

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia

Stefane Jardim Vitorino

DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA COLANTE POLIMERIZADA PARA APLICAÇÃO
DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS

Belo Horizonte
2019

Stefane Jardim Vitorino

DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA COLANTE POLIMERIZADA PARA APLICAÇÃO
DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS

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

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Co-orientador: Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco

Belo Horizonte
Universidade Federal de Minas Gerais

2019

Vitorino, Stefane Jardim

V845d Desenvolvimento de argamassa colante polimerizada para aplicação de revestimentos cerâmicos em fachadas / Stefane Jardim Vitorino. – Belo Horizonte, 2019.

100 f.: il.

1. Argamassa colante. 2. Polimeros. 3. Revestimento de fachada. 4. Construção civil. I. Carvalho Junior, Antônio Neves de. II. Branco, Luiz Antônio Melgaço Nunes III. Título. IV. Universidade Federal de Minas Gerais.

CDU 691

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CONSTRUÇÃO CIVIL Nº: 184, da aluna **STEFANE JARDIM VITORINO**.

Às 14h00min do dia primeiro de julho de 2019, reuniu-se, na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, a Comissão Examinadora de Dissertação de Mestrado, aprovada *ad referendum* pela Subcoordenadora do Colegiado do Curso de Mestrado em Construção Civil - EE.UFMG, **Profa. Dra. Maria Teresa Paulino Aguiar**, para julgar, em exame final, o trabalho intitulado "DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA COLANTE POLIMERIZADA PARA APLICAÇÃO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS", requisito final para a obtenção do Grau de MESTRE EM CONSTRUÇÃO CIVIL na área de: TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, **Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior**, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra à candidata para apresentação do seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa da candidata. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença da candidata e do público, para julgamento e expedição do resultado final. Foram atribuídas as seguintes indicações:

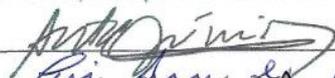
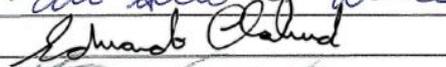
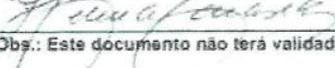
PROF. DR. ANTÔNIO NEVES DE CARVALHO JÚNIOR (ORIENTADOR) – UFMG Aprovada

PROF. DR. LUIZ ANTÔNIO MELGAÇO N. BRANCO (COORIENTADOR) – UFMG APROVADA

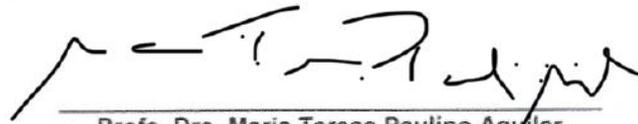
PROF. DR. EDUARDO CHAHUD – UFMG APROVADA

PROFA. DRA. HELENA CARASEK – UFG Aprovada

Pelas indicações acima, a candidata foi considerada APROVADA, porém algumas correções foram sugeridas, conforme pareceres anexos. A candidata terá o prazo máximo de 60 (sessenta) dias para efetuar-las e entregar a versão final da dissertação na Secretaria do Curso de Mestrado em Construção Civil. O resultado final foi comunicado publicamente à candidata pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, primeiro de julho de 2019.


Obs.: Este documento não terá validade sem a assinatura e carimbo da Coordenação do Curso de Mestrado em Construção Civil.



Profa. Dra. Maria Teresa Paulino Aguiar

Subcoordenadora do Colegiado do Curso de Mestrado em Construção Civil - EE/UFMG

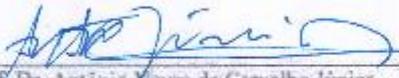
STEFANE JARDIM VITORINO

**"DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA COLANTE POLIMERIZADA
PARA APLICAÇÃO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS"**

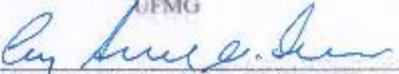
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil e aprovada em sua forma final pelo Mestrado em Construção Civil do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 01 de julho de 2019

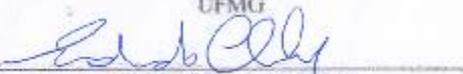
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior
Orientador
UFMG



Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco
Coorientador
UFMG



Prof. Dr. Eduardo Chahud
UFMG



Profa. Dra. Helena Carasek
UFMG

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que esteve sempre comigo a todo tempo me dando força e disposição para enfrentar os obstáculos do dia a dia e não desanimar.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Antônio Neves Carvalho Júnior pela paciência, incentivo e amizade.

Agradeço ao Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco pelas dicas.

Agradeço ao meu marido pela paciência e aos meus filhos pela compreensão, pois são a força que tenho para continuar nesta caminhada.

Agradeço as empresas Wacker e Cimental pela disponibilização das amostras de polímero.

Agradeço a empresa Wacker pelos ensaios de deformação na Transversal.

Agradeço a CRH pelas amostras de cimento e pela realização dos ensaios de caracterização das argamassas colantes e aos meus amigos Mário Henrique e Vínicius Souza.

Agradeço à LABCON pela realização dos ensaios de arrancamento nos painéis testes e pelo apoio.

Ao meu amigo Alexander Thomaz da Ceramfix pelas dicas.

Ao meu amigo Ricardo do laboratório da UFMG.

Ao meu amigo Leonardo do laboratório de estruturas da UFMG.

RESUMO

Quatorze variações de argamassas colantes foram dosadas variando-se o tipo de polímero e combinando-os com cimento em duas proporções diferentes, retentor de água e adições, o que conferiu às argamassas consistências adequadas para sua aplicação nas fachadas. O objetivo foi avaliar o desempenho das argamassas colantes baseado nas características dos polímeros e do percentual de cimento aplicado, a fim de verificar a sua flexibilidade para uso em fachadas expostas às variações climáticas e bastante solicitadas pelas deformações estruturais. Os testes das amostras foram limitados aos ensaios normativos, mas, a partir da escolha de quatro variações, a análise do tempo em aberto e sua extensão de aderência foram relevantes para o aprofundamento do estudo que consistiu no desenvolvimento de uma argamassa para uso específico em fachadas. Os resultados das quatro variações foram satisfatórios em suas forças de adesão para a classificação dessas amostras do tipo ACII de acordo com os critérios normativos brasileiros. A partir dos resultados obtidos nos testes de deformabilidade verificou-se que, independentemente dos tipos de polímeros adicionados às composições, as argamassas colantes podem demonstrar maior deformabilidade adicionando um polímero com sua temperatura de transição vítrea mais próxima da temperatura ambiente medida durante o teste, equilibrando com a dosagem de cimento para um melhor desempenho da argamassa colante em sua interface com a cerâmica, a fim de ser verificado, após estudos, quanto às exigências de durabilidade em função de sua deformabilidade.

Palavras-chave: Argamassa colante. Fachadas. Sistema de revestimento. Extensão de aderência.

ABSTRACT

Fourteen variations of adhesive mortars were measured by varying the polymer type and combining them with cement in two different proportions, water retainer and additions, which provided the mortars with adequate consistency for application on facades. The objective was to evaluate the performance of adhesive mortars based on the characteristics of the polymers and the percentage of cement applied, in order to verify their flexibility for use in facades exposed to climatic variations and much requested by structural deformations. The tests of the samples were limited to the Brazilian technical norms, but from the choice of 4 variations, the analysis of the open time and its adhesion extension were important for the deepening of the study that consisted in the development of a mortar for use in facades. The results of the four variations were satisfactory in their adhesion forces for the classification of these samples as ACII according to the Brazilian normative criteria. From the results obtained in the deformability tests, it was found that, regardless of the types of polymers added to the compositions, adhesive mortars can demonstrate greater deformability by adding a polymer with its glass transition temperature closer to the ambient temperature measured during the test, Balancing with the cement dosage for better performance of the adhesive mortar in its interface with the ceramic, in order to verify, after studies, the durability requirements due to its deformability.

Key-words: Adhesive mortar. Facades. Coating system. Grip extension.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS:

Figura 1 – Desenho esquemático sistema de revestimento com assentamento cerâmico	23
Figura 2 – Influência dos fatores extrínsecos e intrínsecos à durabilidade dos sistemas de revestimento.....	26
Figura 3 – Exemplo do descolamento da cerâmica típico do “tempo em aberto” da argamassa colante vencida.....	27
Figura 4 – Exemplo do descolamento da cerâmica na interface cerâmica e argamassa colante	27
Figura 5 – Representação da aderência por meio da sucção da pasta de cimento para os poros da base e extensão de aderência e as falhas na extensão de aderência	35
Figura 6 – <i>Quick Open Time</i> realizado nos protótipos das argamassas colantes em desenvolvimento	44
Figura 7 – Transições nas fases de aquecimento da cadeia polimérica.....	49
Figura 8 – Ensaio do tempo em aberto expedito (<i>Quick Open time</i>).....	58
Figura 9 – Painel teste sendo rebocado pelo processo manual com colher de pedreiro 60	
Figura 10 – Etapas da construção do painel teste.....	61
Figura 11 – Vista de frente do painel teste concluído: sistema de alvenaria mais chapisco mais emboço.....	61
Figura 12 – Cerâmica definida utilizada no seu assentamento com as quatro variações das argamassas colantes definidas.....	62
Figura 13 – Etapas da mistura da amostra.....	63
Figura 14 – Fases do assentamento cerâmico.....	63
Figura 15 – Painel teste completo e subdividido.....	64
Figura 16 – Protótipo com a argamassa de emboço imprimada sobre o bloco de concreto	64
Figura 17 – Protótipos preparados para a inserção na câmara de variação dos ciclos de temperatura e umidade	64
Figura 18 – Painel teste com as pastilhas metálicas coladas sobre a cerâmica, aguardando para realização do arrancamento	65
Figura 19 – Posicionamento do dinamômetro de tração para aplicação da carga e arrancamento das peças cerâmicas.....	65
Figura 20 – Protótipos inseridos na câmara de intemperismo	66

