1,54	2,86	0,18	0,11	<0,1	0,73	0,12	1,250	27,83

Em se tratando do CaO e o SiO<sub>2</sub> que variaram significativamente nas amostras analisadas, pode-se relacionar esta variação ao tipo de agregado utilizado em cada uma das amostras. As amostras FAB3.ACII e FAB3.ACIII fazem uso de agregado natural quartzoso e as demais amostras utilizam agregado artificial de britagem de calcário dolomítico. Em se tratando do agregado natural, Mehta e Monteiro (2014) apontam que é resultado de intemperismo geológico, sendo constituída por fragmentos de rocha onde se predomina os grãos



de sílica e silicatos. Desta maneira, ao se analisar os resultados obtidos na análise de FRX era de se esperar uma alta concentração do óxido de sílica nas amostras que fazem uso deste tipo de agregado, como as amostras FAB3.ACII e FAB3.ACIII. Arizzi e Cultrone (2013) destacam que os agregados silicosos são compostos por quartzo e são abundantes em grande parte do mundo. Estes agregados oferecem resistência química ao ataque de sulfatos e outros sais; sendo por isso tão comumente usados em argamassas.

Em relação aos agregados artificiais, obtidos por processos de britagem de rochas, Quaresma (2009) destaca que estes normalmente são provenientes de rochas como o calcário, o quartzito, o granito, o gnaisse, o basalto e o gabro (ou diabásio). Bertolino *et al.* (2012) reassalta que no estado de Minas Gerais, os agregados artificiais normalmente são oriundos do processamento do calcário. Mehta e Monteiro (2014), por sua vez, descrevem que o calcário pode ser uma rocha que contém tanto minerais carbonatos de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) como os carbonatos de magnésio ( $\text{MgCO}_3$ ), sendo que para expressar a predominância de um destes minerais a rocha é normalmente classificada como calcário calcítico ou dolomítico, respectivamente. Por outro lado, Arizzi e Cultrone (2013) afirmam que um agregado de calcário é mais fraco do que o de quartzo e mais facilmente danificado por cristalização de sal e agentes de contaminação, especialmente se a dolomita estiver presente. Os estudos realizados por esses autores estão alinhados aos resultados encontrados no desenvolvimento dessa pesquisa e foram utilizados como base para a avaliação a seguir.

Conforme apontado anteriormente, sabendo-se que algumas das amostras possuíam agregado artificial e que se acreditava que estes fossem oriundos da rocha calcário, a presença de óxido de cálcio em alta concentração era um resultado esperado. A análise de FRX realizada confirma este resultado ao se observar as concentrações de CaO obtidas para as amostras dos FAB1, FAB2 e FAB4. Em relação àquelas amostras que fazem uso de agregado natural, a concentração de óxido de cálcio variou significativamente, sendo obtidas concentrações mais que duas vezes maiores nas amostras com agregado artificial.

Outro fator observado que pode ser relacionado à presença de agregados artificiais de calcário é a perda ao fogo (LOI) das amostras. Prando e Halasz (2013) apontam que, no cimento, a maior parte da perda ao fogo refere-se ao dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e à água evaporada do gesso (gipsita) –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Mehta e Monteiro (2014) verificam que o calcário ao ser submetido ao tratamento térmico na faixa de 900 a 1000°C tem como produtos o CaO e  $\text{CO}_2$ . Desta maneira, sabendo que o material ensaiado possui cimento em sua composição, já se esperava que todas as amostras de argamassas apresentassem perda ao fogo. Porém, para as amostras com agregados de calcário, há uma grande contribuição deste na perda ao fogo da

amostra. O resultado da análise desta perda corrobora a constatação que se trata de agregados artificiais provenientes de calcário.

Mehta e Monteiro (2014) relatam que vários aluminatos de cálcio hidráulicos podem ocorrer no cimento Portland, sendo o aluminato tricálcico ( $C_3A \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3$ ) o principal deles. Os autores citam, ainda, que no cimento também há a presença de ferroaluminatos ( $C_4AF \rightarrow 4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ ) e que tanto os aluminatos de cálcio quanto os ferroaluminatos contêm quantidades significativas de magnésio, sódio, potássio e sílica em sua estrutura cristalina. Desta maneira, associando o estudo desses autores aos resultados dessa pesquisa, sugere-se que o  $Al_2O_3$  e o  $Fe_2O_3$  obtidos na análise de FRX indicam a presença de aluminatos e ferroaluminatos provenientes do cimento. Observa-se ainda que o  $MgO$ ,  $Na_2O$  e  $K_2O$  obtidos nas análises também tem origem na matriz cimentícia das argamassas.

Em relação ao  $MgO$ , que possui maior variação nas amostras analisadas, observa-se que aquelas que fazem uso do agregado artificial possuem maior concentração deste óxido. Desta maneira, pode-se constatar que se trata de agregado proveniente de rocha de calcário dolomítico. Conforme dito anteriormente, este tipo de calcário possui maior concentração de magnésio.

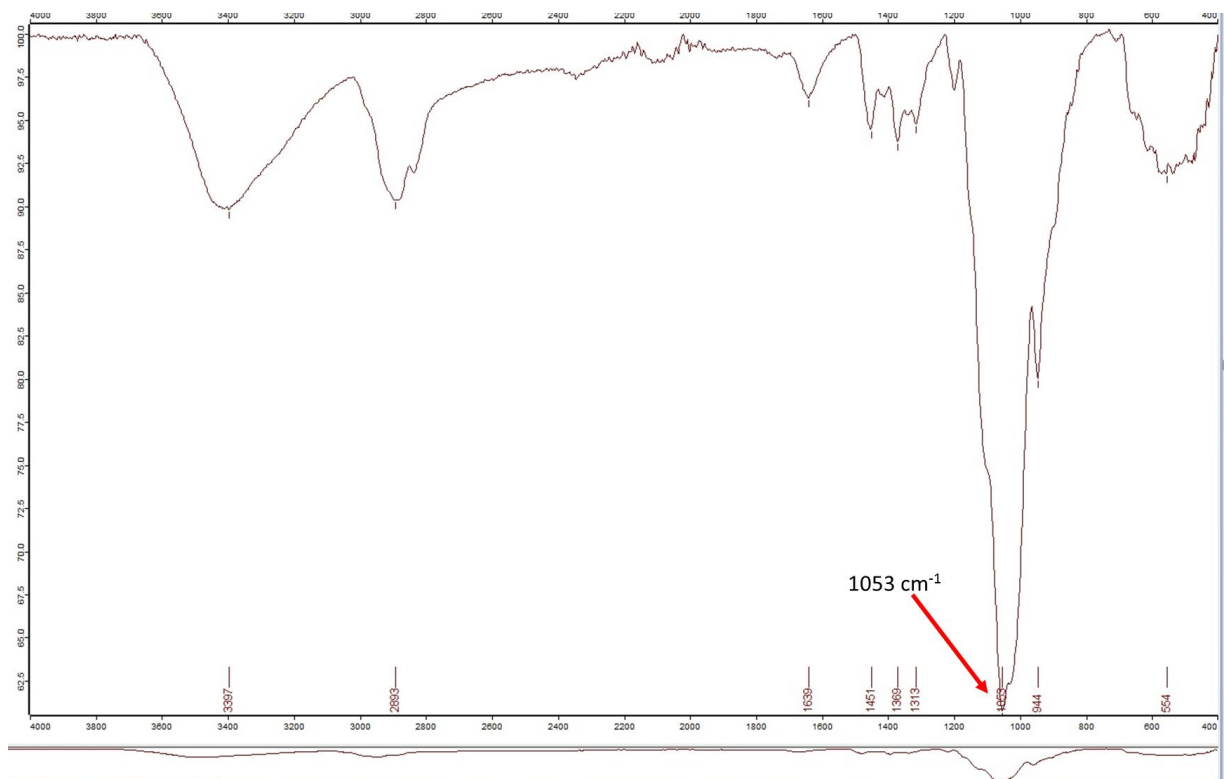
Outros importantes compostos presentes no cimento são os silicatos de cálcio, representados especialmente pelo silicato tricálcico ( $C_3S$ ) e o silicato dicálcico ( $C_2S$ ). Segundo Taylor (1997), o  $C_3S$  se trata de um composto rico em  $CaO$  e  $SiO_2$ , também possuindo pequenas quantidades de íons magnésio, ferro, potássio, sódio e enxofre. O autor ainda descreve que o silicato dicálcico possui pequenas concentrações de óxidos como  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $SO_3$ ,  $P_2O_5$ ,  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $Mn_2O_3$  e  $BaO$ . Dado o referido estudo e analisando os resultados obtidos na análise realizada, observa-se que estes compostos contribuem para a presença de diversos óxidos e do enxofre ( $SO_3$ ).

Os compostos alcalinos ( $Na_2O$  e  $K_2O$ ) presentes no clínquer do cimento também são fonte de óxidos de sódio e potássio. Mehta e Monteiro (2014) destacam que a quantidade total expressa como  $Na_2O$  equivalente ( $Na_2O + 0,64K_2O$ ) varia entre 0,3 a 1,5%. Em consonância ao estudo realizado por esses autores, a presente pesquisa também verificou que todas as amostras analisadas ficaram dentro deste intervalo, demonstrando que a fonte do  $Na_2O$  e  $K_2O$  obtidos na análise foi o cimento.

#### 4.1.2 Espectrometria de infravermelho

Outra técnica de análise utilizada foi a espectroscopia de infravermelho, tendo esta sido realizada a fim de se identificar o teor de celulose nas argamassas colantes analisadas. Para isto, num primeiro momento, foi analisado o aditivo retentor de água que resultou no espectro apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Espectro de Infravermelho – Aditivo celulósico

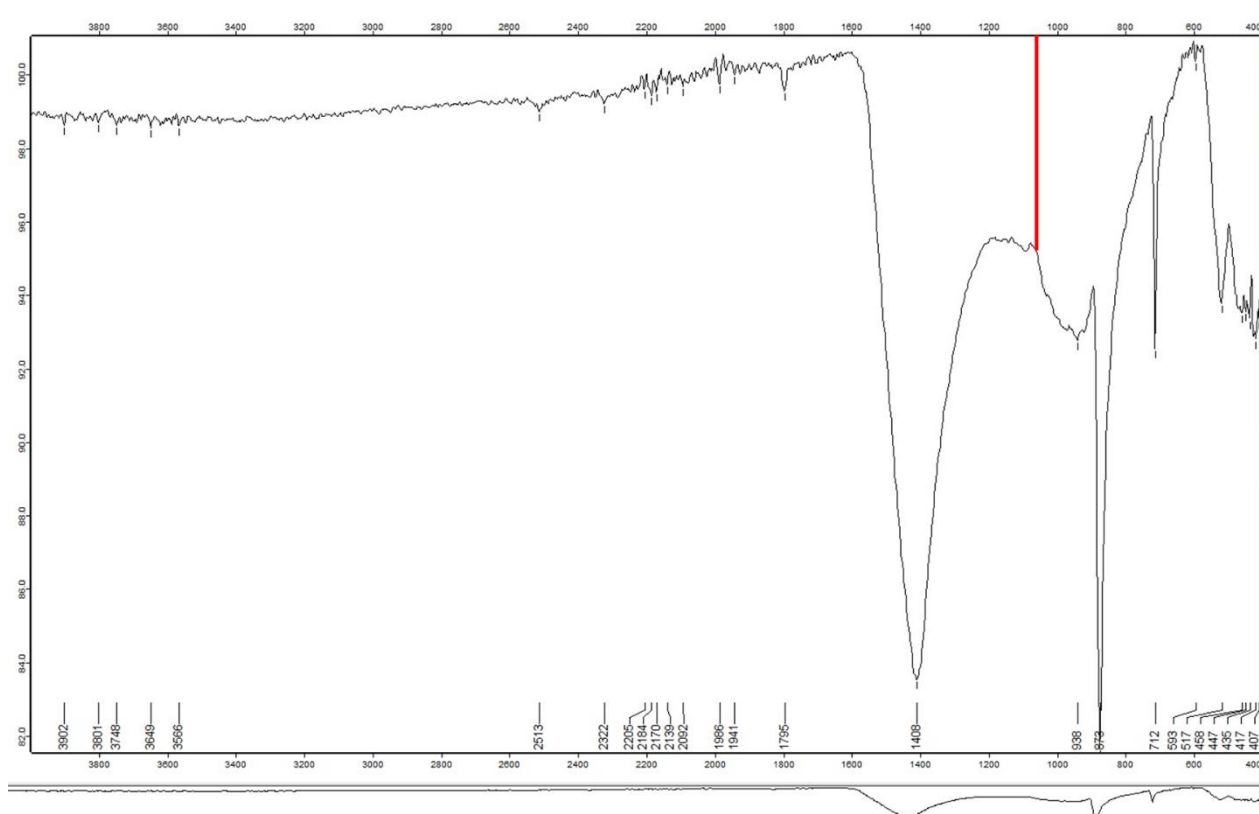


A Figura 12 permite observar a presença de uma forte absorção referente ao estiramento da ligação C-O que aparece em  $1053\text{ cm}^{-1}$ . Na região compreendida entre  $3600\text{ cm}^{-1}$  e  $2800\text{ cm}^{-1}$  ainda também é possível observa vales menos acentuados que surgem em virtude do estiramento da ligação C-H  $\text{sp}^3$ .

Devido à presença deste vale acentuado que surgiu em  $1053\text{ cm}^{-1}$ , na amostra de aditivo celulósico, procedeu-se para a análise das argamassas colantes. Considerando que se tratava de uma absorção acentuada pensou-se que este também poderia ser encontrado nas amostras de aditivo celulósico este mesmo vale.

A Figura 13 apresenta o espectro de infravermelho obtido ao se analisar a argamassa colante ACII do Fornecedor 2.

Figura 13 – Espectro de Infravermelho – Argamassa ACII - Fornecedor 2



Fonte: Autor (2019)

Conforme já mencionado anteriormente, em virtude da absorção encontrada na amostra de celulósico na frequência  $1053\text{ cm}^{-1}$ , era esperado que este vale também ficasse em destaque ao se analisar a amostra de argamassa. No entanto, conforme pode ser visto na Figura 13, o vale acentuado que deveria ser encontrado na região delimitada em vermelho não foi identificado na análise desta amostra.

Além da amostra FAB2.ACII supracitada, também foram realizadas análises de espectrometria no infravermelho para as argamassas FAB3.ACII e FAB3.ACIII. As Figura 14 e Figura 15 apresentam os espectros obtidos após análise destas amostras.