Figura 21 – Ensaio de resistência de aderência à tração das cerâmicas assentadas sobre a base de emboço imprimada sobre o bloco de concreto	66
Figura 22 – Tempo em Aberto Expedito (<i>Quick Open Time</i>) das amostras com 24% de cimento por teste.....	69
(Continua)	69
Figura 22 – Tempo em Aberto Expedito (<i>Quick Open Time</i>) das amostras com 24% de cimento por teste.....	70
(Conclusão)	70
Figura 23 – Apresentação dos pontos de ruptura das amostras com 24% de cimento..	71
(Continua)	71
Figura 24 – Tempo em Aberto Expedito (<i>Quick Open Time</i>) das amostras com 20% de cimento por teste.....	75
(Continua)	75
Figura 25 – Apresentação dos pontos de ruptura das amostras com 20% de cimento..	77
(Continua)	77
Figura 25 – Apresentação dos pontos de ruptura das amostras com 20% de cimento..	78
Figura 25 – Apresentação dos pontos de ruptura das amostras com 20% de cimento..	79
Figura 26 – Apresentação dos pontos de ruptura das amostras com 24% de cimento na repetição dos ensaios de caracterização	81
Figura 27 – Apresentação dos pontos de ruptura das amostras com 20% de cimento na repetição dos ensaios de caracterização	82
(Continua)	82
Figura 27 – Apresentação dos pontos de ruptura das amostras com 20% de cimento na repetição dos ensaios de caracterização	83
Figura 28 – Apresentação dos pontos de ruptura que ocorreram após arrancamento das peças cerâmicas.....	87
Figura 29 – Apresentação dos pontos de ruptura que ocorreram após arrancamento das peças cerâmicas, observando as falhas no emboço caracterizadas por aplicação	87
Figura 30 – Vista geral do painel teste após os arrancamentos das peças cerâmicas (1)	88
Figura 31 – Posicionamento do dinamômetro para os ensaios nos protótipos após câmara de aceleração do intemperismo e três dias de cura ao ar.....	89
Figura 32 – Pontos de ruptura mais comuns após o arrancamento das cerâmicas do painel teste por meio do ensaio da resistência de aderência dos revestimentos assentados com argamassa colante (NBR 13755:2017 – Anexo A)	90

Figura 33 – Ruptura da argamassa de emboço durante o teste da argamassa colante referenciada como teste 3	90
---	----

GRÁFICOS:

Gráfico 1 – Distribuição do consumo das argamassas industrializadas no Brasil, por região	24
Gráfico 2 – Principais manifestações patológicas e sua participação nas fachadas dos edifícios	28
Gráfico 3 – Síntese da classificação de polímeros.....	34

QUADROS:

Quadro 1 – Codificação dos grupos de absorção de água das cerâmicas de revestimento em função dos métodos de fabricação	31
Quadro 2 – Denominação das cerâmicas de revestimento de acordo com seu índice de absorção de água.....	32
Quadro 3 – Exigências mecânicas e geológicas da argamassa de revestimento.....	39
Quadro 4 – Materiais utilizados na composição das argamassas colantes	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos das argamassas colantes	30
Tabela 2 – Grupo de absorção de água das cerâmicas de revestimento	32
Tabela 3 – Resistência à compressão das argamassas.....	36
Tabela 4 – Densidade de massa aparente das argamassas no estado endurecido	36
Tabela 5 – Resistência à tração na flexão das argamassas.....	37
Tabela 6 – Coeficiente de capilaridade das argamassas	37
Tabela 7 – Densidade de massa no estado fresco das argamassas.....	38
Tabela 8 – Retenção de água das argamassas	38
Tabela 9 – Resistência potencial de aderência à tração das argamassas.....	39
Tabela 10 – Teores de cimento e de polímeros e suas relações.....	52
Tabela 11 – Matriz de variação dos percentuais de matérias primas na dosagem das argamassas colantes com 24% de teor de cimento.....	56
Tabela 12 – Matriz de variação dos percentuais de matérias primas na dosagem das argamassas colantes com 20% do teor de cimento.....	57
Tabela 13 – Matriz de variação dos percentuais de dosagem das quatro argamassas colantes selecionadas para novos testes	59
Tabela 14 – Caracterização das argamassas colantes com o teor de cimento a 24% ...	68
Tabela 15 – Caracterização das argamassas colantes com o teor de cimento a 20% ...	74
Tabela 16 – Tipos de polímeros utilizados nas variações definidas para avanço dos testes com suas respectivas temperaturas de transição vítrea.....	79
Tabela 17 – Caracterização das argamassas colantes para as amostras com o teor de cimento a 24% em sua formação segunda etapa	80
Tabela 18 – Caracterização das argamassas colantes para as amostras com o teor de cimento a 20% em sua formação segunda etapa	82
Tabela 19 – Deformação transversal das argamassas colantes	84
Tabela 20 – Resultados dos ensaios da resistência de aderência ao arrancamento das peças cerâmicas assentadas com as argamassas colantes no painel teste aos 28 dias de idade	85
Tabela 21 – Resultados dos ensaios da resistência de aderência ao arrancamento das peças cerâmicas assentadas com as argamassas colantes no painel teste aos 56 dias de idade	85
Tabela 22 – Resultados dos ensaios da resistência de aderência ao arrancamento das peças cerâmicas assentadas com as argamassas colantes no painel teste aos 84 dias de idade	86

Tabela 23 – Ensaio de resistência de aderência ao arrancamento das peças cerâmicas assentadas com as argamassas colantes nos protótipos do painel teste após 150 dias de cura ao ar e 13 dias em câmara de aceleração do intemperismo.....	89
Tabela 24 – Resumo dos resultados das quatro amostras selecionadas para os estudos de desempenho	91
Tabela 24 – Resumo dos resultados das quatro amostras selecionadas para os estudos de desempenho	92
Tabela 25 – Relação entre resistência de aderência e deformação	96

LISTA DE ABREVIATURAS

ABAI	Associação Brasileira das Argamassas Industrializadas
ABCP	Associação Brasileira do Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	Argamassa Colante tipo I
ACII	Argamassa Colante tipo II
ACIII	Argamassa Colante tipo III
AECweb	Arquitetura, Engenharia e Construção WEB
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica
BIIa	B (método de fabricação prensado), IIa (grupo de absorção de água entre 3% e 6%)
CPIIE	Cimento Portland composto com adição de escória
CPV ARI	Cimento Portland de alta resistência inicial
DSC	Calorimetria exploratória diferencial
EPU	Expansão por umidade
GL	Cerâmica com acabamento da superfície esmaltado
HEC	Hidromietil celulose
ISO	International Organization for Standardization
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
MHEC	Metil hidroxietil celulose
NBR	Norma Brasileira
Tg	Temperatura transição vítrea
UGL	Cerâmica com acabamento da superfície não esmaltado
VAE	Vinil-acetato de etileno

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

%	porcentagem
m	metro
mm	milímetro
MPa	Mega Pascal
mPa.s	milipascal segundo
N	Newton

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 ARGAMASSA COLANTE: REVISÃO DA LITERATURA	22
2.1 Conceitos	22
2.1.1 Sistemas de revestimentos	22
2.1.2 Uso de cerâmica no Brasil	24
2.1.3 Uso de argamassas industrializadas no Brasil	24
2.1.4 Patologias dos sistemas de revestimento	25
2.1.5 Argamassas colantes	29
2.1.6 Cerâmicas	31
2.1.7 Polímeros	33
2.1.8 Aderência	34
2.1.9 Argamassas de emboço	35
2.1.10 Processos Executivos: Boas práticas	40
2.1.11 Desempenhos	41
2.1.12 Norma de desempenho NBR 15575:2013	41
2.2 Fundamentos teóricos	43
3 MÉTODOS E MATERIAIS	52
3.1 Materiais	54
3.2 Matriz de variações das dosagens das argamassas colantes	56
3.3 Ensaio	57
4 RESULTADOS	68
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	93
5.1 Ensaio de Resistência de Aderência e Tempo em Aberto segundo a NBR 14081-4:2012 e NBR 14081-3:2012	93
5.2 Ensaio de resistência de aderência à tração pelo arrancamento de placas cerâmicas aderidas baseado na NBR 13755:2017	93
5.3 Ensaio da deformação transversal segundo EN 12004-2:2017	94
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
7 SUGESTÃO TRABALHOS FUTUROS	99
REFERÊNCIAS	100

1 INTRODUÇÃO

Os revestimentos de fachada são compostos, basicamente, por uma base de alvenaria ou concreto, argamassa de emboço e/ou uma camada fina de regularização denominada reboco, somados aos diversos revestimentos decorativos aderidos entre eles, disponíveis no mercado. Será enfatizado neste trabalho o sistema composto por uma base de emboço aplicada sobre um sistema de alvenaria de vedação, argamassa colante e cerâmica.

No entanto, o foco deste trabalho é estudar o desenvolvimento de uma argamassa colante polimerizada e suas interfaces, com análise do comportamento de aderência e flexibilidade, baseado nos tipos de polímeros diferenciados pela sua característica da temperatura de transição vítrea (T_g).

A transição vítrea de um polímero é uma das fundamentais propriedades térmicas e pode ser usada para distinguir duas categorias de polímeros: os plásticos e os elastômeros (borrachas). Baseado nas temperaturas aplicadas a um material sólido rígido, em função das energias de ativação, as cadeias poliméricas se transformam em um material borrachoso.