Figura 14 – Espectro de Infravermelho – Argamassa ACII - Fornecedor 3

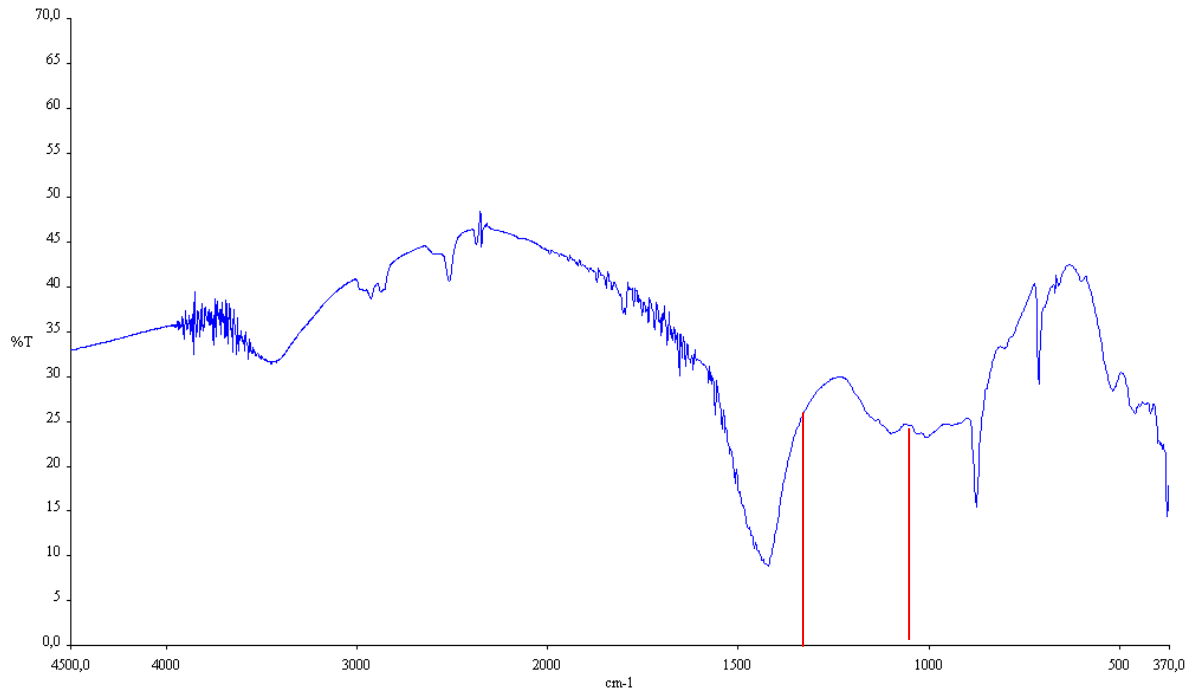
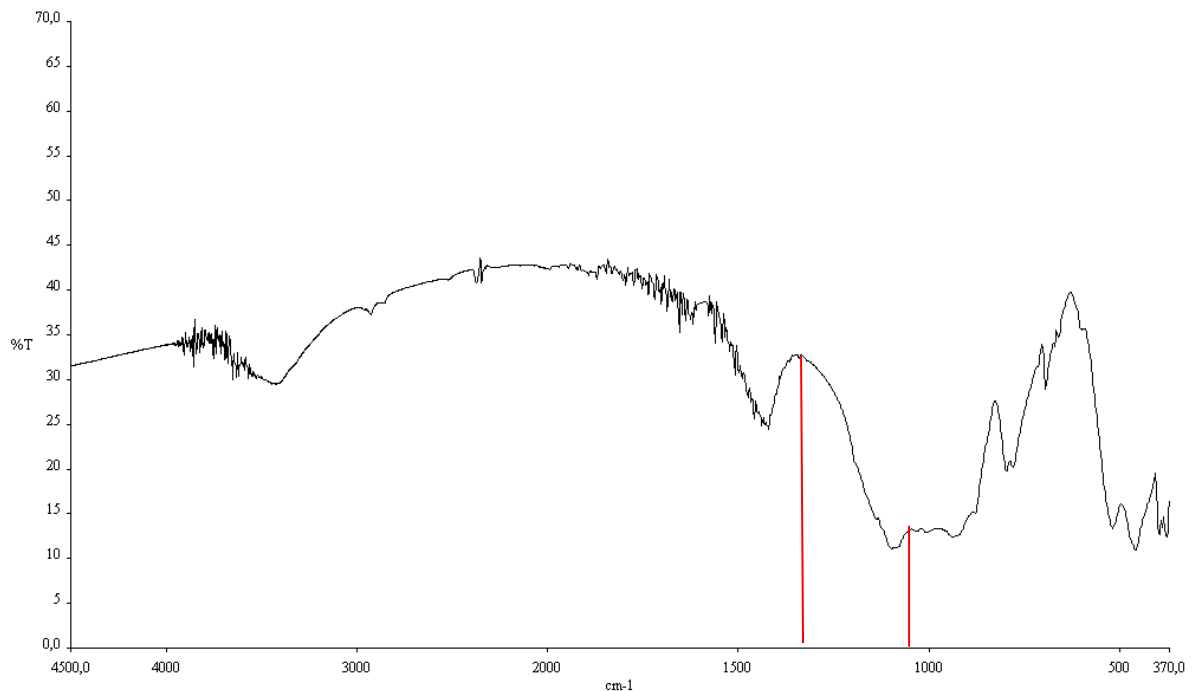


Figura 15 – Espectro de Infravermelho – Argamassa ACIII - Fornecedor 3



O mesmo comportamento observado para amostra FAB2.ACII se repetiu para ambas as amostras. Na Figura 14, que traz o espectro da argamassa FAB3.ACII, também não foi possível identificar a absorção referente ao estiramento da ligação C-O na frequência de 1053 cm<sup>-1</sup>. Na Figura 15, para a argamassa FAB3.ACIII essa identificação também não foi possível. O

espectro dos demais constituintes da argamassa colante, que estão em maior quantidade, gera vales de maior amplitude que impossibilitam que seja identificada a parcela referente à celulose.

Em virtude do exposto acima, entendeu-se que esta análise não possibilita que a identificação da parcela orgânica seja feita para as argamassas colantes, não sendo adequada para este tipo de material. Portanto, não se procedeu com a avaliação das demais amostras.



## 4.2 Caracterização física




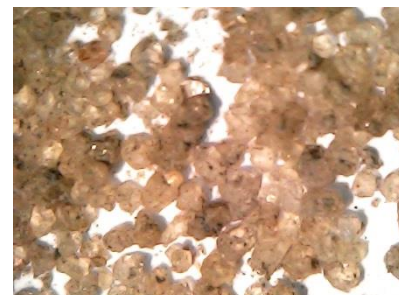


Para a caracterização física das argamassas objeto de estudo deste trabalho foram realizados o ensaio de granulometria por peneiramento e análise da forma e tipo de agregado com a utilização de microscópio óptico.

### 4.2.1 Morfologia dos grãos de agregados

A análise dos agregados retidos nas peneiras #300 e #150 através da utilização de microscópio óptico obteve as imagens apresentadas na Figura 16. Observa-se que o agregado encontrado nas amostras FAB3.ACII e FAB3.ACII se trata de areia natural e os demais areias são artificiais de britagem. As diferenças mais significativas estão na forma e textura superficial dos grãos. A rocha utilizada para produção do agregado artificial foi identificada por meio de análise de FRX, que foi tratada no item 4.1.

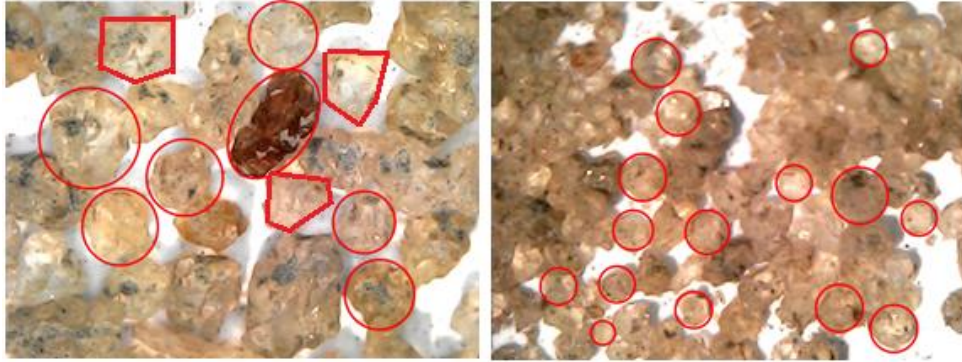
Figura 16 – Areias utilizadas nas argamassas

Amostra	Agregados	
Fab1		

Amostra	Agregados	
Fab2		
Fab3		
Fab4		

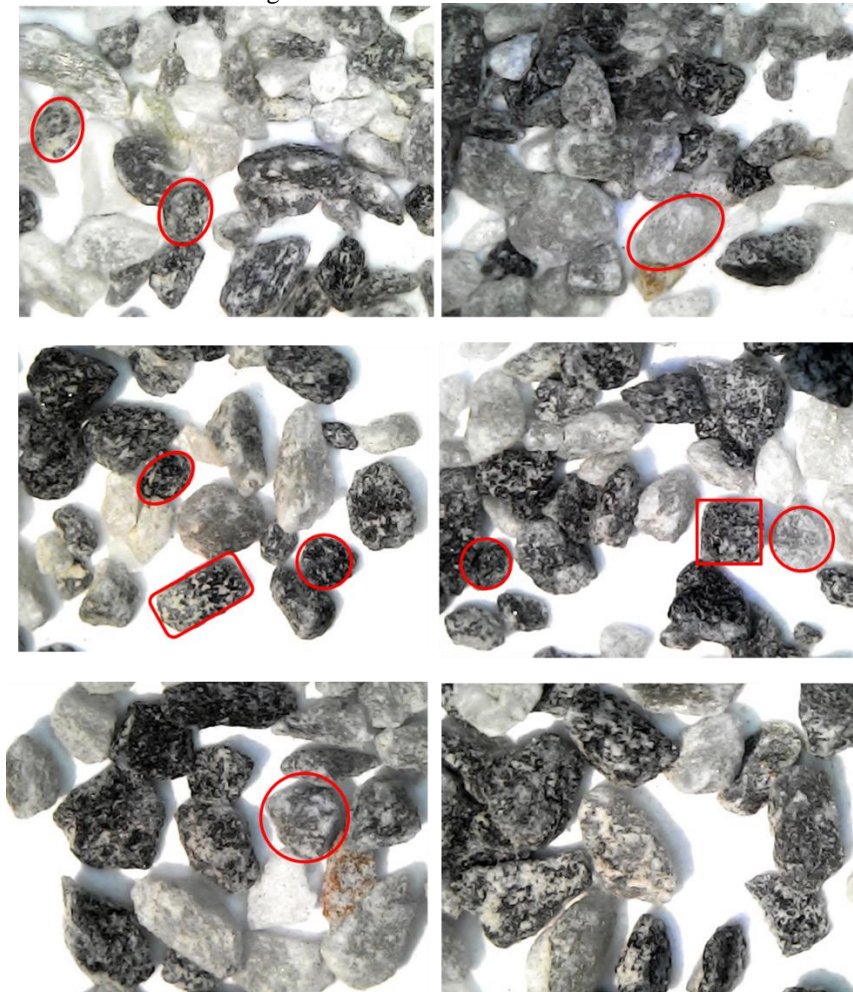
Analisando-se as imagens (Figura 16), verifica-se que as observações realizadas por Mehta e Monteiro (2014) corroboram os resultados encontrados na presente dissertação. Esses autores apontam que areias naturais, que são formadas por atrito, passam por um processo pelo qual ocorre a perda de vértices, o que leva a grãos mais arredondados. Em contrapartida, as areias de britagem geralmente possuem seus grãos mais angulosos. Desta forma, areias naturais tendem a possuir grãos mais esféricos e baixo teor de finos, ao contrário daquelas obtidas por meio de processos de cominuição de rochas, as artificiais, que possuem grão mais angulares e maior teor de finos. Os resultados encontrados no presente estudo, apresentados na Figura 17, em consonância ao estudo de outros autores exposto acima, permitem observar que a areia natural em estudo se trata de um material com grãos de aspecto majoritariamente esféricos, possuindo, também, alguns grãos com aspecto elíptico e em menor quantidade de aspecto angular. Em relação à textura dos grãos, estes se apresentam com aspecto de superfície lisa/polida.

Figura 17 – Grãos de areia natural



Em relação ao agregado artificial, observa-se na Figura 18 uma predominância de grãos angulares e alongados em todas as amostras analisadas. Em relação à textura do agregado, esta aparenta ser mais áspera que a observada para o agregado natural. Namshik (2000) complementa ao verificar que a forma dos agregados finos britados é frequentemente mais angular e com superfície mais áspera que a dos agregados de origem natural, corroborando as observações feitas para esta pesquisa.

Figura 18 – Grãos de areia artificial

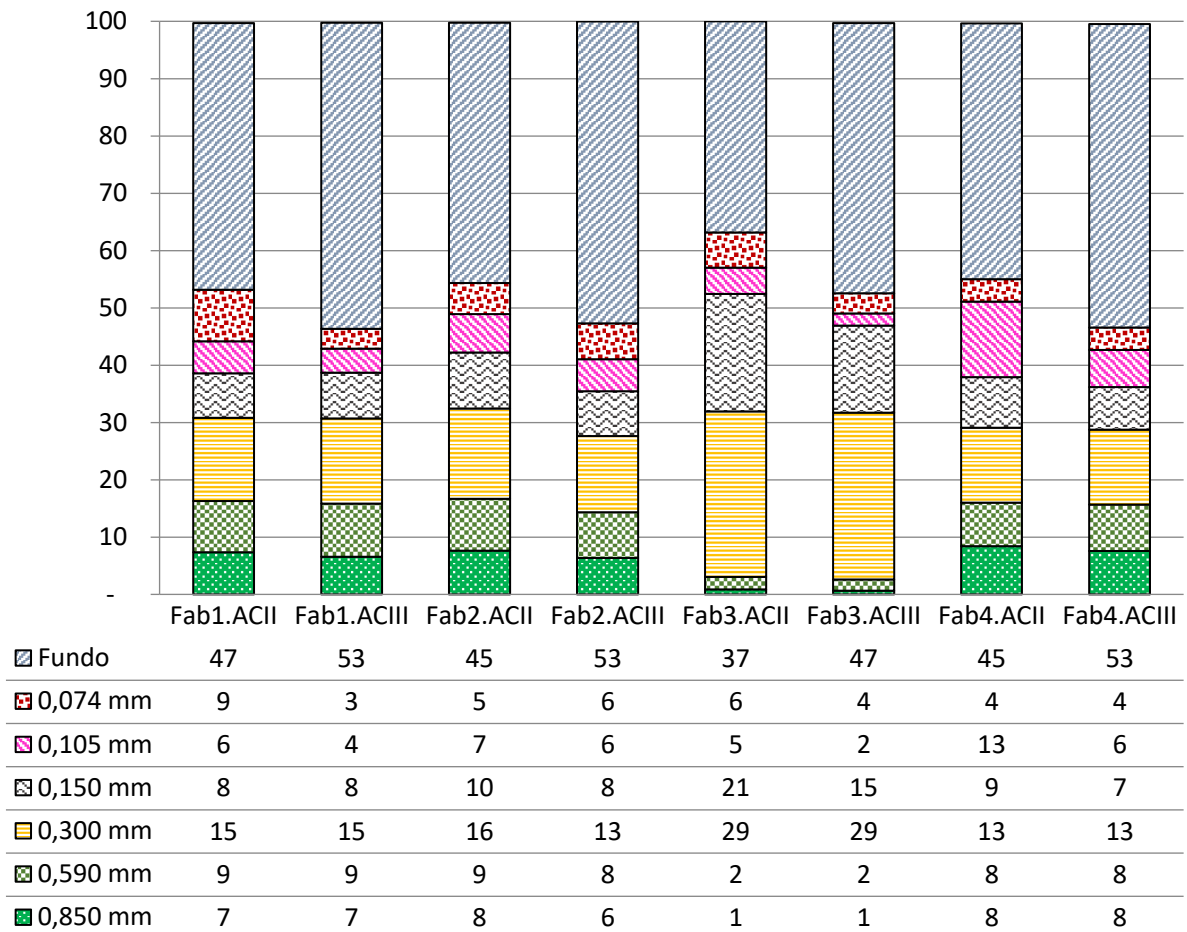




#### 4.2.2 Granulometria por peneiramento

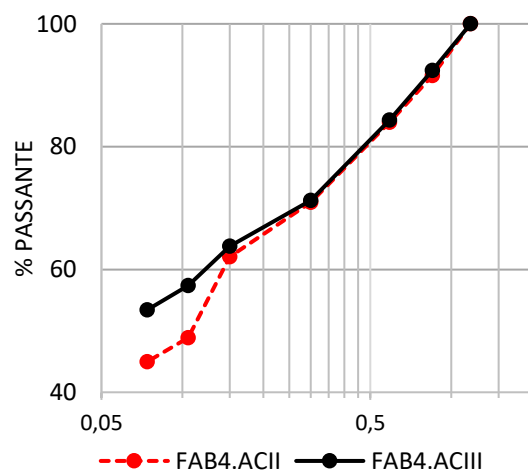
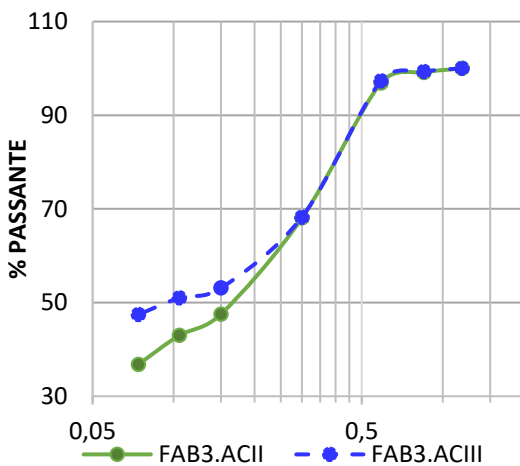
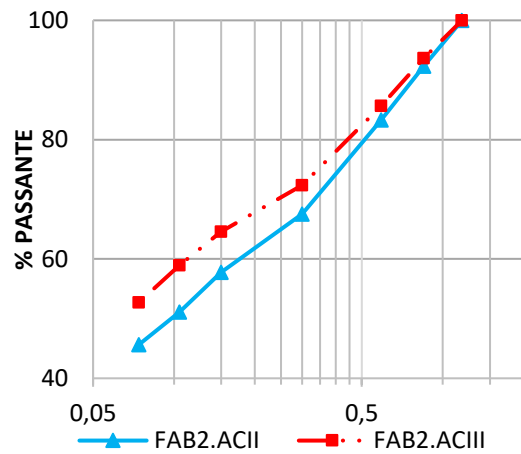
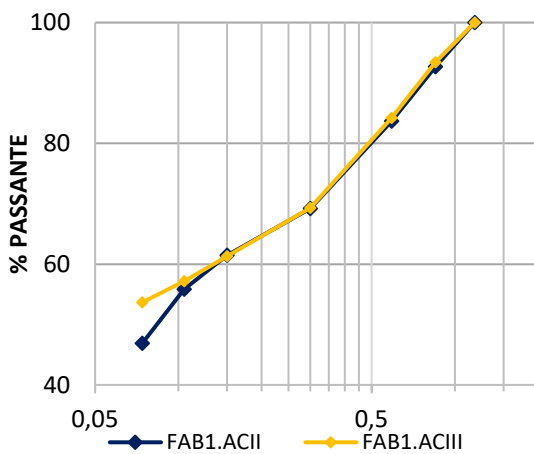
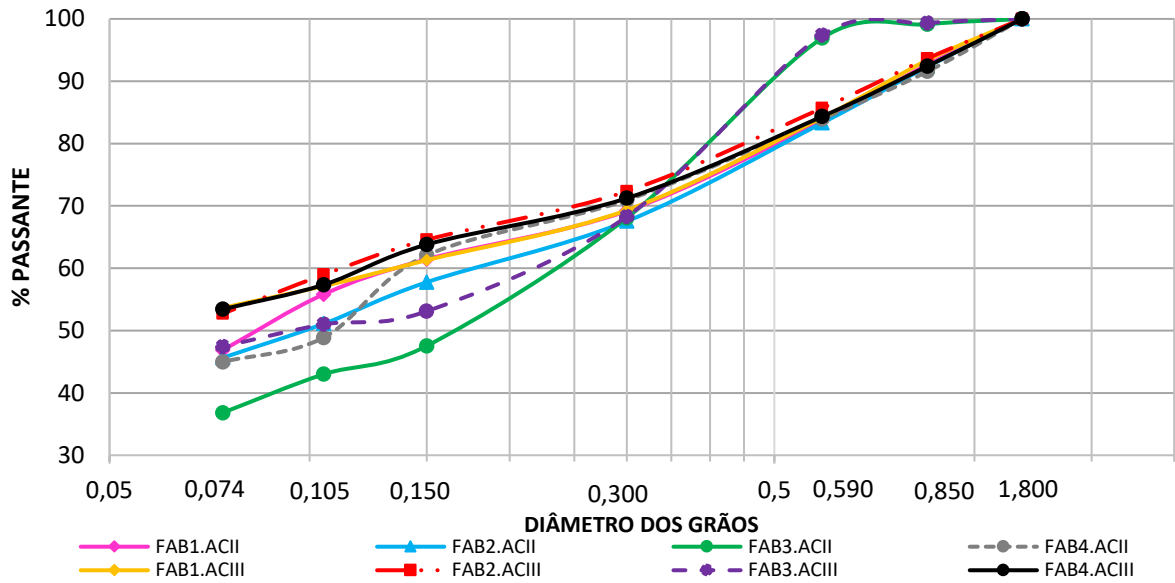
A distribuição granulométrica das amostras analisadas foi obtida por meio do ensaio de granulometria por peneiramento. O percentual retido por peneira é apresentado no Gráfico 4. Observa-se que o agregado das amostras FAB3.ACII e FAB3.ACII se trata de areia natural e os demais areias são artificiais de britagem.

Gráfico 4 – Percentual retido por peneira



No Gráfico 7 são apresentadas as curvas granulométricas obtidas para cada amostra. Verifica-se que todas as curvas demonstram aspecto uma granulometria contínua, nas quais não se observa nenhum patamar na horizontal e que formam um desenho suave e alongado na horizontal. Isso, segundo Kwan e Fung (2009) pode indicar um sistema bem empacotado, no qual os vazios entre os grãos de mesmo tamanho são preenchidos por grãos menores, reduzindo, assim, a porosidade.

Gráfico 5 – Curva Granulométrica das Argamassas



Ao se analisar as curvas granulométricas das argamassas, agrupando-as por fabricante, observou-se uma tendência de distribuições granulométricas similares para ambos os tipos II e III para um mesmo fabricante. A variação que pôde ser observada está nas frações mais finas

das amostras, sendo que as argamassas tipo III possuem mais finos, devido ao seu maior teor de cimento (ver Tabela 8).

No Gráfico 7, também se observa que o material retido no fundo (finos) aparece em maior proporção nas amostras que fazem uso de areia artificial. Estes resultados corroboram o que já havia sido observado por outros autores como Gonçalves et al (2007), os quais apontam que o processo de obtenção do agregado artificial exerce influência na granulometria gerando mais finos.

### 4.3 Caracterização da argamassa no estado fresco

A consistência das argamassas foi verificada em duas etapas. Ao se realizar o primeiro ensaio, utilizando-se a *flow table*, verificou-se valores de consistência muito baixos, principalmente para a ACIII, que se esperava índices de consistência na ordem de 300mm. Dessa forma, decidiu-se refazer os ensaios para fim de confirmação dos valores. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos para ambos os ensaios realizados, podendo-se observar nessa o índice de consistência e a relação água/material seco utilizado na mistura. Conforme NBR 13.276 (ABNT, 2016), o cálculo deste índice foi obtido por meio da média das três medidas de diâmetro, expressa em milímetros e arredondada ao número inteiro mais próximo. O índice de consistência adotado no trabalho foi a média dos resultados obtidos nas duas avaliações realizadas.

Tabela 7 – Ensaio de Consistência das Argamassas

Amostra	ENSAIO 01		ENSAIO 02		Índice de consistência (mm) - Média
	Relação água/material seco	Índice de consistência (mm)	Relação água/material seco	Índice de consistência (mm)	
FAB1.ACII	0,2600	273	0,2600	291	282
FAB1.ACIII	0,2600	225	0,2597	243	234
FAB2.ACII	0,2600	297	0,2600	247	272
FAB2.ACIII	0,2600	204	0,2603	210	207
FAB3.ACII	0,2597	310	0,2597	217	264
FAB3.ACIII	0,2600	214	0,2597	202	208
FAB4.ACII	0,2598	267	0,2603	179	223
FAB4.ACIII	0,2599	264	0,2600	171	218

Os resultados obtidos para o índice de consistência das argamassas ACII, permitem organizar as amostras, em função do resultado obtido, na seguinte ordenação decrescente: FAB1.ACII > FAB2.ACII > FAB3.ACII > FAB4.ACII. As amostras ACIII, por sua vez, podem ser ordenadas da seguinte maneira: FAB1.ACIII > FAB4.ACIII > FAB3.ACIII > FAB2.ACIII.

As amostras dos fabricantes FAB1, FAB2 e FAB4, que possuem agregados artificiais, foram as que apresentaram mais material retido no fundo, conforme pôde ser observado na distribuição granulométrica das argamassas. Esse tipo de agregado também possui formato anguloso, conforme visto no item 4.2.1. Conforme apresentado no item 2.2.2, as partículas angulosas, por possuírem maior área superficial, exigem uma maior quantidade de água para atingir uma dada consistência. Somado a isso, tem-se que uma maior quantidade de finos promove maior consumo de água de amassamento e aumentam a viscosidade da argamassa, em virtude do aumento da área superficial. Dessa forma, considerando morfologia e teor de finos, esperava-se que as amostras dos fornecedores FAB1, FAB2 e FAB4 possuísem menor índice de consistência. Todavia, não foi observado esse comportamento na presente pesquisa. As amostras FAB1.ACII e FAB2.ACII, que fazem uso de agregado artificial e tem maior teor de finos, obtiveram os maiores valores de consistência. Ademais, mesmo sendo um valor superior ao obtido pela FAB3.ACII, ainda não se tratou de uma grande variação. Dentre as amostras ACIII, as amostras FAB1.ACIII e FAB4.ACIII, obtiveram os melhores resultados. Não houve variação significativa do resultado encontrado para as amostras FAB3.ACIII e FAB2.ACIII.

Embora a granulometria seja um fator influente para o índice de consistência segundo diversos autores (ver item 2.2.2), os resultados obtidos não permitiram correlacionar essa característica das amostras aos índices de consistência obtidos. Um fator que deve ser observado é que se fixou uma quantidade de água a ser adicionada às misturas, que foi de 26% de água em relação à massa de material seco. Esse valor segue a recomendação do fabricante, conforme apontado no item 3.2.6. Costa (2006) observou que a distribuição granulométrica indica as variações dimensionais e quantitativas das partículas que compõem a mistura. Em se tratando de argamassas, considera-se que as frações finas são representadas majoritariamente pelo cimento, e a fração graúda, representada pela areia. Quando se possui uma mistura com elevado teor de finos, obtém-se um empacotamento denso, mas que acarreta num acréscimo da área superficial e, conseqüentemente, numa necessidade de um fator água/material seco mais elevado para recobrir as partículas, o que diminui a água livre para afastamento entre grãos, resultando numa maior viscosidade. Para justificar os valores baixos de índice de consistência obtidos, levanta-se a hipótese que a quantidade de água adicionada, embora dentro do limite sugerido pelo fornecedor, não foi suficiente para garantir a consistência adequada à mistura. Assim, sugere-se que se repita o ensaio ficando mais próximo ao limite superior estabelecido pelo fabricante (~30%). Adicionalmente, autores como Costa (2006) e Pillegi (1996), apontam que não é indicado um aumento excessivo da área superficial do sistema nas argamassas e isto pode ser

resolvido ao se adicionar partículas maiores, que resultarão numa maior fluidez (COSTA, 2006; PILLEGI, 1996).

Em relação ao tipo de argamassa, observa-se uma variação no índice de consistência obtido para as argamassas tipo II e tipo III, tendo sido verificados valores inferiores para aquelas do tipo III. Uma justificativa para comportamento pode ser encontrada no estudo realizado por Jenni (2004), Baoguo (2010) e Kudo (2012). Segundo esses autores, argamassas com maior quantidade de aditivos químicos como éteres de celulose e polímeros são mais viscosas. Através de estudo de Vitorino (2013), expressos na Tabela 8, é possível verificar a variação no teor de aditivos utilizados nas argamassas colantes tipo II e tipo III. Observa-se que há uma maior concentração de aditivos nas argamassas colantes tipo III, o que leva a misturas mais viscosas.