As argamassas colantes geralmente são compostas por cimento Portland, agregados finos, aditivos retentores de água e polímeros. Segundo a NBR 14081-1:2012, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a argamassa colante é “[...] definida como um produto industrial, no estado seco, composto por cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos que, quando misturados com água, formam uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento.”(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012a)

O desenvolvimento da argamassa colante partiu da avaliação prévia da combinação de um celulósico de viscosidade na casa dos 60 000 mPa.s com os polímeros do tipo vinil-acetato de etileno (VAE) disponibilizados, no que tange ao tempo em aberto expedito da argamassa colante aplicada em um substrato padrão que foi executado segundo NBR 14081-2 Anexo A (ABNT) e adquirido na Associação Brasileira Cimento Portland (ABCP), que é o tempo que a argamassa se mantém fresca sob temperatura ambiente e umidade relativa do ar (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012b Anexo A).

O comportamento dos materiais constituintes de uma argamassa colante e suas respectivas formulações existentes no mercado, as argamassas colantes dos tipos ACII e ACIII, classificação segundo NBR 14081-1 (ABNT), tipos mais usuais no Brasil - ainda geram dúvidas quanto à segurança e durabilidade dos sistemas de revestimentos compostos por uma base cimentícia e cerâmicas aderidas nas fachadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012a).

Desde a década de 1960, e com maior incidência nas décadas de 1980 e 1990, as edificações passaram a receber em seus revestimentos externos de fachada um sistema composto por uma base de argamassa de emboço ou reboco, argamassa colante e cerâmica. Na década de 1960 as cerâmicas eram assentadas pelo método popularmente chamado de “bolinho”, uma mistura robusta de cimento e areia. Já nas décadas de 1980 e 1990, as argamassas colantes utilizadas para aderir a cerâmica ao emboço foram do tipo ACII e ACIII e chamadas, popularmente, de argamassas polimerizadas ou argamassas flexíveis.

No entanto, patologias começaram a se manifestar nas fachadas em cerâmica e a mais comum, e considerada mais crítica, era o descolamento na interface cerâmica e argamassa colante. Diversas foram as análises a fim de identificar a real origem das patologias que passaram a ter grande presença nas edificações, principalmente, mais esbeltas e com fachadas muito expostas à incidência de sol, vento e chuva dirigida.

Os descolamentos cerâmicos foram considerados os mais graves por se tratar do risco de morte ao atingir um pedestre na rua ou um morador da edificação no ato da queda de uma peça cerâmica. Esses descolamentos podem ocorrer a partir da perda de aderência das placas cerâmicas com o substrato ou com a argamassa colante devido à presença de tensões que podem vir a exceder a capacidade de aderência e as interações entre esses materiais (BARROS; SABATINI, 2001 *apud* VALENTINI; KAZMIEMRCÉZXAICKO, 2016). Outra causa dos descolamentos é a ocorrência do assentamento cerâmico sobre uma argamassa colante que venha a apresentar o seu tempo em aberto excedido com a presença da formação de película superficial, impedindo a impregnação da argamassa colante no tardo da cerâmica e, conseqüentemente, seu espalhamento e aderência. Os fatores externos como choque térmico, incidência solar, chuva dirigida, incidência de ventos, exercem maior influência na degradação dos sistemas de revestimento externos contribuindo significativamente para estas patologias (ANTUNES, 2010 *apud* VALENTINI; KAZMIEMRCÉZXAICKO, 2016).

Estudos evoluíram, mas a execução de fachadas com peças cerâmicas coladas nas bases argamassadas se tornou um paradigma abrindo espaço para outros sistemas de revestimento eficazes, mas necessitando de manutenções e recuperações com maior frequência.

Logo, de acordo com as discussões, a argamassa colante e seu desempenho a partir de suas propriedades mecânicas foram colocados em pauta relacionando-se a durabilidade do sistema de revestimento com o assentamento cerâmico e a real flexibilidade das argamassas colantes, assim como o seu tempo em aberto em que se questionava o tipo e a quantidade de retentores de água contidos nas formulações. Outra discussão foi em relação à expansão por umidade das peças cerâmicas. Assim as características das argamassas colantes

poderiam não apresentar desempenhos adequados para dissipar as tensões oriundas da dilatação higroscópica das cerâmicas.

As manifestações patológicas com o descolamento cerâmico fizeram parte de um universo de 84% dos edifícios analisados, caracterizadas pela ruptura adesiva na interface argamassa colante e cerâmica (MANSUR, 2012 *apud* VALENTINI; KAZMIEMRCÉZXAICKO, 2016), região do sistema mais solicitada por esforços de cisalhamento, quando são considerados efeitos térmicos e de expansão higroscópica das placas cerâmicas.

Logo, com este trabalho, a intenção foi buscar o desenvolvimento de uma argamassa colante a fim de encontrar um produto com características adequadas ao revestimento cerâmico nas grandes edificações, baseado na durabilidade do sistema de acordo com a norma de desempenho NBR 15.575:2013 (ABNT), principalmente, para resistir aos esforços de cisalhamento e térmicos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c). Foi combinado o tipo de polímero vinil-acetato de etileno (VAE) utilizado na dosagem das variações propostas das argamassas colantes, considerando, principalmente, suas características de temperatura na transição vítrea (T_g) e um tipo de celulósico (retentor de água), disponível no mercado, a fim de buscar uma melhor interação desses componentes para o atendimento das exigências normativas e dos fatores extrínsecos.

A dosagem teve como ponto de partida dois teores de consumos de cimento, fixando o consumo de polímero e o consumo de celulósico, porém variando os tipos de polímeros a fim de buscar um equilíbrio de flexibilidade e desempenho mecânico que venha atender as diversas solicitações que uma fachada sofre ao longo dos ciclos de temperatura e umidade, durante a sua vida útil e de exposição aos intemperismos, movimentações higrotérmicas e até mesmo estruturais.

Foi preparada uma argamassa padrão variando apenas os tipos de polímeros para dois teores de cimento, buscando como parâmetro a melhor relação polímero/cimento e dosagem de celulósico.

Baseado nas intenções deste trabalho acredita-se que poderá ser demonstrada a durabilidade dos sistemas constituídos com emboço, argamassa colante e cerâmica considerando as características da argamassa colante desenvolvida para essa finalidade de uso e aplicação, a fim de garantir a correta especificação dos materiais constituintes, suas interações com foco no desempenho do sistema e na interface cerâmica e argamassa colante.

O objetivo geral deste trabalho é definir uma argamassa colante polimerizada específica para revestimentos externos sob as influências das movimentações intrínsecas e extrínsecas dos sistemas de revestimento.

Para se alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram determinados:

- a) verificar a influência do Tg (Temperatura de transição vítrea), característica térmica dos polímeros, no comportamento das argamassas colantes;
- b) avaliar a influência dos teores de cimento na flexibilidade das argamassas colantes baseado nos tipos de polímeros e suas características de transição vítrea (Tg);
- c) verificar quanto a durabilidade do sistema de revestimento executado com os tipos de argamassas colantes desenvolvidas.

Para melhor compreensão este texto foi dividido em sete seções, sendo a primeira esta introdução. Na seção **2** é apresentada a revisão de literatura enquanto na seção **3** descrevem-se os métodos e materiais. Já na seção **4** estão os resultados da pesquisa enquanto na seção **5** eles são discutidos. Na seção **6**, por sua vez, estão as considerações finais e na seção **7** são apresentadas sugestões de trabalhos a serem realizados no futuro. As referências encontram-se no final do texto.

2 ARGAMASSA COLANTE: REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção são apresentados alguns conceitos que possam traduzir o desenvolvimento de uma argamassa colante com características que venham a contribuir para o desempenho de um sistema de revestimento constituído em sua etapa decorativa de cerâmicas aderidas sobre uma base argamassada nas fachadas das edificações.

Serão apresentados, também, alguns fundamentos teóricos que sustentam a tese de adotar-se a extensão de aderência simultaneamente aos resultados de resistência de aderência e tempo em aberto das argamassas colantes, para a definição de, pelo menos, quatro formulações que foram submetidas aos testes complementares que contribuíram para as análises de resultado e conclusão desta dissertação.

Diante dos objetivos apresentados podem-se considerar alguns conceitos e comentários.

2.1 Conceitos

Nesta seção são apresentados os conceitos utilizados no decorrer da pesquisa assim como a contextualização do uso de revestimentos de cerâmica no Brasil.

2.1.1 Sistemas de revestimento

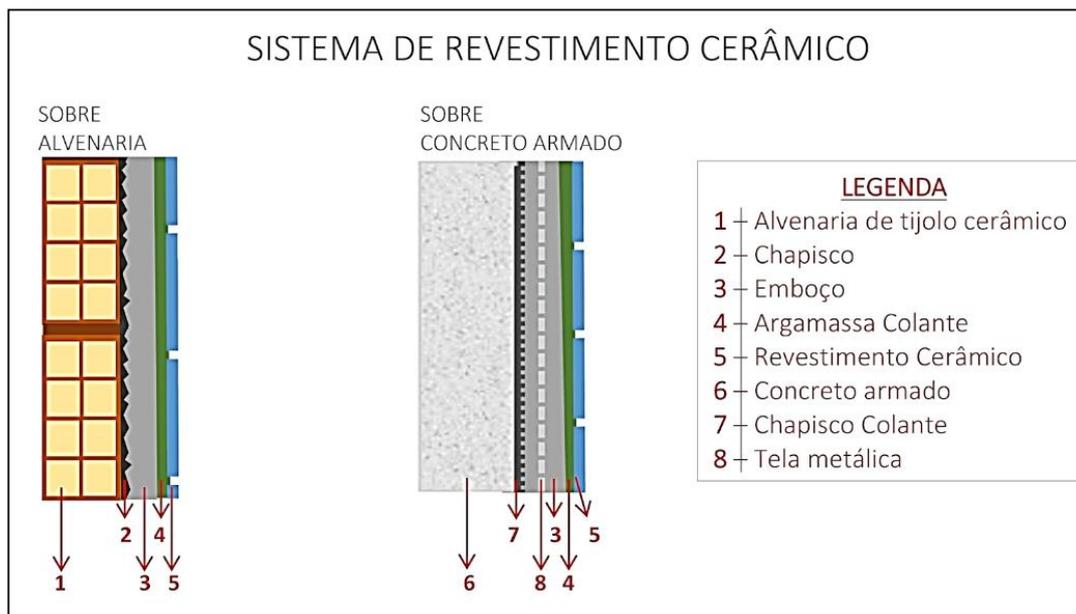
O sistema de revestimento de uma fachada é basicamente composto por emboço e materiais decorativos, teoricamente, aderidos sob este emboço ou reboco.

Pode-se ilustrar um sistema de revestimento externo com aplicação de argamassa colante e cerâmica, de acordo com o desenho esquemático da figura 1 (MANSUR, 2007).

Um sistema de revestimento argamassado, composto na sua etapa decorativa de placas cerâmicas aderidas sobre um emboço através de uma argamassa colante, deve ser tratado a partir de critérios executivos adequados e de um projeto que venha a especificar os materiais de acordo com a compatibilidade entre eles a fim de garantir a melhor interação em suas interfaces.

Cerâmicas revestindo as fachadas das edificações são especificadas desde a década de 60, porém, na década de 90 houve um aumento significativo da sua utilização nas fachadas das edificações mostrando uma arquitetura mais sofisticada e conceito de durabilidade.

Figura 1 – Desenho esquemático sistema de revestimento com assentamento cerâmico



Fonte: PARENTE, Lawton. Sistema-de-revestimento-cerâmico. *In*:BLOG.

Os sistemas de revestimento, segundo Cincotto, Kazmierczak e Carasek (1995), têm como principais funções:

- a) proteger os elementos de vedação de um edifício;
- b) auxiliar as vedações nos cumprimentos de suas funções tais como o isolamento termo acústico e a sua estanqueidade à água;
- c) constituir o acabamento final.

Salienta-se que será tratado neste trabalho um sistema de revestimento aderido, buscando uma argamassa colante que venha contribuir, baseado em suas características, para a durabilidade deste sistema, avaliando as interfaces da aderência, porém com um maior foco na interface cerâmica e argamassa colante.

A partir das argamassas colantes trabalhadas e analisadas, definiu-se por quatro formulações que apresentaram resultados mais compatíveis com os objetivos deste trabalho. Assim elas farão parte de um sistema de revestimento composto por alvenaria construída com blocos de concreto de vedação, chapisco tradicional traço 1:3 (cimento: areia grossa), argamassa de emboço para revestimentos externos e a etapa decorativa constituída por cerâmica semi grés (Tipo B1a) e argamassas colantes desenvolvidas neste trabalho.

2.1.2 Uso de cerâmica no Brasil

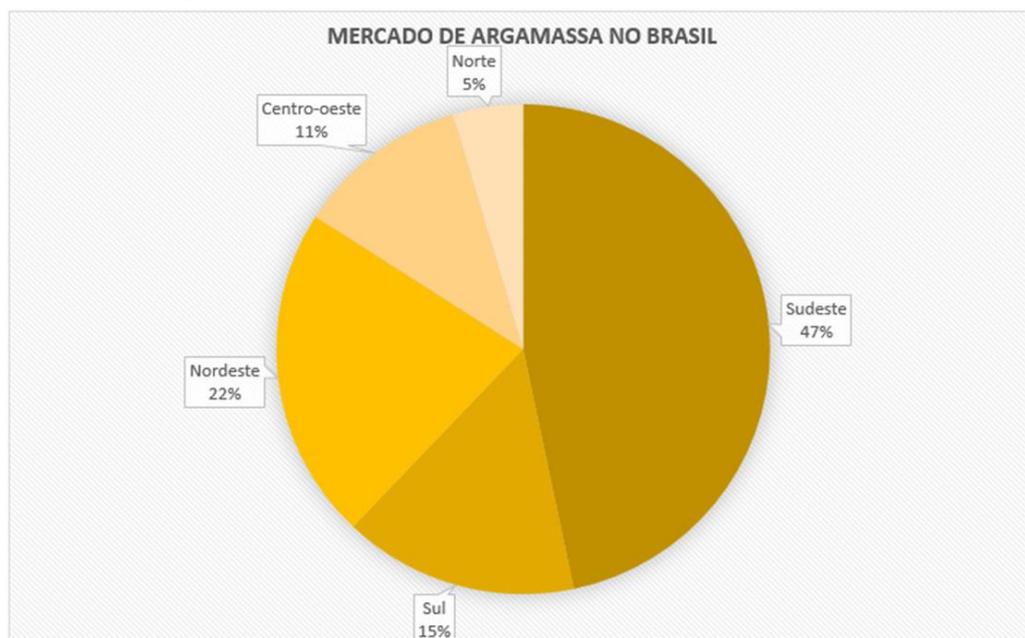
O Brasil é um dos principais protagonistas no mercado mundial de revestimentos cerâmicos, ocupando a segunda posição em produção e consumo, segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica (ANFACER). Em 2016, foram produzidos 792 milhões de metros quadrados para uma capacidade instalada de 1 048 milhões de metros quadrados.

As vendas totais atingiram 800,3 milhões de metros quadrados, dos quais 706 milhões de metros quadrados foram vendidos no mercado interno e 94,3 milhões de metros quadrados exportados.

2.1.3 Uso de argamassas industrializadas no Brasil

Assim sendo, de acordo com a Associação Brasileira das Argamassas Industrializadas (ABAI), o uso de argamassa colante industrializada no Brasil, historicamente, iniciou-se na década de 70. As argamassas industrializadas, hoje, representam uma capacidade de consumo no Brasil em torno de 120 milhões de toneladas, distribuída de acordo com o gráfico 1.

Gráfico 1 – Distribuição do consumo das argamassas industrializadas no Brasil, por região – 2015



Fonte: <https://abai.org.br/> – Acesso em: mar. 2019.

As argamassas colantes também evoluíram, não só em relação ao seu consumo, mas também, em relação às suas composições e características. A primeira norma aprovada para estabelecer critérios de aceitação e rejeição das argamassas colantes foi publicada em 1998

(NBR 14081 – Argamassa colante Industrializada para assentamento de placas de cerâmica) e a primeira norma que passou a tratar do desempenho dos sistemas de revestimento, incluindo os sistemas com a aplicação de cerâmicas com argamassas colantes foi publicada em 1996 (NBR 13755 – Revestimento de paredes e fachadas com placas cerâmicas).

A evolução se deu a partir de estudos que questionavam a interação dos materiais constituintes baseados em suas características intrínsecas e as diferenças de comportamentos voltadas para as condições de contorno que envolviam fatores climáticos e fatores voltados ao processo executivo.

Passou-se, assim, a classificar as argamassas colantes a partir de suas características de desempenho que são definidas pela sua constituição e aplicação, como a presença ou não de polímeros e quanto ao seu tempo de abertura, tempo este necessário para o assentamento cerâmico sob uma argamassa colante ainda fresca, ou seja, em condições de uso.

No entanto, com a evolução do uso dos revestimentos em cerâmica e, logo em seguida, da presença de inúmeras patologias, buscou-se melhor caracterizar as argamassas colantes e revisar as normas técnicas para o atendimento de todos os requisitos de desempenho do sistema em função das influências que possivelmente sofreria, principalmente, as influências voltadas ao processo executivo pela falta de mão de obra treinada e às condições de exposição.

Salienta-se que a base (alvenaria/concreto), argamassa de emboço, e as cerâmicas utilizadas também sofreram estudos e também contribuíram para as manifestações patológicas.

2.1.4 Patologias dos sistemas de revestimento

Os descolamentos que ocorrem na interface argamassa colante e cerâmica são os mais frequentes, conforme Ribeiro (2019). As patologias dos revestimentos externos, também, podem ocorrer nas camadas internas do sistema.

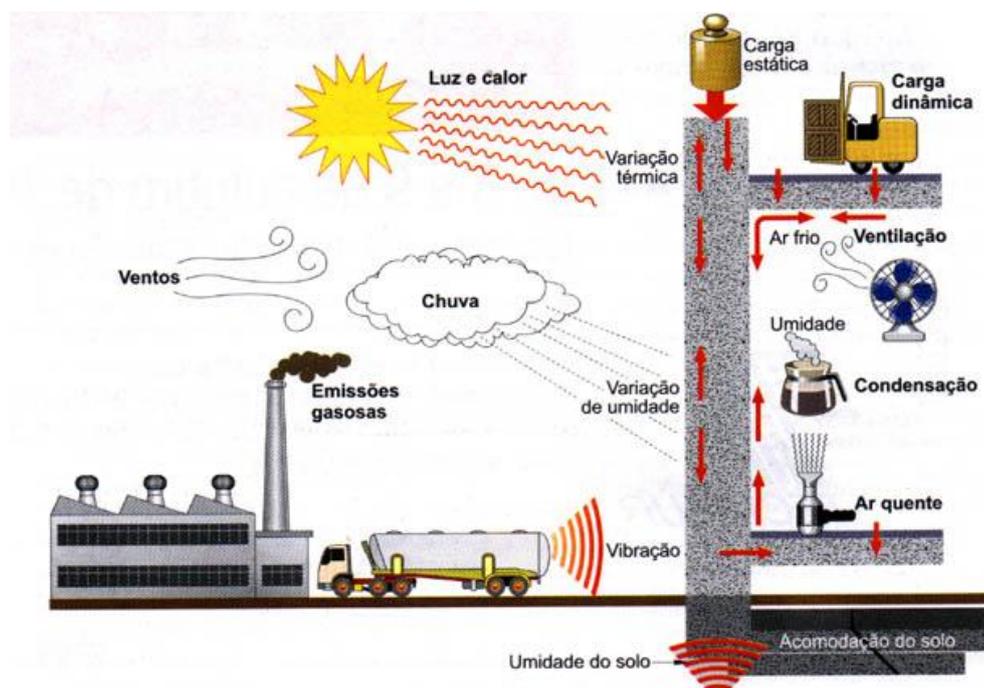
São diversos os fatores responsáveis pela presença de tais patologias nos revestimentos de fachadas. Estão, na maioria das vezes, na especificação incorreta dos materiais constituintes, ineficiência dos processos executivos, considerando a não avaliação prévia das condições de contorno, assim como, defeitos ou vícios dos materiais constituintes.