Tabela 8 – Exemplo de composição de argamassas colantes

Matérias Primas	Tipos de Argamassas Colantes	
	ACII	ACIII
<b>Cimento</b>	23,00%	28,00%
<b>Areia Fina</b>	75,77%	69,92%
<b>Aditivo Celulósico</b>	0,23%	0,28%
<b>Aditivo Polimérico</b>	1,00%	1,80%

Fonte: Vitorino (2013)

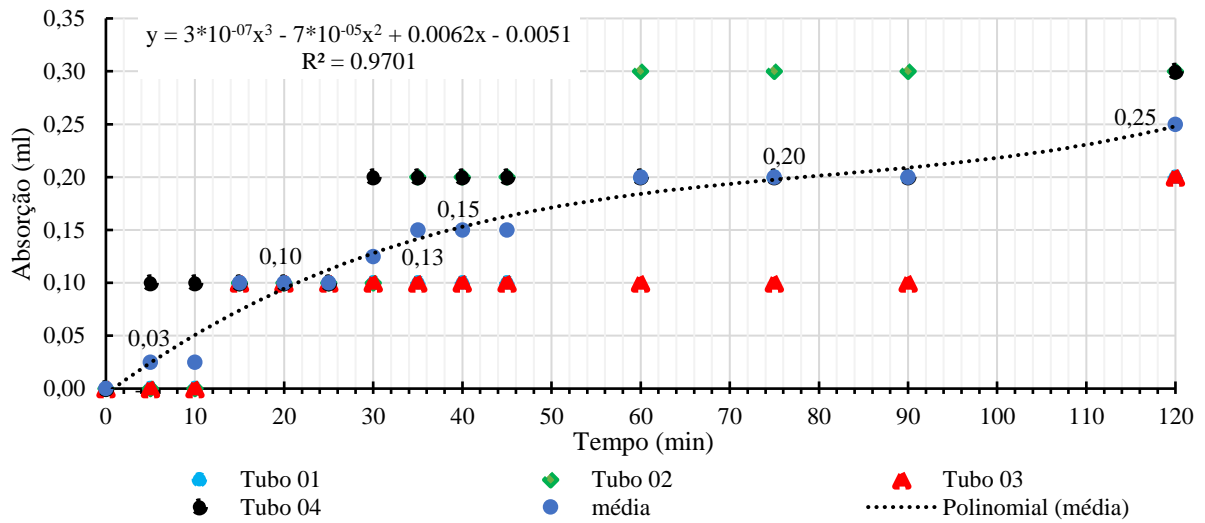
Desta maneira, os resultados obtidos no presente estudo corroboram as constatações dos autores supracitados em relação à viscosidade para as amostras do tipo III. Conforme esperado foram obtidos índices de consistência inferiores aos encontrados para as argamassas ACII.

#### 4.4 Caracterização do substrato

##### 4.4.1 Absorção de água

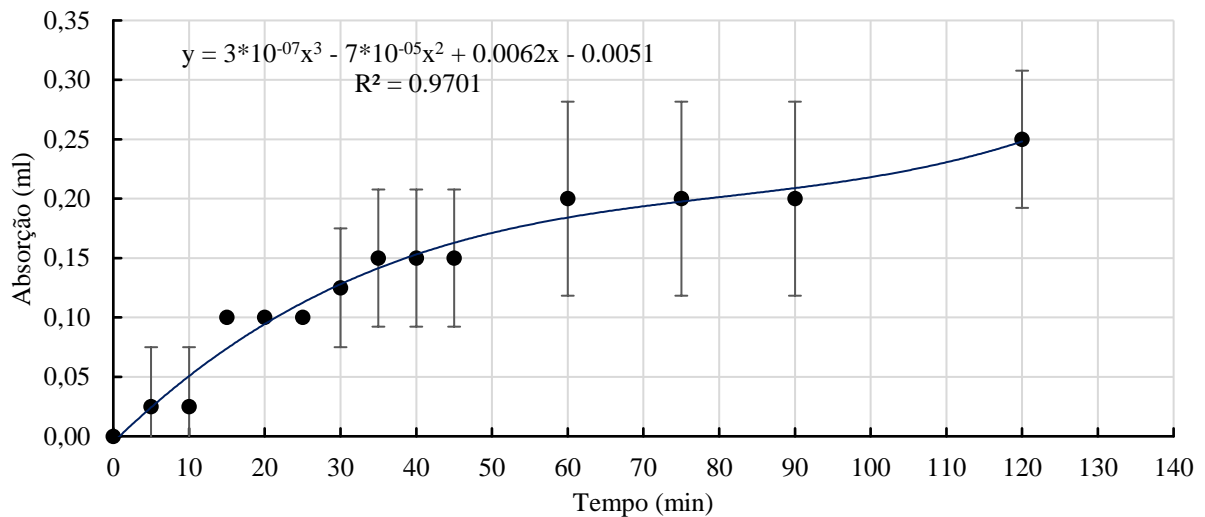
Os resultados obtidos serão apresentados em forma de gráfico de absorção de água, com o volume de água absorvida, em milímetros, em função do tempo, em minutos. Estes podem ser verificados no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Absorção de água – Parede de Concreto



Considerando o desvio padrão, os resultados obtidos permitem observar que os valores de absorção obtidos para os tempos de 40 a 120min são equivalentes, conforme apresentado no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Absorção de água – Parede de Concreto – Desvio Padrão



Por meio da Equação 1, apresentada no item 3.2.7, pode-se concluir que os resultados obtidos para o coeficiente de absorção para cada um dos pontos apresentados na Figura 8, em  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ , é:

$$C_{\text{absorção}, 1} = 0,27$$

$$C_{\text{absorção}, 2} = 0,40$$

$$C_{\text{absorção}, 3} = 0,27$$

$$C_{\text{absorção}, 4} = 0,40$$

Desta maneira, por médio da média aritmética dos valores obtidos acima, assume-se que o coeficiente de absorção da Parede de Concreto ( $C_{\text{absorção,PC}}$ ) é de  $0,33 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$

#### 4.4.2 Rugosidade superficial da parede de concreto

A Figura 19 apresenta os gráficos obtidos ao se analisar as amostras retiradas da parede de concreto no perfilômetro óptico. Nestas imagens a escala de cor utilizada para representar a topografia das amostras varia do vermelho (ponto mais alto) ao azul (ponto mais baixo). Observa-se, ainda, que nos gráficos à esquerda, os espaços em preto são os poros superficiais da parede de concreto. Estes poros também são observados nos gráficos de rugosidade oblíqua (*roughness oblique plot*), à direita, no quais os poros aparecem com aspecto tridimensional, cuja profundidade se dá por meio de uma série de linhas cinzas ao longo de sua borda.

O equipamento utilizado para a realização da análise, Zygo NewView 7300, fornece os valores de rugosidade média para cada superfície analisada. Estes são apresentados nas Equações 2 a 4:

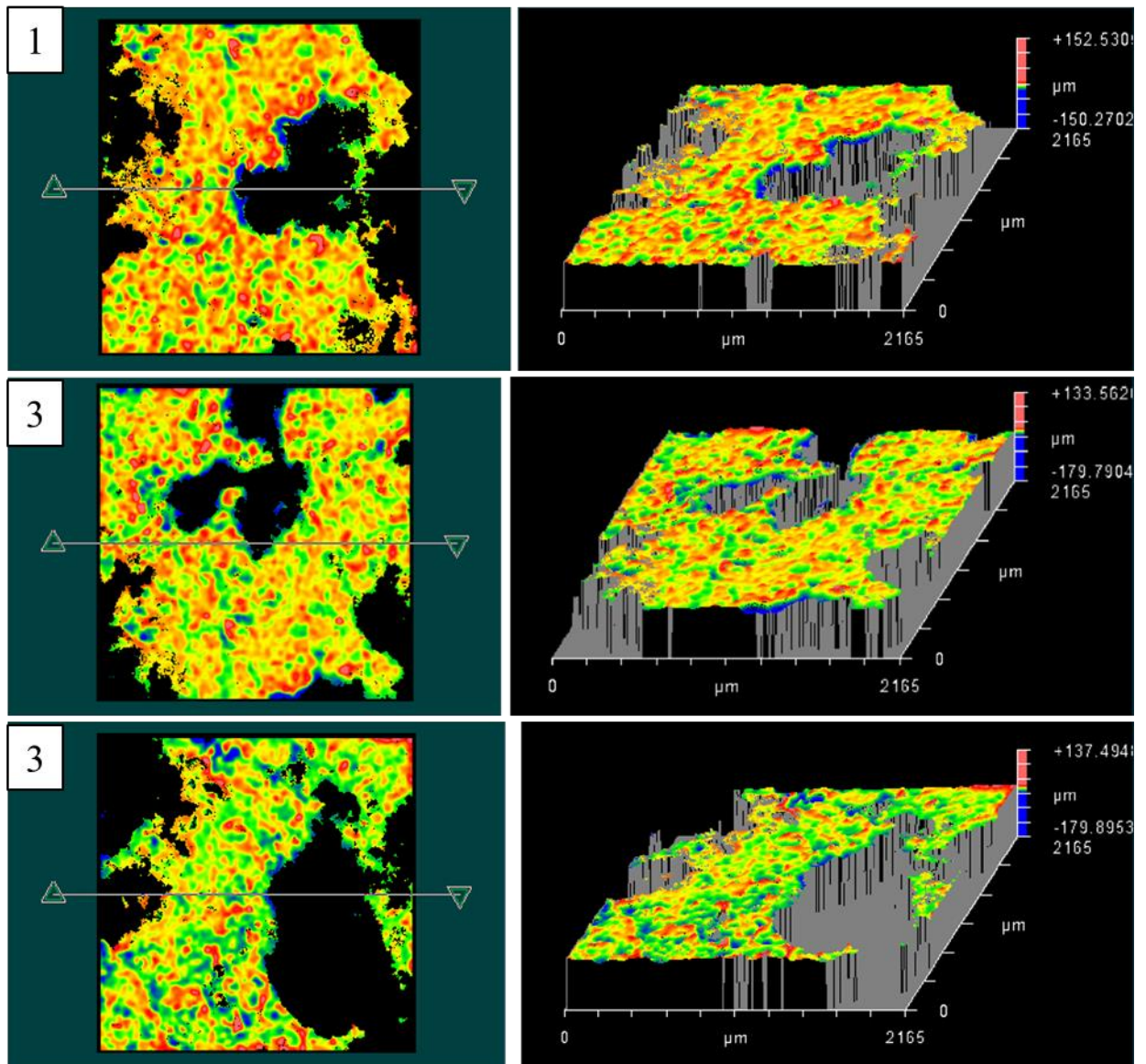
$$(a) R_{a, (a)} = 3,548\mu\text{m} \quad (\text{Equação 2})$$

$$(b) R_{a, (b)} = 3,800\mu\text{m} \quad (\text{Equação 3})$$

$$(c) R_{a, (c)} = 3,750\mu\text{m} \quad (\text{Equação 4})$$

Dados os resultados acima, a rugosidade média do substrato, dadas as diferentes amostras da superfície que foram analisadas, é  $R_{a\text{médio}} = 3,699 \mu\text{m}$ .

Figura 19 - Rugosidade Superficial da Parede de Concreto



Conforme já mencionado anteriormente, a parede de concreto utilizada como substrato para este trabalho foi previamente preparada, sendo limpa com escova de náilon umedecida. A moldagem *in loco* destas paredes é feita com a utilização de fôrmas de alumínio. A rugosidade de uma superfície é causada pelos sulcos ou marcas deixadas pelo agente que a atacou no método empregado para sua obtenção. Para o concreto, as irregularidades na superfície são causadas pela fôrma, vibração e conseqüente migração das bolhas para a superfície (PRETTO, 2007). A fim de se possuir um parâmetro de comparação para o resultado de rugosidade superficial obtido, é apresentada a Tabela 9. Nesta constam os resultados obtidos por um estudo realizado por Oliveira (2020), também para o substrato “parede de concreto” e que foi analisado pelo mesmo método. O substrato utilizado neste estudo passou por diferentes tipos de preparação, os quais também constam na Tabela 9.



Tabela 9 – Rugosidade média das superfícies por método de preparação da base

Rugosidade Média ( $\mu\text{m}$ )	Tratamentos Superficiais			
	EMDH	LMH	H	ST
Ra <sub>1</sub>	4,980	4,232	2,416	1,512
Ra <sub>2</sub>	4,938	4,993	2,881	1,463
Ra <sub>3</sub>	4,298	5,529	3,339	1,328
Ra <sub>4</sub>	5,610	5,943	3,461	1,644
Média	4,957	5,174	3,024	1,487

EMDH: Escovada manualmente e lavada com detergente e hidrojateamento

LMH: Lixada mecanicamente e lavada com hidrojateamento

H: Lavada com hidrojateamento

ST: Sem tratamento

Fonte: Oliveira (2020)

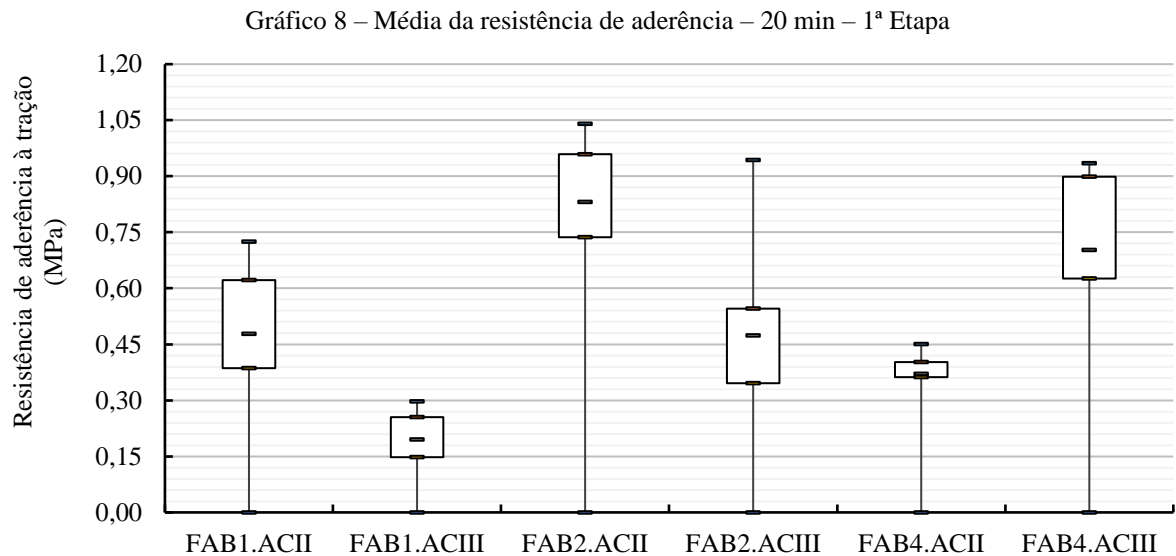
Ao se comparar os resultados obtidos por Oliveira (2020) com os da presente dissertação, verifica-se que o valor de rugosidade encontrado está próximo do valor obtido para a superfície H.