Deve-se considerar que os efeitos dos intemperismos e as variações climáticas podem influenciar diretamente no processo executivo, na sua durabilidade e contribuir para as manifestações patológicas em questão.

De acordo com Galletto e Andrello (2013), os descolamentos cerâmicos estão associados principalmente a:

- a) descuido da mão de obra no preparo das argamassas colantes;
- b) utilização da argamassa colante após ter excedido o seu tempo em aberto;
- c) pressão inadequada para o assentamento cerâmico na parede, ou seja, o não esmagamento dos cordões da argamassa;
- d) infiltração de água;
- e) contaminação do tardo por poeiras, gorduras e outras sujidades;
- f) inexistência ou deterioração das juntas de movimentação.

Figura 2 – Influência dos fatores extrínsecos e intrínsecos à durabilidade dos sistemas de revestimento



Fonte: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Instituto de Arquitetura e Urbanismos. **Projeto**. [São Paulo: Universidade de São Paulo. Instituto de Arquitetura e Urbanismos, _____ ano]. Disponível em: <https://www.iau.usp.br/pesquisa/grupos/arqtema/erica/cdrom-erika/projeto.htm>. Acesso em: mar 2019.

Figura 3 – Exemplo do descolamento da cerâmica típico do “tempo em aberto” da argamassa colante vencida



Fonte: RIBEIRO, Fabiana Revestimento de fachada. **AECWEB**
Disponível em: www.aecweb.com.br. Acesso em: jan. 2019.

Figura 4 – Exemplo do descolamento da cerâmica na interface cerâmica e argamassa colante



Fonte: www.homedecora.com.br –
Acesso em: mar. 2019

Destaca-se que, em se tratando dos destacamentos cerâmicos, muitas das vezes a origem das patologias se dão por problemas na argamassa de emboço ou no reboco (camada fina de regularização), base para o assentamento cerâmico com a argamassa colante. Assim,

dentro das propostas deste estudo, não se aprofundará nas manifestações patológicas da camada de argamassa de emboço ou reboco, mas, será avaliado o comportamento de aderência e interação na interface argamassa colante e cerâmica para a interpretação dos resultados quando da ruptura na argamassa de emboço e outras interfaces.

As manifestações patológicas foram destaque em várias capitais do país. Foi realizado um estudo estatístico, quanto às principais manifestações patológicas no Distrito Federal (BAUER, 2011).

No entanto, é possível encontrar na bibliografias diversas e representações gráficas que apontam estatisticamente as patologias nos revestimentos cerâmicos, principalmente em fachadas, conforme representado no gráfico 2.

Na cidade de Belo Horizonte, as manifestações patológicas foram críticas com diversos processos judiciais contra as construtoras que, por sua vez, acionavam os fabricantes dos materiais constituintes dos sistemas de revestimento com assentamento cerâmico.

Gráfico 2 – Principais manifestações patológicas e sua participação nas fachadas dos edifícios



Fonte: BAUER, Elton; CASTRO, Eliane Kraus de; ANTUNES, Giselle Reis. Processo de identificação das manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 9, 2011, Belo Horizonte. [Belo Horizonte: Comunidade da Construção, 2011].

Tratando-se dos materiais constituintes do sistema de revestimento em questão, destaca-se que na década de 90, quando as manifestações patológicas começaram a aparecer com maior incidência, a fachada composta com cerâmica aderida à base se tornou um grande paradigma, mesmo entendendo das vantagens como o conforto térmico, durabilidade e

diminuição da constância de manutenções. Apontam-se algumas questões que se discutiram sobre os materiais:

- a) argamassa colante com quantidade de retentor de água na sua composição inferior ao necessário, devido aos níveis de exposição da fachada;
- b) argamassa colante com baixos níveis de polimerização, ou seja, dosagem inadequada com menor percentual de polímero e maior percentual de cimento, enrijecendo a argamassa colante;
- c) cerâmicas com alto índice de expansão por umidade (dilatação higroscópica);
- d) cerâmicas com presença excessiva de engobe;
- e) cerâmicas com alto índice de absorção de água;
- f) argamassa de emboço com presença de pulverulência superficial;
- g) argamassa de emboço com a presença de fissuras mapeadas e som cavo.

Obviamente que os fatores como incidência de sol e vento durante o processo executivo influenciam diretamente na eficiência dos mesmos e muitas manifestações patológicas se iniciam pela perda precipitada do tempo em aberto da argamassa colante aplicada, conforme já mencionado. Nesses casos sempre é aconselhável que durante o processo executivo se proteja a fachada a fim de evitar estas interferências.

As características das edificações quanto a sua esbeltez podem também interferir nos descolamentos dos revestimentos cerâmicos. Assim, foi dado um maior foco à polimerização das argamassas colantes, tornando-as mais flexíveis a ponto de dissiparem tensões oriundas dos movimentos estruturais e higrotérmicos devido à sua extensão de aderência e, principalmente, flexibilidade.

2.1.5 Argamassas colantes

Segundo a norma da ABNT NBR 14081-1:2012, a argamassa colante ensacada é definida como um produto industrial, no estado seco, composto por cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos que, quando misturados em água, formam uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas sobre os revestimentos argamassados.(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012a).

As argamassas colantes são classificadas pelo seu tempo de abertura o qual é definido por norma como o maior intervalo de tempo que a placa cerâmica pode ser assentada sobre a pasta de argamassa colante e por suas resistências de aderência por tração que é definida

pela ruptura em determinada idade e condições de cura, do conjunto constituído de substrato padrão, argamassa colante endurecida e placa cerâmica.

Ainda de acordo com mesma norma da ABNT, NBR 14081-1:2012, a argamassa colante é classificada como:

- a) Argamassa colante industrializada tipo I – ACI: Argamassa colante industrializada com características de resistência às solicitações mecânicas e termohigrométricas típicas de revestimentos internos, com exceção daquelas aplicadas em saunas, churrasqueiras, estufas e outros revestimentos especiais.
- b) Argamassa colante industrializada tipo II – ACII: Argamassa colante industrializada com características de adesividade que permitem absorver os esforços existentes em revestimentos de pisos e paredes internos e externos sujeitos a ciclos de variação termohigrométricas a à ação do vento.
- c) Argamassa colante industrializada tipo III – ACIII: Argamassa colante industrializada que apresenta aderência superior em relação às argamassas tipo I e tipo II (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012a).

A norma ainda cita as argamassas colantes com o tempo em aberto estendido (E) e com o deslizamento reduzido (D). Quanto aos requisitos de desempenho deve-se atentar às especificações da tabela 1.

Tabela 1 – Requisitos das argamassas colantes

Requisito	Critério		
	ACI	ACII	ACIII
	Tempo em aberto		
	≥ 15 min	≥ 20 min	≥ 20 min
Resistência de aderência à tração aos 28 dias de idade			
Cura normal	≥ 0,5 MPa	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa
Cura submersa	≥ 0,5 MPa	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa
Cura estufa	NA	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa

Fonte: dados básicos: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081:1**. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – parte 1: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012a.

Elaboração: Autora.

Nota: AC: Argamassa colante. Min: Minutos. MPa: Mega Pascal. NA: Não aplicável.

Serão utilizadas argamassas dentro dos conceitos dos tipos ACII e ACIII, a serem classificadas de acordo com esses requisitos, porém definidas para atenderem às solicitações de uma fachada diante de tantas interferências.

2.1.6 Cerâmicas

As placas cerâmicas para revestimentos são definidas como um material composto de argila e outras matérias primas inorgânicas, geralmente utilizadas para revestir pisos e paredes, sendo conformadas por extrusão (representada pela letra A) ou por prensagem (representada pela letra B), podendo ser conformada por outros processos (representados pela letra C). As placas são, então, secadas e queimadas à temperatura de sinterização (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997a). Podem ser esmaltadas ou não esmaltadas em correspondência aos símbolos GL (*glazed*) ou UGL (*unglazed*), conforme ISO 13006:2018 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018). As placas são incombustíveis e não afetadas pela luz.

As cerâmicas para revestimentos são classificadas conforme apresentado no quadro 1 e na tabela 2.

Baseado nas classificações considera-se o quadro 2 como uma referência quanto à escolha do tipo material, neste estudo será utilizada cerâmicas semi-grés assentadas no painel teste com as argamassas colantes desenvolvidas.

Quadro 1 – Codificação dos grupos de absorção de água das cerâmicas de revestimento em função dos métodos de fabricação

Absorção de água (%)	Métodos de Fabricação		
	Extrudado (A)	Prensado (B)	Outros (C)
Abs ≤ 0,5	AI	Bla	CI
0,5 < Abs ≤ 3,0		B Ib	
3,0 < Abs ≤ 6,0	AIIa	BIIa	CIIa
6,0 < Abs ≤ 10,0	AIIb	BIIb	CIIb
Abs > 10,0	AIII	BIII	CIII

Fonte: dados básicos: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13817**. Placas para cerâmicas de revestimento: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997b.

Elaboração: Autora.

Tabela 2: Grupo de absorção de água das cerâmicas de revestimento

Grupos	Absorção de água (%)
Ia	$0 < \text{Abs} \leq 0,5$
Ib	$0,5 < \text{Abs} \leq 3,0$
IIa	$3,0 < \text{Abs} \leq 6,0$
IIb	$6,0 < \text{Abs} \leq 10,0$
III	Abs acima de 10,0

Fonte: dados básicos: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13817**. Placas para cerâmicas de revestimento: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997b.

Elaboração: Autora.