#### 4.5 Análise da aderência à tração

Nos itens a seguir serão apresentados os resultados e interpretações das análises de aderência realizadas no presente trabalho para as duas etapas de avaliação desta propriedade, conforme apontado no item 3.2.3.

##### 4.5.1 Resistência de aderência à tração – 1ª Etapa

Os resultados obtidos na primeira etapa da análise da aderência são apresentados no Gráfico 8.



Esperava-se que as argamassas do tipo III obtivessem valores de resistência de aderência superiores aos encontrados para as argamassas do tipo II. Conforme pontuado no item 2.4 os aditivos adicionados às argamassas do tipo III conferem à mesma um maior poder de adesão em função do incremento da aderência química e, também, em função do maior teor de cimento que age favoravelmente em relação à aderência mecânica. Todavia, conforme pôde ser observado no Gráfico 8, para os FAB1 e FAB2 houve uma inversão e as argamassas tipo ACII obtiveram maiores valores médios de resistência de aderência à tração.

Para se prevenir a perda de água das argamassas colantes quando no estado fresco, utiliza-se aditivos celulósicos, retentores de água, como tratado no item 2.2.2. Petit e Wirquin (2013) observaram que uma fina película de celulose se forma após cerca de 5 min de abertura do pano e previne a perda de água por evaporação, o que ocorre devido à migração do aditivo para as camadas externas do cordão de argamassa. Com o passar do tempo, também ocorre um aumento da quantidade de água migrando do centro dos cordões em direção ao exterior que dissolve parcialmente o filme inicial e, eventualmente, evapora. Porém, à medida que se tem esta maior migração de água do interior da argamassa, o fluxo dessa também transporta mais éteres de celulose para a superfície, aumentando sua concentração ao longo do tempo, o que resulta num filme mais sólido. Desta forma, este filme mais espesso não irá mais se dissolver. A desvantagem deste processo é que esta película mais espessa também pode reduzir as propriedades adesivas da argamassa com a interface da cerâmica com o tempo pois a alta concentração residual de éter de celulose na solução dos poros não permite o rompimento dos cordões de argamassa durante o assentamento.

Desta forma, ao se verificar um valor médio de tensão de ruptura por tração para as argamassas ACII dos FAB1 e FAB2 superiores à tensão de ruptura das amostras de argamassa

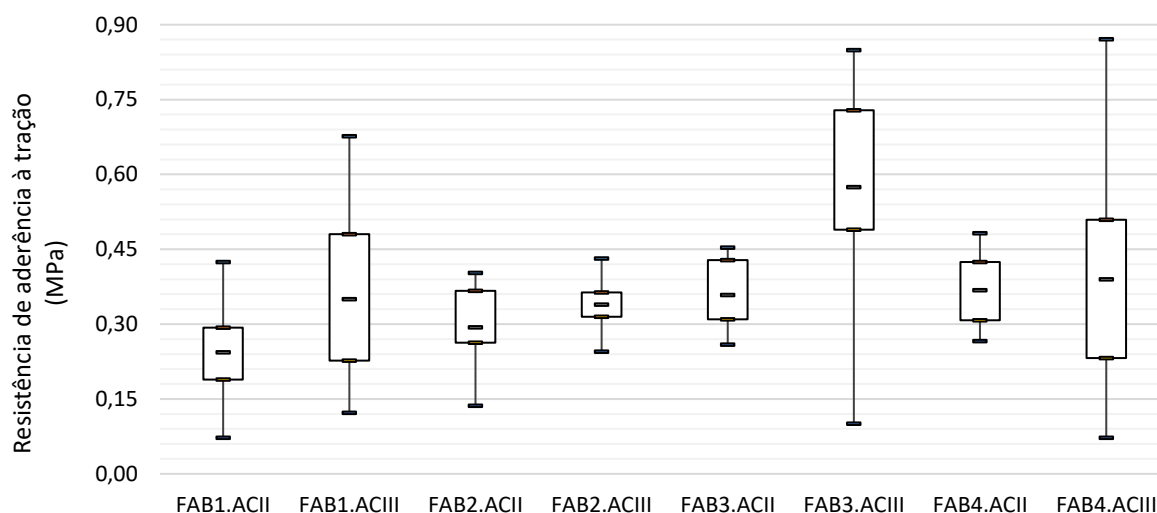
tipo III, e sabendo que o assentamento foi realizado após de 20 min de abertura do pano, pode-se levantar a hipótese de que esse comportamento foi resultado da formação de uma película mais espessa para a argamassa tipo III, que levou a uma redução da aderência.

Em virtude dos resultados obtidos neste ensaio de avaliação do tempo em aberto das argamassas colantes em obra se resolveu adicionar mais um fornecedor, ou seja, mais uma amostra de ACII e uma de ACIII, na segunda etapa de ensaios para análise da aderência apresentada no item 4.5.2. A caracterização das argamassas contemplou estas novas amostras.

#### 4.5.2 Influência do tempo em aberto na resistência de aderência à tração

Na segunda etapa de análise da aderência, os corpos de prova cerâmicos foram moldados variando-se o tempo de assentamento em função do tempo de abertura do pano de argamassa colante. Para o assentamento imediatamente após a abertura dos panos, os resultados da são apresentadas no Gráfico 9.

Gráfico 9 – Resistências médias de aderência à tração – 0 min



Para a argamassa colante tipo II, observa-se que as amostras FAB1.ACII e FAB2.ACII obtiveram uma resistência média inferior à mínima estabelecida pela NBR 13.754 (ABNT, 1996), que é de 0,30 MPa. Já para a argamassa tipo III todas obtiveram médias superiores a este valor. Para as amostras ACII, aquela que apresentou o melhor desempenho em relação à média de resistência de aderência foi a FAB4.ACII, seguida pela FAB3.ACII. Estas amostras apresentaram valores praticamente iguais para esta propriedade ( $\Delta \leq 0,01\%$ ). Para as amostras ACIII o melhor desempenho também foi verificado para estes fabricantes, tendo a FAB3.ACIII apresentado uma média significativamente superior à FAB4.ACIII.

Em relação à granulometria as amostras obtiveram os melhores resultados em relação à aderência são as que possuem o menor teor de finos. Ao se comparar as médias obtidas para resistência de aderência à tração com os índices de consistência, Tabela 7, não foi possível estabelecer uma relação entre os resultados, o que pode indicar que o método de avaliação da consistência através do *flow table test* não é o mais indicado para argamassas colantes.

A NBR 13.528 (ABNT, 2019) refere-se à aderência como uma propriedade resultante da interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento, devendo ser considerada a base, o preparo desta e o revestimento. Desta forma, ao se analisar o substrato, conforme apresentado no item 4.4, verificou-se que a parede de concreto moldada *in loco* é um substrato pouco poroso. Esta pouca porosidade resulta em redução da absorção, o que dificulta a penetração da pasta de cimento nos poros da base, ou seja, a ancoragem ao substrato, prejudicando a aderência (BREA, 2003). Aliado a isto, quando há a presença de excesso de material fino, estes grãos podem penetrar no interior de poros do substrato, tomando o lugar de produtos de hidratação do cimento que se formariam nesta interface e permitiriam a ancoragem da argamassa à base (CARASEK 1996; FERREIRA, 2010). Corroborando os resultados obtidos por esses autores, na presente dissertação também se verificou que as argamassas colantes com maior teor de finos tiveram um pior desempenho em relação à resistência de aderência.

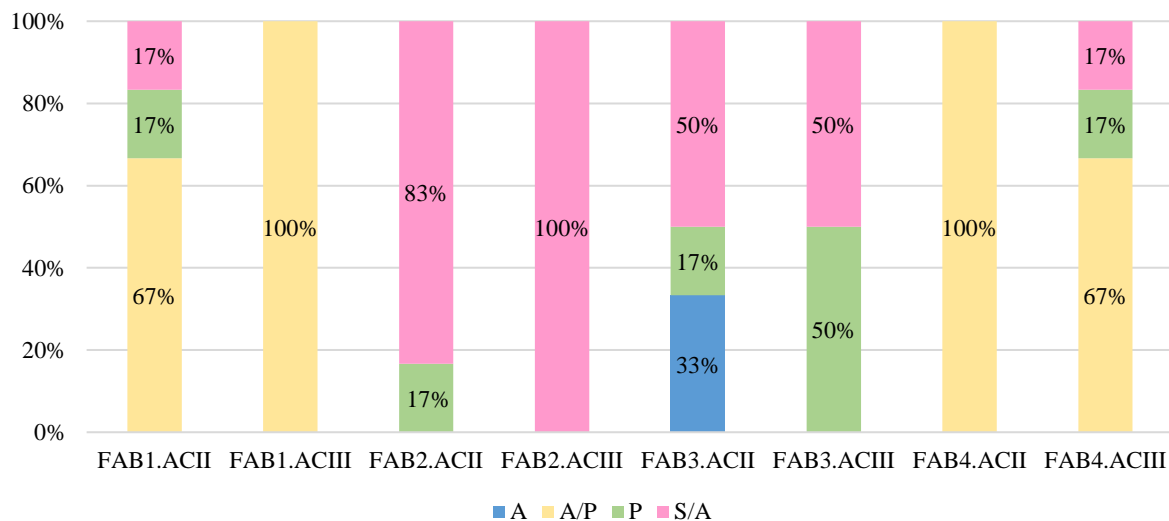
Em relação à resistência média de aderência a tração alcançada nos ensaios, esta encontra-se próxima a valores identificados por outros autores. Oliveira et al. (2019), em seu estudo sobre influência do preparo do substrato parede de concreto moldada *in loco* na aderência do revestimento cerâmico observou que, em média, quando não há tratamento superficial, a resistência média alcançada foi de 0,31MPa ao se utilizar argamassa colante tipo II. Neves *et al.*, (2019) similarmente, verificaram uma resistência média de aderência à tração de 0,43 MPa para revestimento aplicado sobre parede de concreto, sem tratamento superficial e utilizando argamassas tipo II e tipo III (médias encontradas foram coincidentes).

Oliveira (2020), em outro estudo sobre a influência do preparo da base da resistência de aderência, realizado para sua dissertação de mestrado, identificou um valor médio de 0,30MPa para superfícies sem tratamento e de 0,50 para aquelas lavadas com hidrojateamento, ao se fazer uso de argamassa tipo ACII. Já para argamassa tipo ACIII, os valores médios obtidos foram 0,60MPa e 0,72MPa, respectivamente. Observa-se que foi utilizada argamassa do FAB2. Ao se comparar os valores encontrados pela autora citada com os obtidos no presente estudo e, sabendo que o tipo de tratamento daquela que mais se assemelharia ao realizado nessa

dissertação é o “sem tratamento”, os valores obtidos por Oliveira (2020) são iguais para a ACII e superiores, para a ACIII.

Ao se avaliar as interfaces de ruptura<sup>1</sup> identificadas durante a realização dos ensaios, verificou-se o comportamento apresentado no Gráfico 10. Para o FAB1, a ruptura ocorreu majoritariamente na interface A/P. Já para o FAB2, a ruptura se deu principalmente na interface S/A. O FAB3 apresenta uma tendência de rupturas nas interfaces S/A e P. Para as amostras do FAB4, observaram-se rupturas na interface A/P majoritariamente. O FAB3 é a única que faz uso de areia natural e das amostras estudadas é a que possui o menor teor de finos. Em especial para a FAB3.ACIII, a ruptura na placa cerâmica e o fato de ter a maior resistência média à tração indica que as características dessa argamassa são as que melhor garantiram boa aderência ao substrato “parede de concreto”.

Gráfico 10 – Interfaces de ruptura - 0 min



Almeida (2005) verificou que em substratos pouco porosos há uma tendência de acúmulo de água na interface placa cerâmica/argamassa colante, resultando numa região com alta relação a/c e, portanto, com maior porosidade e menor resistência mecânica. Este fenômeno, ainda segundo a autora, é semelhante ao efeito parede encontrado na interface entre agregados e pasta de cimento. Além disto, a baixa absorção do substrato dificulta a penetração da pasta de cimento, e conseqüentemente da precipitação de produtos da hidratação do cimento nos poros do substrato que promovem a ancoragem, prejudicando a aderência da argamassa à base. No presente estudo, em consonância com o estudado pela autora supracitada, a maioria

<sup>1</sup> S/A ruptura na interface argamassa colante/substrato

A ruptura da camada de argamassa colante

A/P ruptura na interface argamassa colante/placa cerâmica

P ruptura no interior da placa cerâmica

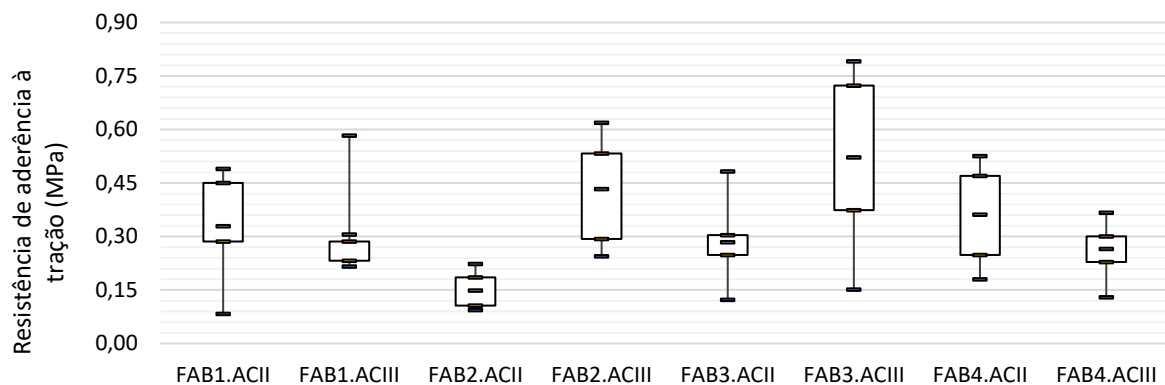
dos corpos de prova apresentou ruptura dos tipos A/P e S/A, o que pode indicar uma tendência de comportamento similar e que pode ser justificado pelo fenômeno citado.