Quadro 2 – Denominação das cerâmicas de revestimento de acordo com seu índice de absorção de água

Grupo	Absorção de água (%)	Denominação
Bla	$\leq 0,1$	Porcelanatto técnico
	$\leq 0,5$	Porcelanatto esmaltado
B Ib	0,5 a 3	Grês
B IIa	3 a 6	Semi grês
B IIb	6 a 10	Semi poroso
B III	≥ 10	Poroso

Fonte: www.incepa.com.br – Acesso em: mar. 2019

Uma das características das cerâmicas, que é bastante discutida diante das inúmeras patologias desses revestimentos cerâmicos, é a expansão por umidade (EPU). De acordo com Bauer e Rago (2000), houve, no início dos anos 2000, grandes discussões sobre essa característica da cerâmica, a qual foi dada como uma das causas das manifestações patológicas. A expansão por umidade trata-se da reidratação por adsorção de água em forma de vapor de umidade natural e do meio ambiente onde for assentada.

Logo, a expansão por umidade (EPU), também chamada de dilatação higroscópica, é, portanto, o aumento da dimensão da placa cerâmica na presença de umidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997a, Anexo J).

2.1.7 Polímeros

Tratando-se dos objetivos gerais e específicos deste trabalho, o foco do desenvolvimento desta dissertação é encontrar uma formulação de argamassa colante flexível e específica para uso em fachadas. No entanto, poderá ser possível definir uma relação polímero/cimento como referência de uma argamassa para essa finalidade.

Sendo o polímero o aditivo de estudo, o polímero utilizado foi um copolímero do tipo VAE. Os polímeros são macromoléculas constituídas de unidades repetitivas, ligadas através de ligações covalentes.

As moléculas nos polímeros são gigantescas comparadas às moléculas de hidrocarbonetos, de acordo com Callister Júnior e Rethwisch (2012), assim, devido ao seu tamanho, elas são chamadas com frequência de macromoléculas. As cadeias moleculares podem ser compostas por uma ou mais unidades repetidas diferentes, formando o que é denominado de copolímero.

Os polímeros são classificados estruturalmente como estruturas lineares, ramificadas e reticuladas. Os polímeros em estudo apresentam estruturas ramificadas tendo em sua estrutura moléculas de carbono e hidrogênio.

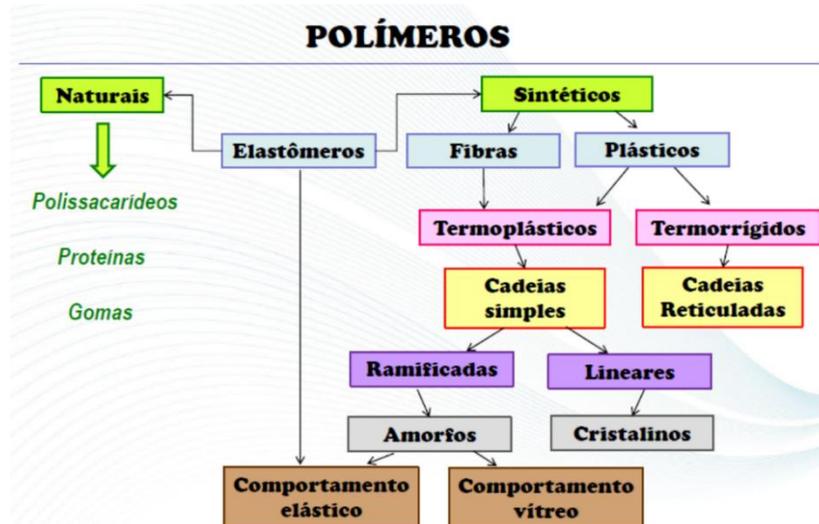
Das características dos polímeros, foi focado nas temperaturas de transição vítrea (T_g), em que serão diferenciados os polímeros aplicados na dosagem das argamassas, pois o aditivo em questão será a única variável para cada teor de cimento.

A transição vítrea é definida como aquela que ocorre em polímeros amorfos (ou vítreos) e semicristalinos, e é devida a uma redução no movimento de grandes segmentos de cadeias moleculares causada pela diminuição da temperatura. No resfriamento, a transição vítrea corresponde a uma transformação gradual de um líquido em um material borrachoso e, finalmente, em um sólido rígido. A temperatura na qual o polímero apresenta a transição do estado borrachoso para o estado rígido é denominada temperatura de transição vítrea (CALLISTER JÚNIOR; RETHWISCH, 2012).

A temperatura de transição vítrea (T_g) varia de + 25°C a - 25°C, de acordo com o teor de etileno que é um plastificante interno. A introdução de plastificantes pode reduzir a temperatura de transição vítrea.

A temperatura de transição vítrea (T_g) é uma das propriedades térmicas fundamentais e pode ser utilizada para distinguir duas categorias de polímero: os plásticos e os elastômeros.

Gráfico 3 – Síntese da classificação de polímeros



Fonte: OLIVEIRA, Michelle. POLÍMEROS: o que são, suas aplicações e as áreas de formações técnicas e acadêmicas. *In*: SEMANA DE POLÍMEROS, 7., 2013, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Instituto Macromoléculas, UFRJ, 2013.

De uma forma mais simples, o conceito da temperatura de transição vítrea poderá ser compreendido por uma temperatura de utilização abaixo da T_g da qual um polímero amorfo se torna duro e frágil (estado vítreo), e acima da qual o mesmo polímero é macio, flexível (borrachoso).

2.1.8 Aderência

Um conceito prático, aderência é a propriedade de adesão das argamassas influenciada pela condição superficial do substrato, pelos materiais componentes da argamassa, pela capacidade de retenção de água e pela espessura do revestimento (SANTOS, 2016). Barros e Sabbatini (1998) afirmam que a aderência é uma propriedade que o revestimento tem em manter-se fixo ao substrato, por intermédio da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface base-revestimento. É resultante da resistência de aderência à tração, da resistência de aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa.

A aderência depende das propriedades da argamassa no estado fresco, dos procedimentos de execução do revestimento, da natureza e características da base e da sua limpeza superficial.

A aderência é:

- a) um fenômeno mecânico e químico;
- b) função da resistência e da extensão do contato entre os materiais.

A resistência de aderência é:

- a) mecanismo de ancoragem: físico;
- b) ancoragem mecânica da pasta nos poros da base: Sucção – veiculação de pasta de cimento para os poros da base;
- c) ancoragem mecânica da argamassa nas reentrâncias e saliências macroscópicas da base (Extensão de aderência);
- d) contato: argamassas polimerizadas como promotora da aderência química.

Figura 5 – Representação da aderência por meio da sucção da pasta de cimento para os poros da base e extensão de aderência e as falhas na extensão de aderência



Fonte: CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G.C. (Org.) **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. p. 804-863

2.1.9 Argamassas de emboço

Argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais, como filler calcário (CARASEK, 2007).

Verifica-se que o emboço tem como finalidade cobrir e regularizar a superfície de base ou chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada de reboco ou de revestimento decorativo, ou que se constitua no acabamento final (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a).

Será aplicada como base para o revestimento cerâmico uma argamassa industrializada para revestimentos externos e internos, denominada por fabricantes como argamassa de assentamento e revestimento ou argamassa multiuso.

A argamassa para revestimento externo é indicada para revestimentos de fachadas, muros e outros elementos da edificação em contato com o meio externo, caracterizando-se como camada de regularização (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a).

As argamassas devem atender aos requisitos da norma da ABNT NBR 13281:2005, conforme características e propriedades, constantes nas tabelas de 3 a 9 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005e).

Tabela 3 – Resistência à compressão das argamassas

Classe	Resistência à compressão (MPa)	Método de ensaio
P1	≤ 2,0	NBR 13279
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5 (5,0)	
P5	5,5 a 9,0	
P6	> 8,0	

Fonte: dados básicos: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c.

Elaboração: Autora.

Nota: MPa: Mega Pascal. NBR: Norma Brasileira.

Tabela 4 – Densidade de massa aparente das argamassas no estado endurecido

Classe	Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m ³)	Método de ensaio
M1	≤ 1 200	NBR 13280
M2	1 000 a 1 400	
M3	1 200 a 1 600	
M4	1 400 a 1 800	
M5	1 600 a 2 000	
M6	> 1 800	

Fonte: dados básicos: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280:2005** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005d.

Elaboração: Autora.

Nota: kg/m³: quilograma por metro cúbico. NBR: Norma Brasileira.

Tabela 5 – Resistência à tração na flexão das argamassas

Classe	Resistência à tração na flexão (MPa)	Método de ensaio
R1	≤ 1,5	NBR 13279
R2	1,0 a 2,0	
R3	1,5 a 2,7 (2,0 a 2,4)	
R4	2,0 a 3,5	
R5	2,7 a 4,5	
R6	> 3,5	

Fonte: dados básicos: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c.

Elaboração: Autora.

Nota: MPa: Mega Pascal. NBR: Norma Brasileira.

Tabela 6 – Coeficiente de capilaridade das argamassas

Classe	Coeficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	Método de ensaio
C1	≤ 1,5	NBR 15259
C2	1,0 a 2,5	
C3	2,0 a 4,0	
C4	3,0 a 7,0	
C5	5,0 a 12,0	
C6	> 10,0	

Fonte: dados básicos: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259:2005**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005g.

Elaboração: Autora.

Nota: NBR: Norma Brasileira.

Tabela 7 – Densidade de massa no estado fresco das argamassas

Classe	Densidade de massa no estado fresco (kg/m ³)	Método de ensaio
D1	≤ 1 400	NBR 13278
D2	1 200 a 1 600	
D3	1 400 a 1 800	
D4	1 600 a 2 000	
D5	1 800 a 2 200	
D6	> 3,5	

Fonte: dados básicos: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278:2005**; Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

Elaboração: Autora.

Nota: %: porcentagem. NBR: Norma Brasileira.