Além da avaliação considerando um assentamento imediatamente após a abertura do pano de argamassa colante, este estudo realizou outros assentamentos para diferentes tempos em aberto, a saber: 5, 10, 15 e 20 minutos após abertura do pano.

No Gráfico 11, observa-se que ao se realizar o assentamento após 5 minutos de abertura do pano de argamassa as amostras do tipo III, majoritariamente, obtiveram valores superiores de resistência de aderência à tração. A única exceção são as amostras do FAB4, que atingiram basicamente o mesmo valor. Em relação ao estabelecido pela NBR 13.754 (ABNT, 1996), verifica-se que as amostras do FAB2 não atingem o valor mínimo estabelecido por norma após esse tempo de abertura do pano e as amostras do FAB4 obtêm resultados próximos ao mínimo exigido (0,30 MPa).

O melhor desempenho observado para o tempo  $t = 5\text{min}$  foi para as amostras do FAB3. Observa-se que se trata das amostras com agregado natural, grão arredondados e com menor teor de finos. Em relação aos índices de consistência, apresentados na Tabela 7, novamente não foi possível estabelecer uma relação entre os resultados obtidos com essa propriedade.

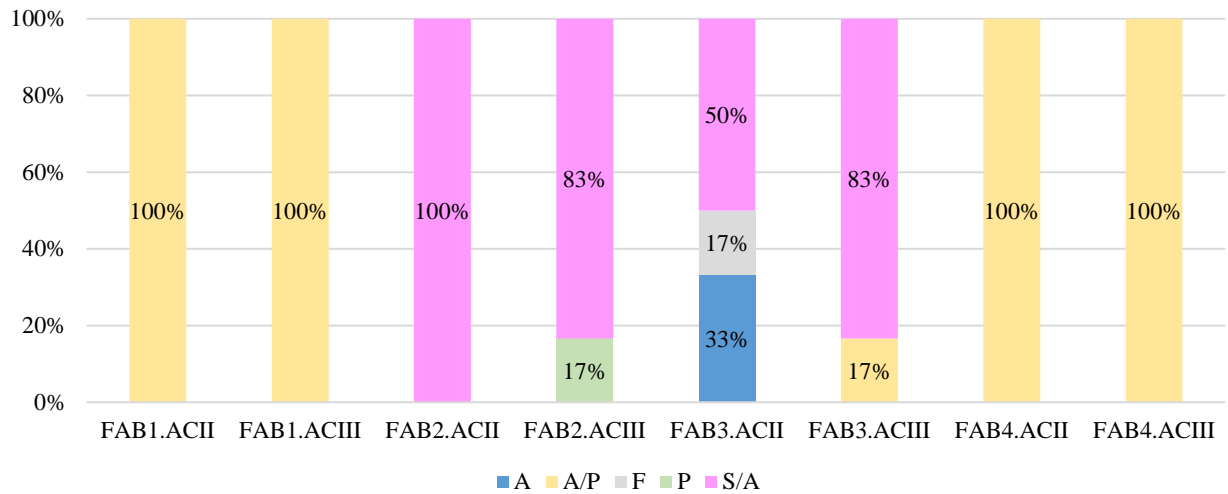
Gráfico 11 – Resistências médias de aderência à tração – 5 min



Em relação à superfície de ruptura<sup>2</sup>, observou-se, novamente, uma tendência de rupturas nas interfaces A/P e S/A, conforme observado nas amostras assentadas imediatamente após a abertura do pano. De modo similar, para a argamassa FAB3.ACII também houve rupturas na interface A. Os resultados são apresentados no Gráfico 12.

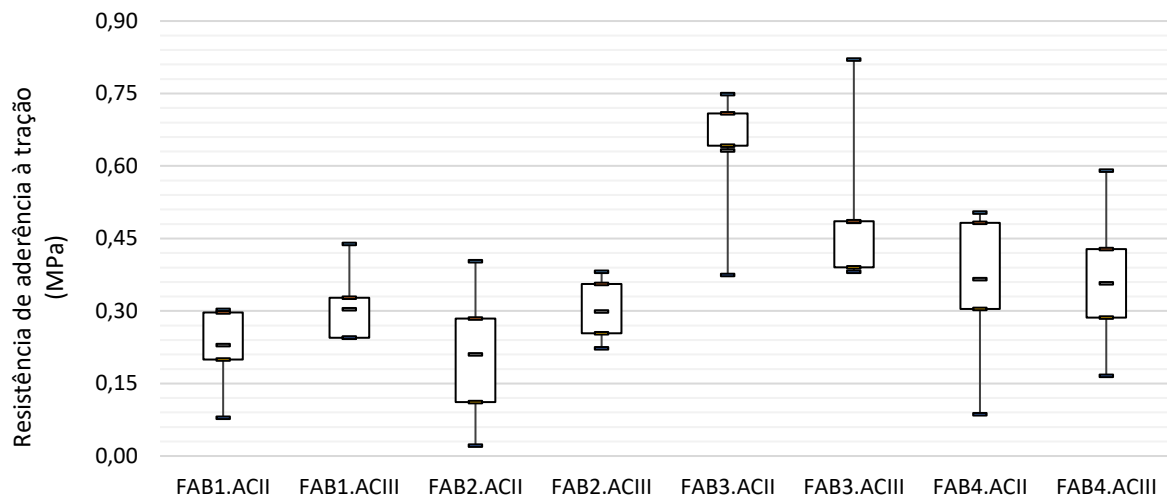
<sup>2</sup> S/A ruptura na interface argamassa colante/substrato  
 A ruptura da camada de argamassa colante  
 A/P ruptura na interface argamassa colante/placa cerâmica  
 P ruptura no interior da placa cerâmica  
 F falha na colagem da peça metálica

Gráfico 12 – Interfaces de ruptura - 5 min



Para as amostras assentadas após 10min de abertura do pano de argamassa, os resultados são apresentados no Gráfico 13.

Gráfico 13 – Resistências médias de aderência à tração – 10 min

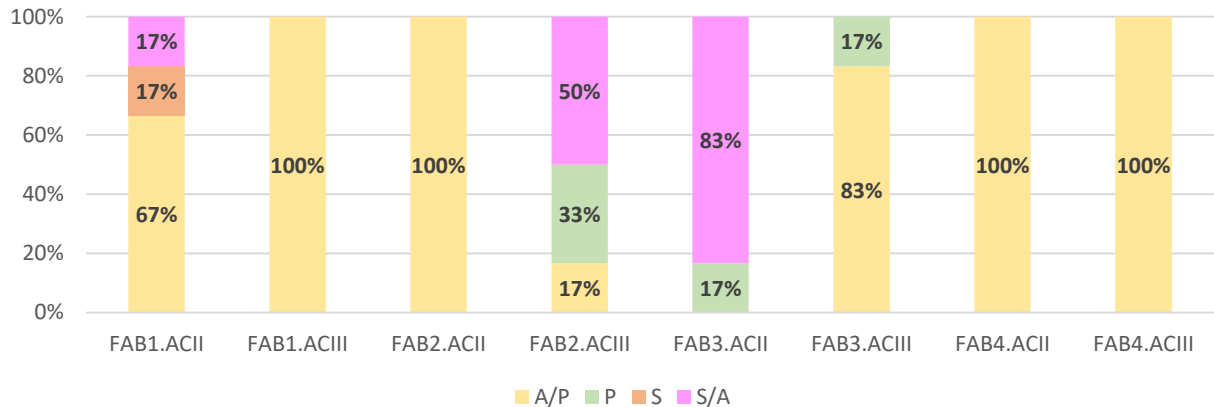


Verifica-se que as amostras do FAB3, novamente, foram as que apresentaram o melhor desempenho em relação à resistência de aderência. Considerando que a principal diferença dessas amostras para as demais são o menor teor de finos e o uso de agregado natural, pode-se associar essas características como benéficas.

Avaliando-se os resultados e comparando-os com os requisitos da NBR 13.754 (ABNT, 1996), verifica-se que, com base na resistência média de aderência à tração, seriam aprovadas as amostras FAB1.ACIII, FAB2ACIII, FAB3ACII, FAB3ACIII, FAB4.ACII e FAB4.ACIII.

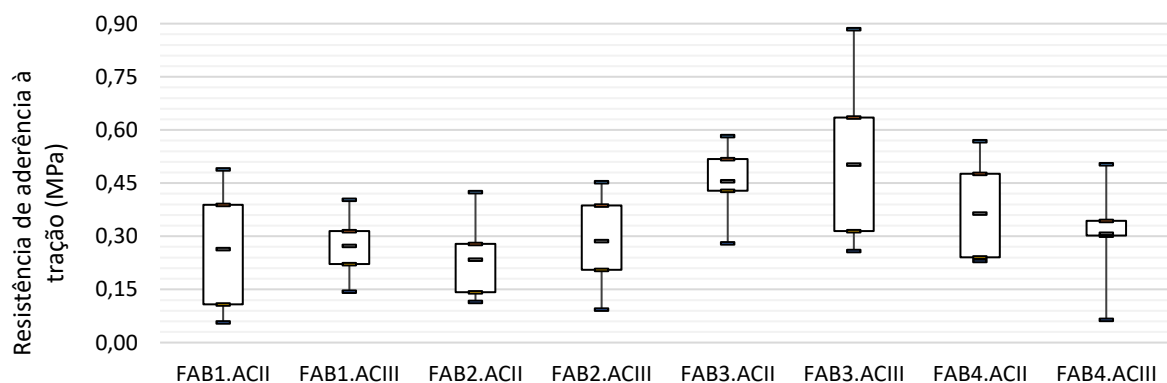
Em termos de interface de ruptura<sup>3</sup>, o Gráfico 14 permite visualizar que, novamente, há a tendência de ruptura nas interfaces A/P e S/A. A maioria dos corpos de prova rompeu nessas interfaces. Esse comportamento é similar ao que foi observado nos tempos 0 e 5 min.

Gráfico 14 – Interfaces de ruptura - 10 min



Ao se verificar os corpos de prova que foram assentados 15 min após a abertura do pano de argamassa, Gráfico 15, novamente temos que o melhor desempenho se deu para as argamassas do FAB3, seguidas de forma decrescente pelas dos FAB4, FAB1 e FAB2. Esse comportamento foi similar ao observado para os tempos 0, 5 e 10min.

Gráfico 15 – Resistências médias de aderência à tração – 15 min



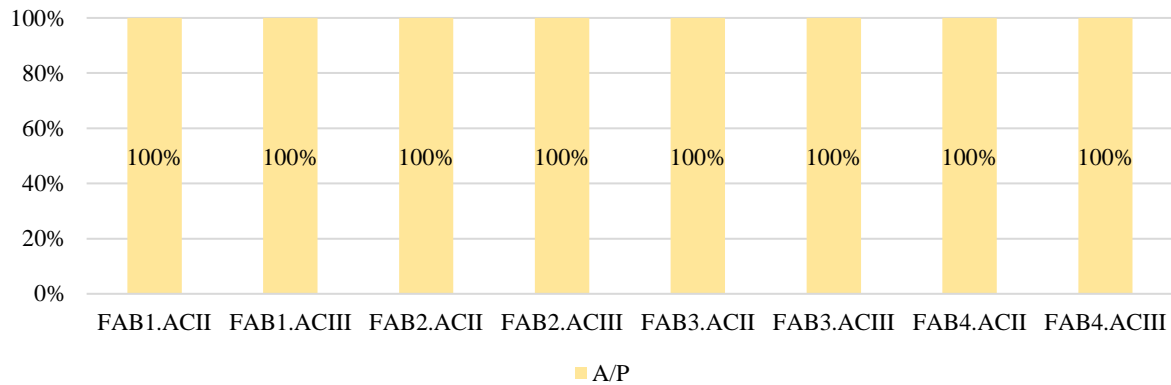
Verificando-se os resultados e tendo como parâmetro a NBR 13.754 (ABNT, 1996), as amostras que atendem ao requisito de resistência de aderência à tração  $\geq 0,3\text{MPa}$  são as do FAB1, FAB3 e FAB4.

<sup>3</sup> S ruptura no substrato  
 S/A ruptura na interface argamassa colante/substrato  
 A/P ruptura na interface argamassa colante/placa cerâmica  
 P ruptura no interior da placa cerâmica



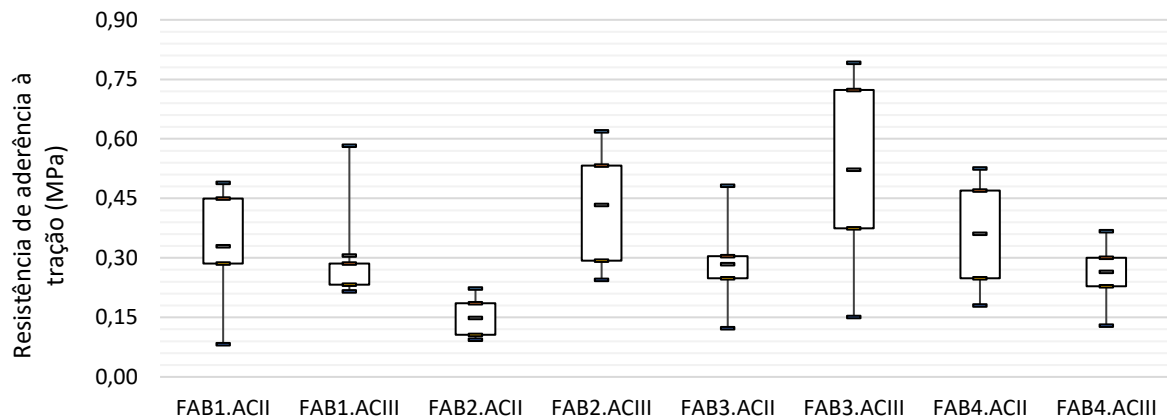
Em se tratando da interface de ruptura<sup>4</sup>, observou-se nos tempos anteriores que havia uma tendência de ruptura na interface A/P e S/A. Para as amostras assentadas após 15min de abertura do pano de argamassa, todas elas foram do tipo A/P. Os resultados são apresentados no Gráfico 16.