Tabela 8 – Retenção de água das argamassas

Classe	Retenção de água (%)	Método de ensaio
U1	≤ 78	NBR 13277
U2	72 a 85	
U3	80 a 90 (83 a 85)	
U4	86 a 94	
U5	91 a 97	
U6	95 a 100	

Fonte: dados básicos: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277:2005** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a

Elaboração: Autora.

Nota: MPa: Mega Pascal. NBR: Norma Brasileira.

Tabela 9 – Resistência potencial de aderência à tração das argamassas

Classe	Resistência potencial de aderência à tração (MPa)	Método de ensaio
A1	< 0,20	
A2	≥ 0,20	NBR 15258
A3	≥ 0,30	

Fonte: dados básicos: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15258:2005**: argamassa para revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2005f.

Elaboração: Autora.

Nota: MPa: Mega Pascal. NBR: Norma Brasileira.

Os parâmetros em vermelho seriam as características consideradas mais adequadas quando se trata das características de desempenho das argamassas de base. No entanto, destaca-se que para serem alcançados os desempenhos desejados é necessário trabalhar as boas práticas executivas e escolher um fabricante de argamassa industrializada que se comprometa quanto ao atendimento dos parâmetros da norma técnica. Assim, a classificação da argamassa de emboço, que se utilizará como base para o assentamento da cerâmica com as argamassas colantes desenvolvidas, deverá seguir as classificações apresentadas no quadro 3 para uma argamassa de revestimento externo.

Quadro 3 – Exigência mecânicas e reológicas da argamassa de revestimento

-	Resistência à tração na flexão	Resistência à compressão	Coefficiente de capilaridade	Aderência
Argamassa de assentamento de vedação	≤ R3	≤ P4	--	--
Argamassa de revestimento interno	R2 a R4	P2 a P4	--	A2
Argamassa de revestimento externo	R3 a R5	P3 a P5	≤ C3	A3
Argamassa de uso geral	R2 a R5	P2 a P5	--	A3

Fonte: dados básicos: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**. Argamassa para assentamento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005e.

Elaboração: Autora.

O chapisco será aplicado sobre o bloco de concreto para alvenaria de vedação, dentro das suas funções para regularização da base alvenaria, equilíbrio da absorção de água dessa base e para a contribuição nas ancoragens mecânicas tanto para o desempenho de resistência de aderência à tração na interface argamassa e chapisco quanto para o combate ao esforço de cisalhamento.

2.1.10 Processos executivos: boas práticas

As boas práticas executivas iniciam-se pela contratação de um projeto que venha a contemplar todas as etapas e suas interferências, além de especificar os materiais de acordo com a tipologia da edificação e sua exposição.

No entanto, verifica-se que, além da especificação dos materiais constituintes, deve-se considerar as ferramentas e os equipamentos adequados a uma boa aplicação e seguir as recomendações de uso e aplicação segundo orientações do fabricante e de acordo com as normas técnicas vigentes.

A norma técnica da ABNT NBR 13755:2017 consiste na apresentação dos procedimentos para execução do sistema de revestimento de fachadas com a aplicação de cerâmicas e argamassa colante, abordando as etapas de projeto, execução, inspeção e aceitação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

Tratando-se do desempenho e durabilidade dos revestimentos cerâmicos, deve-se consultar a norma da ABNT NBR 15575:2013, norma essa de desempenho que trata da exigência do usuário. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c)

Serão detalhadas as exigências contidas em ambas as normas em função do tema desta dissertação com maiores detalhes e citações, uma vez que o foco é desenvolver uma argamassa colante para utilização nas fachadas baseado na durabilidade do sistema e quebrando paradigmas quanto ao tipo de revestimento aderido.

Assim, como princípio de uma boa prática executiva, observa-se a relevância do correto uso e aplicação de cada material durante o processo executivo, bem como o preparo das bases antes da aplicação de cada material.

Já para os revestimentos cerâmicos com o uso de argamassa colante, a norma é a ABNT NBR 13755:2017 que aborda aspectos relevantes como a correta especificação dos materiais constituintes do sistema, o projeto propriamente dito em relação às suas entradas e saídas, quanto à execução de juntas – sejam elas de movimentação ou de dessolidarização – ao detalhamento quanto ao processo executivo e suas etapas, além da sugestão de um cronograma executivo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

Salienta-se que o tipo de desempenadeira para aplicação da argamassa colante, assim como a definição das áreas da aplicação em função do tamanho da cerâmica, está especificado nessa norma técnica, recém revisada. Observa-se que ela é recomendada quanto à aplicação em dupla camada para cerâmica com áreas maiores ou iguais a 400 cm².

2.1.11 Desempenhos

Deve-se partir do princípio que para se ter um bom desempenho do sistema de revestimento, necessita-se passar por algumas etapas que antecedem ao processo executivo:

- a) projeto;
- b) domínio da tecnologia;
- c) suprimentos;
- d) mão de obra;
- e) controle de processo.

Assim sendo, considera-se que um eficiente planejamento das etapas, a especificação correta dos materiais constituintes, assim como a previsão das juntas de movimentação no revestimento, conduzirão a um aumento da vida útil do sistema proposto.

Busca-se, por intermédio do desenvolvimento de uma argamassa flexível para o assentamento de cerâmica nas fachadas, cumprir com as exigências de desempenho e durabilidade exigidos pela norma da ABNT NBR 15575:2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c).

2.1.12 Norma de desempenho NBR 15575:2013

A norma de desempenho NBR 15575:2013 é dividida em seis partes:

Parte 1 – Requisitos gerais;

Parte 2 – Requisitos para os sistemas estruturais;

Parte 3 – Requisitos para os sistemas de pisos;

Parte 4 – Requisitos para os sistemas de vedação verticais internas e externas;

Parte 5 – Requisitos para os sistemas de cobertura;

Parte 6 – Requisitos para os sistemas hidrossanitários (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c).

Dentre algumas características essenciais desta norma destacam-se:

- a) foco na exigência do usuário para o edifício habitacional e seus sistemas quanto ao comportamento durante o uso;
- b) essa norma é complementar às normas prescritivas e não as substitui;
- c) as demais normas possuem exigências complementares que devem ser integralmente cumpridas.

A partir dos resultados dos sistemas construtivos, de acordo com a norma de desempenho e com as normas prescritivas e complementares, é possível classificar as edificações de acordo com os requisitos definidos na parte 1, em três níveis de desempenho:

M – Requisitos mínimos obrigatórios;

I – Requisitos intermediários;

S – Requisitos superiores.

A norma de desempenho pode ser utilizada como um procedimento de avaliação e validação dos sistemas construtivos.

Considera-se que a vida útil de projeto de um sistema de vedação vertical deve ser, segundo a norma da ABNT NBR 15575:2013 – 1, igual ou superior a 40 anos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c). Ainda de acordo com a mesma norma, a vida útil do projeto, é o período estimado de tempo para o qual o sistema é projetado, a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos, levando-se em conta o atendimento às condições das normas aplicáveis, o estágio de conhecimento no momento do projeto e supondo o atendimento à periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção. A vida útil de projeto não pode ser confundida com o tempo de vida útil, durabilidade e o prazo de garantia legal (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c).

Assim, a norma da ABNT NBR 15575:2013 – 1 define, também, “a vida útil como sendo o período de tempo que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades as quais foram projetados e construídos, atendendo os níveis de desempenho previstos nesta norma” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c).

Diante do exposto, um passo a avançar é definir a durabilidade do sistema proposto neste estudo com a argamassa colante aprovada, com base nos testes realizados, considerando-se os resultados mecânicos e a extensão de aderência.

2.2 Fundamentos teóricos

As argamassas colantes em estudo, submetidas aos ensaios propostos nesta dissertação, foram desenvolvidas tendo como ponto de partida uma avaliação prévia do tempo em aberto expedido (*Quick Open Time*) e sua extensão de aderência.

Baseado na análise do preenchimento do tarsoz da cerâmica do tipo BIII utilizada no ensaio, observa-se a obtenção de dois tipos de adesão: coesiva e adesiva.

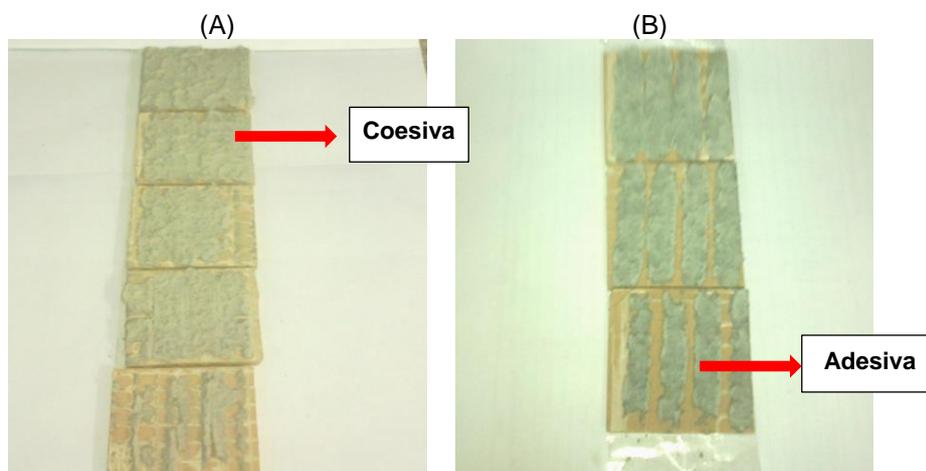
A adesão coesiva é caracterizada, conforme figura 6(A), como aquela que conferirá melhor resistência de aderência, pois, ao esmagar os cordões no posicionamento das placas cerâmicas sobre a argamassa colante, verifica-se o espalhamento da argamassa colante e maior área de contato da mesma com a placa cerâmica.

No entanto, a adesão adesiva caracterizada pela figura 6 (B), apresenta formação do desenho dos cordões da argamassa colante no tarsoz da cerâmica demonstrando pontos sem preenchimento que podem prejudicar o desempenho do sistema de revestimento.