Gráfico 16 – Interfaces de ruptura - 15 min



Ao se avaliar as amostras assentadas após 20min de abertura do pano de argamassa, o comportamento observado é apresentado no Gráfico 17. Os valores obtidos não seguem o comportamento esperado em função dos resultados obtidos nos tempos anteriores.

Gráfico 17 – Resistências médias de aderência à tração – 20 min



Nos demais ensaios realizados, as amostras do FAB3 vinham apresentando o melhor desempenho, dessa forma esperava-se que esse comportamento se mantivesse. Todavia, apenas a amostra do tipo III manteve o desempenho superior ao das demais. Para o tipo II, a amostra FAB4.ACII foi a que obteve o melhor desempenho, sendo seguida da amostra do FAB1.ACII.

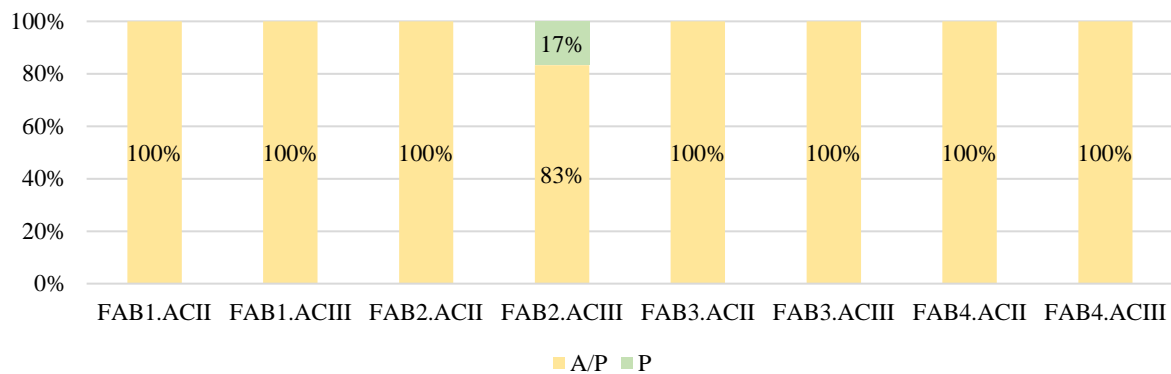
<sup>4</sup> S/A ruptura na interface argamassa colante/substrato

A/P ruptura na interface argamassa colante/placa cerâmica

A amostra FAB2.ACII, se manteve com o pior desempenho. Para as argamassas do tipo III, como mencionado, a FAB3.ACIII obteve o melhor resultado, sendo seguida pela FAB2.ACIII, FAB4.ACIII e FAB1.ACIII. A amostra tipo III do FAB2 foi a que teve um ganho de resistência após os 20min.

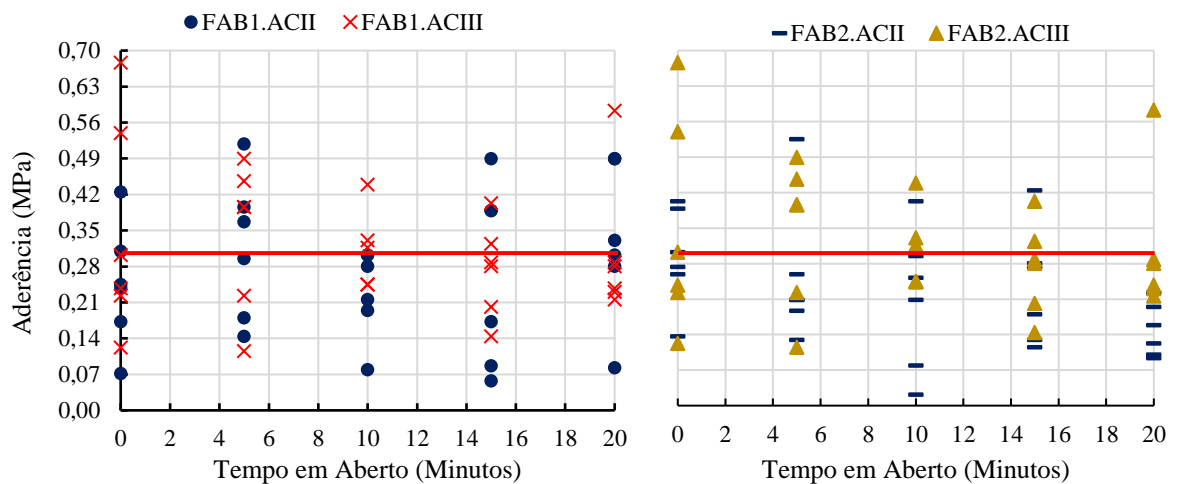
Em termos de interface de ruptura<sup>5</sup>, majoritariamente ocorreram na interface A/P, conforme esperado em função do que aconteceu nos demais tempos.

Gráfico 18 – Interfaces de ruptura - 15 min

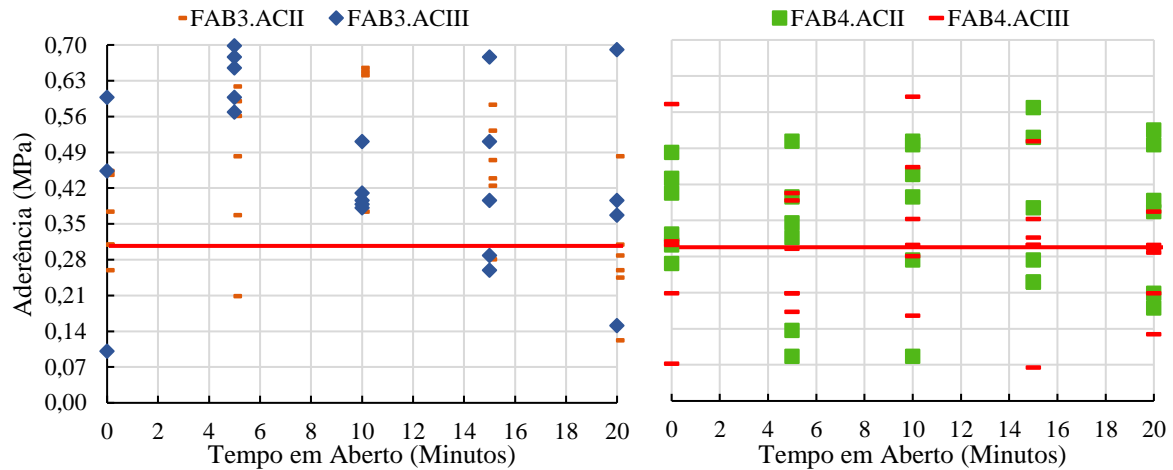


Em termos gerais, o comportamento das argamassas ao longo do tempo se deu conforme apresentado no Gráfico 19.

Gráfico 19 – Resistências médias de aderência à tração ao longo do tempo



<sup>5</sup> A/P ruptura na interface argamassa colante/placa cerâmica  
P ruptura no interior da placa cerâmica



Os gráficos acima permitem observar que não existe uma tendência de comportamento das argamassas colantes em função do tempo em aberto, consideradas as condições de ensaio adotadas no presente estudo (revestimento interno, assentamento em obra, tempo em aberto  $\leq 20$  min). No Gráfico 19, a linha vermelha adicionada refere-se ao requisito mínimo de resistência de aderência à tração estabelecido pela NBR 13.754 (ABNT, 1996), que é  $\geq 0,30$  MPa. Tendo como referência esse parâmetro e verificando a distribuição dos resultados para os corpos de prova, observa-se que as argamassas do FAB3, que fazem uso de areia natural, obtiveram, em termos gerais, resultados mais satisfatórios. Isso pode ser um indicativo que as características dessa argamassa são as mais adequadas para garantir um bom desempenho do sistema de revestimento.

Os resultados acima ainda permitem observar que, dado o grande número de corpos de prova com resistência inferior a 0,30MPa, o substrato parede de concreto necessita de cuidados especiais de preparação da base para assentamento do revestimento. Conforme apresentado no item 4.4, a baixa absorção e rugosidade da parede de concreto são fatores que atuam desfavoravelmente em relação à aderência. Dessa maneira, aponta-se como fundamental a preparação do substrato para garantir bons resultados. Isso também foi observado no estudo realizado por Oliveira (2020), apresentado na Tabela 9.

## 5 CONCLUSÕES

O desempenho de um sistema de revestimento está relacionado a vários fatores que, em conjunto, propiciam ao sistema alcançar resultados satisfatórios para atendimento tanto às necessidades do usuário da edificação quanto a normatizações específicas. Ao longo do presente trabalho foram apresentados fatores como granulometria, consistência, morfologia e tipo de agregado e características do substrato.

Em relação ao tipo e morfologia do agregado, as argamassas que propiciaram um melhor desempenho em relação à aderência foram aquelas que fizeram uso de agregado natural. A granulometria também é uma propriedade que exerce influência no bom desempenho das argamassas colantes, sendo que o menor teor de finos contribuiu favoravelmente para o desempenho do sistema de revestimento. A importância de se garantir uma distribuição granulométrica também reflete em misturas com maior índice de consistência, que se espalham mais na mesa de teste do *flow table*, ou seja, misturas com maior fluidez. No presente trabalho, no entanto, o ensaio de consistência não obteve resultados que permitissem estabelecer relação dessa propriedade com as demais.

Outro fator importante e que influencia no desempenho em relação à aderência do revestimento cerâmico é o tipo de substrato utilizado. No presente trabalho, o substrato utilizado foi a parede de concreto moldada *in loco*. Verificou-se que se trata de um substrato pouco poroso e com baixa absorção. Pôde-se, ainda, ao avaliar a rugosidade superficial da parede de concreto verificar que este substrato é pouco rugoso, o que é justificado pelo acabamento liso possibilitado pela utilização de fôrmas de alumínio.

Em relação à resistência de aderência, de modo geral, verificou-se que as amostras com menor teor de finos foram as que obtiveram melhor desempenho. Ainda, os resultados das resistências de aderência à tração das amostras com agregado natural foram melhores que as amostras com agregado artificial.

Em relação ao tempo de assentamento, o tempo de assentamento que permitiu que todas as amostras obtivessem uma resistência média de aderência igual ou superior aos 0,3MPa estabelecidos pela NBR 13.754 (ABNT, 1996), ao se realizar o assentamento imediatamente após a abertura do pano. Em relação aos demais tempos de abertura do pano, não foi possível verificar a influência de tempos em aberto maiores ( $\leq 20$ min). Todavia, observou-se uma tendência de melhores resultados de aderência ao se utilizar a argamassa colante do FAB3, que se difere das demais em especial pela utilização de agregado natural.

## **6 SUGESTÃO PARA TRABALHO FUTUROS**

Durante a realização da presente pesquisa, verificou-se que um fator importante e que deve ser melhor estudado é a influência do microclima do local onde se está realizado o assentamento cerâmico. Caso seja em paredes internas, a proximidade do pano que está sendo aberto com janelas, a temperatura ambiente, umidade do ar e a incidência de vento ou sol no local necessitam ser consideradas para se ter resultados mais conclusivos em trabalhos similares. Percebeu-se no presente trabalho, que estes fatores podem ter contribuído o assentamento fosse realizado dentro do limite de tempo em aberto. Todavia, torna-se necessário quantificar como se dão estas contribuições a fim de se ter análises mais assertivas.

Além do que foi exposto no trabalho acima, outra sugestão de trabalho futuro é a de repetir o que foi proposto no presente trabalho em paredes externas, de fachada, para edificações construídas pelo mesmo método construtivo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de revestimentos de argamassa**, 2013. Disponível em:  
<<http://www.comunidade-da-construcao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>>
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13754 - Revestimento de Paredes Internas com Placas Ceramicas e com Utilizacao de Argamassa Colante - Procedimento**Rio de Janeiro, 1996.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200 - Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento**Rio de Janeiro, 1998.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2019.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528 - Revestimento de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas - Determinação da Resistência de Aderência à Tração - Método de Ensaio**Rio de Janeiro, 2010.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16055 - Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações - Requisitos e procedimentos**. [s.l: s.n.].
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081- Argamassa Colante Industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 1 - Requisitos**Rio de Janeiro, 2012b.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528-3:2019 - Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração Parte 1: Requisitos gerais**Rio de Janeiro, 2019.
- A. JENNI, R. ZURBRIGGEN, L. HOLZER, M. HERWEGH. **Changes in microstructures and physical properties of polymer-modified mortars during wet storage**. doi:10.1016/j.cemconres.2005.06.001.
- ALMEIDA, A. E. F. DE S. **Estudo da influência das adições de sílica ativa e copolímero estireno acrílico nas propriedades de argamassas para assentamento de porcelanato**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 16 set. 2005.
- ANTUNES, R. P. N. **Influência da Reologia e da Energia de Impacto na Resistência de Aderência de Revestimentos de Argamassa**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005.
- ARIZZI, A.; CULTRONE, G. The influence of aggregate texture, morphology and grading on the carbonation of non-hydraulic (aerial) lime-based mortars. **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, v. 46, n. 4, p. 507–520, nov. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM; INSTITUTO BRASILEIRO DE TELAS SOLDADAS. **Coletânea de Ativos - Parede de concreto 2007/2008** Associação Brasileira de Cimento Portland, , 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM; INSTITUTO BRASILEIRO DE TELAS SOLDADAS. **Coletânea de Ativos – Parede de Concreto 2008/2009** Comunidade da Construção, , 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM; INSTITUTO BRASILEIRO DE TELAS SOLDADAS. **Coletânea de Ativos – Parede de Concreto 2011/2013**. p. 97, 2013. AYE, T.; OGUCHI, C. T.; TAKAYA, Y. Evaluation of sulfate resistance of Portland and high alumina cement mortars using hardness test. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 6, p. 1020–1026, 2010.

BAUER, E. **Mortar Coatings: characteristics and peculiarities** (2005), pp. 15-22

BAÍÁ, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2000.

BARBOZA, N. et al. **Construtoras de todo o brasil se mobilizam para encontrar saídas para o descolamento cerâmico**. Disponível em: <<https://techne.pini.com.br/2016/09/construtoras-de-todo-o-brasil-se-mobilizam-para-encontrar-saidas-para-o-descolamento-ceramico/>>. Acesso em: 1 fev. 2019.

BERTOLINO L.C., PALERMO N., BERTOLINO A.V.F.A. 2012. Geologia. In: Luz A.B. & Almeida S.L.M (eds.). **Manual de Agregados para a construção civil**, 2, CETEM-MCT, Rio de Janeiro, p. 68-79. ISBN 9788561121921

BETIOLI, A. M. et al. Caracterização reológica de pasta cimentícia: associação de técnicas complementares. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 4, p. 37–48, 2009.  
BREA, F. M. Resistência De Aderência E Tempo Em Adição De Éteres De Celulose. p. 507–517, 2003.

BREA, F. M. Resistência de Aderência e Tempo em Aberto de Argamassas Colantes Com Adição de Éteres de Celulose. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ARGAMASSAS, 5., São Paulo, 2003. Anais... São Paulo, 2003.

CANDIA, M. C.; FRANCO, L. S. **Contribuição ao Estudo das Técnicas de Preparo da Base no Desempenho dos Revestimentos de Argamassa**. São Paulo: EPUSP: Universidade de São Paulo, 1998.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; CINCOTTO, M. A.; DJANIKIAN, J. G. Microestrutura da interface argamassa / tijolo cerâmico. **II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, 1997.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; CINCOTTO, M. A.; SCARTEZINI, L. M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa** Brasília Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, , 2001.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas a base de cimento Portland a substratos porosos – Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** São Paulo, 1996. 285p. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

CARASEK, H.; CASCUDO, O. Descolamento de Revestimentos de Argamassa Aplicados sobre Estruturas de Concreto–Estudos de casos brasileiros. **2º Congresso Nacional de Argamassa de Construção**, p. 11, 2007.

CARASEK, H ; G.C. ISAIA. **Civil construction materials and principles of materials science and engineering**, IBRACON, São Paulo (2010), p. 28

CARNEIRO, A. M. P. **Revestimento externo em argamassa de cimento, cal e areia : sistemática das empresas de construção civil de Porto Alegre**Porto AlegreUniversidade Federal do Rio G, , 1993. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/71552>>

CARVALHO JR., A. N. C. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados:** Uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico. 306 p. Tese de Doutorado (Engenharia Metalúrgica e de Minas). – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005..

CENTRO CERÂMICO DO BRASIL. **Manual de assentamento de revestimentos cerâmicos: pisos internos**, 2010.

CEOTTO, L. H.; BANDUCK, R. C.; NAKAKURA, E. H. Revestimentos de Argamassa: boas práticas em projeto, execução e avaliação. **ANTAC**, p. 96, 2005.

CHANDRA, S.; FLODIN, P. Interactions of polymers and organic admixtures on portland cement hydration. **Cement and Concrete Research**, v. 17, n. 6, p. 875–890, nov. 1987.

CHEN, X.; WU, S. Influence of water-to-cement ratio and curing period on pore structure of cement mortar. **Construction and Building Materials**, v. 38, p. 804–812, 2013.

CHEW, M.; WONG, C.; KANG, L. Building facades: a guide to common defects in tropical climates. **World Scientific**, 1998.

CORTES, D. D.; KIM, H. K.; PALOMINO, A. M.; SANTAMARINA, J. C. **Rheological and mechanical propoerties of mortars prepared with natural and manufactured sands.** *Cemente and Concrete Research*, 38, p. 1142-47, 2008.

COSTA, P. L. D'ARAÚJO. **Patologias do processo executivo de revestimentos de fachada de edifício.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.  
EUROPEAN STANDARDS. **DIN EN 12 004 - European Standards**European standards, , 2017.

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

FANTINI, P. R. **Patologias em revestimentos cerâmicos em escolas de maringá - PR.** Maringá: Universidade Federal do Paraná, 2010.



FELIPE REGERT RUDUIT. **Contribuição ao estudo da aderência de revestimentos de argamassa e chapiscos em substratos de concreto** Porto Alegre, 2009.

FERNANDO BENIGNO DA SILVA. Paredes de concreto armado moldadas in loco. **Téchne**, n. 167, 2011.

FERREIRA, B. B. D. **TIPIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS** Belo Horizonte, 2010.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos**. 2. ed. [s.l.] Pini, 2009.  
GONÇALVES, S. R. DE C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassas - estudo de caso**. [s.l.] Universidade de Brasília, 2004.

FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. DE; FREITAS, V. (2006) - “Técnicas de ensaio in-situ para apoio à manutenção predictiva de rebocos de fachada”. In: **PATORREB 2006 – 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios**, Porto: FEUP, 20-21 de Março, pp. 701-710.

HAACH VG, VASCONCELOS G, LOURENÇO P. Composition study of a mortar appropriate for masonry cavities and joints. In: **Proceedings of the 10th North American masonry conference**, St. Louis, Missouri, USA; 2007.

JENNI, A. et al. Influence of polymers on microstructure and adhesive strength of cementitious tile adhesive mortars. **Cement and Concrete Research**, v. 35, n. 1, p. 35–50, 2005.

JENNI, A. et al. Changes in microstructures and physical properties of polymer-modified mortars during wet storage. **Cement and Concrete Research**, v. 36, n. 1, p. 79–90, 2006.

JUNGINGER, M. **Rejuntamento de revestimentos cerâmicos: influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2003.

KAMPF, L. **Factors affecting Bond of Mortar to Brick** Symposium on Masonry Testing, 2001.

KHAYAT, K. H. Viscosity-enhancing admixtures for cement-based materials—an overview. **Cement and Concrete Composites**, v. 20, n. 2–3, p. 171–188, 1998.

KUDO, Elisabete Kioko. **Caracterização reológica de argamassas colantes**/E. K. Kudo. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2012.

KWAN , A.K.H., Fung, W.W.S. 2009. Packing density measurement and modelling of fine aggregate and mortar. **Cement and Concrete Composites**, 31, 349–357.

MA, B. et al. Influence of cellulose ethers on hydration products of portland cement. **Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.**, v. 26, n. 3, p. 588–593, 26 jun. 2011.

- MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para Execução de Revestimentos de Argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos**São Paulo: EPUSP, 1998.
- MANSUR, A. A. P. **Mecanismo físico-químico de aderência na interface argamassa modificada com polímeros/cerâmica de revestimento.** [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais.** 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.
- MENEZES, R. R. et al. Expansão Por Umidade (Epu). v. 52, p. 1–14, 2006.
- MISURELLI, H.; MASSUDA, C. Paredes de concreto. **Revista TÉCNICA**, v. 17, n. 147, p. 74–80, 2009.
- MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A.; BISBIKOU, K. Physico-chemical adhesion and cohesion bonds in joint mortars imparting durability to the historic structures. **Construction and Building Materials**, v. 14, n. 1, p. 35–46, fev. 2000.
- MOURA, C. B. **Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.
- NAMSHIK A. An experimental study on the guidelines for using higher contents of aggregate micro fines in Portland cement concrete. Ph.D. Thesis, The University of Texas at Austin 2000, UMI nr. 9992742.
- NEVES, R. R. et al. ESTUDO COMPARATIVO DA ADERÊNCIA DE ARGAMASSA COLANTE APLICADA EM BLOCOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO E PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS IN LOCO. **VI Congresso de Engenharia Civil**, p. 13, 2019.
- NEVILLE AM. **Properties of Concrete.** 4th ed. New York: John Wiley & Sons Inc.; 1996.
- NOGAMI, L. **Fixação de placas de rochas ornamentais: estudo da aderência com argamassa colante.** São Carlos: Universidade de São Paulo, 22 nov. 2007.
- OLIVEIRA, A. M. A., Dias, D. P., França, F. C. C. **Influência da viscosidade da solução ativadora alcalina na trabalhabilidade de argamassas geopoliméricas.** <https://doi.org/10.1590/s1517-707620180003.0532>
- OLIVEIRA, Patricia Vasconcelos de. **Influência dos Tratamentos Superficiais Executados na Parede de Concreto no Desenvolvimento da Aderência com Revestimentos Cerâmicas Internos.** 2020. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.
- OLIVEIRA, P. V. et al. Influence of substrate's preparation in the adhesion of ceramic tile on concrete wall castes in place. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas**, n. August, 2019.

PAES, I. N. L. **Avaliação do Transporte de Água em Revestimentos de Argamassa nos Momentos Iniciais Pós-aplicação**. [s.l.] Universidade de Brasília, 2004.

PAES, I. N. L.; BAUER, E.; CARASEK, H. Influência da absorção de água dos substratos cerâmico e de concreto na resistência de aderência à tração de revestimento em argamassa mista. **52 Congresso Brasileiro do concreto Brasil**, v. 01, n. 2007, p. 1–20, 2010.

PATURAL, L. et al. A pulsed field gradient and NMR imaging investigations of the water retention mechanism by cellulose ethers in mortars. **Cement and Concrete Research**, v. 40, n. 9, p. 1378–1385, 2010.

PEREIRA, Eduardo; SILVA, Isac José da and COSTA, Marienne do Rocio de Mello Maron da. Avaliação dos mecanismos de aderência entre argamassa colante e substrato não poroso. **Ambient. constr. [online]**. 2013, vol.13, n.2, pp.139-149. ISSN 1678-8621. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212013000200011>.

PESCHARD, A. et al. Effect of polysaccharides on the hydration of cement paste at early ages. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n. 11, p. 2153–2158, 2004.

PETIT, J. Y.; WIRQUIN, E. Evaluation of various cellulose ethers performance in ceramic tile adhesive mortars. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 40, p. 202–209, 2013.

PLANK, J.; GRETZ, M. Study on the interaction between anionic and cationic latex particles and Portland cement. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 330, n. 2–3, p. 227–233, 2008.

PORTLAND, A. B. DE C. **Manual de Revestimentos IINT Manual de Revestimentos de Argamassa**. [s.l.] Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002.

POURCHEZ, J.; GROSSEAU, P.; RUOT, B. Current understanding of cellulose ethers impact on the hydration of C3A and C3A-sulphate systems. **Cement and Concrete Research**, v. 39, n. 8, p. 664–669, 2009.

PRETTO, Márcia Elisa Jacondino Pretto. Influência da rugosidade gerada pelo tratamento superficial do substrato de concreto na aderência do revestimento de argamassa. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

QUARESMA L.F. 2009b. *Relatório Técnico 30. Perfil de brita para construção civil*. **Ministério de Minas e Energia (MME)**, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM), 30 p.

REDDY BVV, Gupta A. Influence of sand grading on the characteristics of mortars and soil–cement block masonry. *Construct Build Mater* 2008;22(8):1614–23.

RIBEIRO, F. A. **Especificação de Juntas de Movimentação em Revestimentos Cerâmicos de Fachadas de Edifícios: Levantamento do Estado da Arte** São Paulo Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, , 2006.

RICHARD P. GOLDBERG. **Direct Adhered Ceramic Tile, Stone and Thin Brick Facades: Technical Design Manual**. [s.l.] Laticrete International, 1998.

RILEM test N°. II. 4, Water absorption under low pressure (pipe method)

RODGER, S., SINCLAIR, W., GROVES, G., BROOKS, S., & DOUBLE, D. Reactions in the Setting of High Strength Cement Pastes. MRS Proceedings. **Materials Research**, v. 42, n. 45, 1985.

ROSA, L.C. **Acabamento de Superfícies: rugosidade superficial**. OMA – Oficina mecânica para automação. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Unidade Diferenciada – Sorocaba/Iperó. Engenharia de Controle e Automação. 2007.

ROSCOE, M. T. **Patologias em revestimento cerâmico de fachada**. Belo Horizonte Universidade Federal de Minas Gerais, , 2008.

SARAIVA, A. G.; BAUER, E.; GONÇALVES, S. R. DE C. **Variabilidade de aderência de revestimentos de argamassa**. Disponível em: <<http://technel7.pini.com.br/engenharia-civil/159/artigo285808-1.aspx>>.

SCARTEZINI, L. M. B.; CARASEK, H. O tipo e preparo da alvenaria na prevenção do descolamento em revestimentos de argamassa. **CONPAT - Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción**, 2003.

SCARTEZINI, L. M., et al. (2002) - Influência do preparo da base na aderência e na permeabilidade à água dos revestimentos de argamassa. *Ambiente Construído*. 2:2. pp. 85-92

SCHANKOSKI, R. A.; PRUDENCIO JR., L. R.; PILAR, R. Influence of the type of mortar and its fresh properties on the mechanical properties of concrete blocks structural masonry for high-rise buildings. **Matéria**, v. 20, n. 4, p. 1008–1023, 2015.

SILVA, V. S., LIBÓRIO, J. B. L. **Estudo da aderência de argamassas de revestimentos e chapiscos em estruturas de concreto armado** Belo Horizonte CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, , 2002.

SILVA, D. A. et al. Pore size distribution of hydrated cement pastes modified with polymers. **Cement and Concrete Research**, v. 31, n. 8, p. 1177–1184, 2001.

SPIESS, H. W. et al. Solid state NMR and LVSEM studies on the hardening of latex modified tile mortar systems. **Cement and Concrete Research**, v. 35, n. 12, p. 2233–2243, 2004.

TARHAN, M.; TARHAN, B.; AYDIN, T. The effects of fine fire clay sanitaryware wastes on ceramic wall tiles. **Ceramics International**, v. 42, n. 15, p. 17110–171115, 2016.

TAYLOR, H. F. W. **Cement chemistry**. [s.l.] Thomas Telford Publishing, 1997.

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento** Florianópolis Universidade Federal de Santa Catarina, , 1995. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/111836>>

VIEIRA, F.M.P., KAZMIERCZAK C.S., MASUERO A.B.; DAL MOLIN, D. C. **Influência dos tipos de substrato e argamassa na aderência dos revestimentos de**

**argamassa.** Porto Alegre Comunidade da Construção, , 2005.

Xavier, Hamilton Santos. **Análise por perfilometria e tomografia de coerência óptica da rugosidade superficial e do desgaste do esmalte bovino microabrasionado.** 2011. 124 f. : il. Orientador: Luciana Faria Sanglard. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Programa de Pós-graduação em Clínica Odontológica.

WEYER, H. J. et al. Time-resolved monitoring of cement hydration: Influence of cellulose ethers on hydration kinetics. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, v. 238, n. 1–4, p. 102–106, 2005.

WESTERHOLM M, LAGERBLAD B, SILFWERBRAND J, FORSSBERG E. Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars. **Cemente and Concrete Composites.** 2008;30(4):274–82.

ZHAO, Z. Y.; ZHANG, W. L. Influence of workmanship on the bonding strength of tiles to external walls. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 17, n. 1, p. 47–53, 1997.