O desenvolvimento teve início com a escolha dos materiais constituintes partindo de suas características ora avaliadas por intermédio dos resultados descritos em boletins técnicos dos fabricantes, ora ensaiados pela autora. Como o foco era estudar o desempenho dessas argamassas colantes, de acordo com as normas técnicas e sua extensão de aderência, sendo as mesmas aplicadas em uma simulação prática de um sistema de revestimento aderido, buscou-se a variação dos tipos de polímeros disponibilizados. Foram sendo testados os quantitativos de celulósicos que melhor combinariam com os polímeros e suas características específicas voltadas para a temperatura na T_g , que configuraria a definição de uma argamassa colante mais flexível e apropriada aos diversos fatores que podem influenciar nos descolamentos cerâmicos.

Ao definir as matérias primas que constituiriam a base das variações de argamassas colantes propostas, trabalhou-se este conceito de extensão de aderência que é influenciada pela curva granulométrica da areia, pelo tipo de areia (quartzosa, calcária, gnaisse), pelos aditivos celulósicos de viscosidade adequada à finalidade do produto, pela adição utilizada para melhoria da coesão da argamassa, pela compatibilização dos aditivos e pelo equilíbrio da proporção, em percentual, de cada matéria prima.

Figura 6 – *Quick Open Time* realizado nos protótipos das argamassas colantes em desenvolvimento



Fonte: Autora.

Notas: (A) Resultado com tempo superior a 20 minutos com adesão coesiva. (B) Resultado com tempo em aberto inferior a 20 minutos com adesão adesiva.

Diante dos testes de *Quick open Time*, ajustaram-se as proporções tendo como base os resultados de preenchimentos de 80% a 100% do tardo da cerâmica, baseado na adesão coesiva (fig. 6A).

Ao estudar sobre a influência da área de contato na resistência de aderência na interface argamassa colante e cerâmica, Silva (2018) cita diversas teorias trabalhadas por vários estudiosos sobre o fenômeno da aderência e suas implicações, contribuindo quanto ao critério da definição das variações a que foi submetido (seção 3 deste trabalho), o assentamento da cerâmica no painel teste, simulando um sistema de revestimento externo, e nos protótipos do painel teste que foram inseridos em câmara climática, acelerando assim as influências de temperatura e umidade, durante 13 dias.

Na década de 1990, quando vários estudos já aconteciam devido às inúmeras patologias, Fiorito (1994 *apud* SILVA, 2018), pontuou que a falta de aderência entre as camadas de um sistema de revestimento, a expansão da cerâmica pela umidade local, a retração excessiva das argamassas utilizadas na época e, principalmente e as tensões cíclicas oriundas do efeito térmico no revestimento cerâmico são fatores que, por fadiga, levariam o sistema ao colapso.

A aderência, aborda Carasek (2014 *apud* SILVA, 2018), está relacionada com a qualidade, com os métodos executivos dos revestimentos e com a sua idade, baseado nas características das argamassas e do substrato, tanto quanto com os aspectos climáticos durante a aplicação das argamassas e ao longo da vida útil do revestimento.

A aderência, também, está diretamente ligada ao tipo de superfície de contato no que se refere ao seu desenho geométrico, reentrâncias, grau de porosidade, dentre outras características. Assim como a extensão de aderência se torna relevante para atingir-se os desempenhos mecânicos e voltados à durabilidade do sistema, deve-se trabalhar as características das argamassas e analisar a superfície de contato a fim de se conciliar, também, a área de contato entre materiais.

Neste contexto dos conceitos da aderência, pode-se considerar a sua caracterização pelos fenômenos da microaderência e macroaderência (RECENA, 2008 *apud* SILVA, 2018). A microaderência se dá pela absorção da argamassa no momento de sua aplicação com o substrato poroso, sendo que esses poros são preenchidos por pasta de cimento veiculada pela água existente na argamassa. A macroaderência, por sua vez, ocorre com a fixação pelo preenchimento das reentrâncias e saliências, sendo no caso da cerâmica o desenho e altura das saliências do tardo, presentes na superfície. O intertravamento mecânico, então, é um mecanismo que ocorre com a presença do cimento Portland nas argamassas e o fenômeno se dá devido à formação dos cristais de etringita no interior dos poros. É o que se chama de ancoragem mecânica que ocorre durante o processo de secagem das argamassas.

Dessa forma, o intertravamento mecânico ocorre em função da extensão de aderência, sendo essa a razão entre a área de contato efetiva e a área total possível de união (CARASEK; DJANIKIAN, 1997 *apud* SILVA, 2018).

Salienta-se que, a fim de que se tenha uma boa adesão inicial e aderência das argamassas aos seus substratos, integrando e compatibilizando os materiais constituintes do sistema de revestimento, deve-se preocupar com o preparo das bases removendo toda e qualquer partícula solta que venha prejudicar o contato da argamassa com sua base, com as saliências e reentrâncias dessa base.

Destacam Carasek e Cascudo (2001) que a aderência mecânica das argamassas ao substrato resulta da conjunção de três propriedades:

- 1ª) resistência de aderência à tração, devido aos esforços normais gerados na utilização de um sistema de revestimento;
- 2ª) resistência de aderência ao cisalhamento, pelos esforços verticais e tangenciais ao revestimento gerados com a atuação da gravidade da argamassa aderida ao substrato;
- 3ª) extensão de aderência que evidencia possíveis falhas de contato com espaços vazios na interface.

Outros fatores podem influenciar no desempenho da aderência, no caso das argamassas de revestimento (emboço), como a energia de aplicação, a pressão exercida sobre a argamassa

após seu lançamento, espessura das argamassas, as condições de contorno como as climáticas envolvendo incidência de sol e vento.

Neste trabalho o foco voltou-se para o fenômeno da aderência, a partir das abordagens e conceitos citados na seção **2.2** desta pesquisa, da argamassa colante polimerizada à cerâmica tipo BIIa semigrés adquirida para o assentamento das placas sobre um substrato de argamassa de emboço. Avaliaram-se os resultados, a fim de verificar a influência dos tipos de polímeros e as quantidades de cimento, da aderência e da flexibilidade da argamassa, pois, se tratando dos fatores que podem influenciar nos descolamentos cerâmicos de uma fachada é relevante avaliar as propriedades intrínsecas de acordo com as propriedades mecânicas da aderência, aos esforços que essas interações têm que suportar.

Ao pesquisar a influência da área de contato na aderência, na interface argamassa colante e cerâmica, Silva (2018) apresenta a contribuição de cada componente que constituirá uma argamassa colante e qual seria a influência na aderência da argamassa no substrato, como por exemplo:

- a) Cimento Portland: responsável por grande parte das propriedades mecânicas e durante o fenômeno da aderência pelas ancoragens mecânicas. Nas argamassas polimerizadas, deve-se equilibrar o quantitativo de cimento em sua dosagem e o quantitativo e tipo de polímero para não enrijecer o produto e, ao mesmo tempo, garantir ancoragens mecânicas e contribuir com as aderências por contato. O cimento deve ter características que também venham a contribuir com o tempo de abertura das argamassas colantes. Uma das características que se deve levar em conta é o início de pega dos cimentos para não prejudicar o tempo em aberto das argamassas colantes.
- b) Os éteres de celulose têm como principal função reter a água da argamassa colante. Essa retenção de água é relevante em função da espessura dos cordões ser em torno de 7 mm a 8 mm e para se dar o tempo de trabalho no ato da aplicação, mantendo a argamassa fresca a fim de que o profissional assente a cerâmica de forma a garantir 100% do preenchimento de seu tardo por meio do esmagamento dos cordões formados pela desempenadeira dentada e a pressão exercida sobre a cerâmica através dos ajustes realizados com o martelo de borracha.
- c) Os polímeros, no caso deste estudo, do tipo VAE, têm como principal função promover o que se chama de aderência por contato ou aderência química, combinados com o celulósico contribui para o tempo em aberto, porém é o componente que caracterizará a flexibilidade da argamassa colante.
- d) Um dos materiais mais delicados a se trabalhar para que os demais consigam cumprir com suas funções é a areia. A areia com alto índice de material passante na peneira # 200

(0,075mm de abertura) aumenta o consumo de água da argamassa e pode prejudicar o seu tempo de abertura, além de provocar retração acentuada nas argamassas. As características como formato dos grãos, textura e distribuição granulométrica exercem grande influência na trabalhabilidade e aderência das argamassas colantes. A areia com partículas mais grossas, ou com percentual alto de retenção na peneira #30 (0,6 mm de abertura) compromete a extensão de aderência e área de contato, sem contar que se torna uma argamassa áspera podendo prejudicar o assentamento no ato de seu uso e aplicação.

É necessário entender as características dos polímeros para, a partir de então, trabalhar o desenvolvimento das argamassas para a finalidade deste trabalho. Como será exposto na seção 3, desenvolveram-se argamassas colantes com dois teores de cimento, variando os tipos de polímeros em função da temperatura de Tg. A intenção é buscar, diante dos conceitos de extensão de aderência e área de contato das argamassas à placa cerâmica, sem deixar de analisar os desempenhos mecânicos, uma discussão mais aprofundada para o desenvolvimento de uma argamassa colante que apresentasse, em função da sua composição e compatibilização das matérias primas escolhidas, características que pudessem suportar a todos os esforços atuantes dos fatores intrínsecos e extrínsecos.

Outro fator a se considerar é que os revestimentos e suas camadas suportes sofrem deformações térmicas diferentes devido aos seus coeficientes de dilatação distintos. Essas variações térmicas geram tensões de tração e compressão no revestimento cerâmico. O surgimento da tração entre as camadas de materiais dá origem também a tensões de cisalhamento entre o tardo das peças cerâmicas e a argamassa colante, resultando o estufamento pela perda gradual da resistência – fadiga (SILVA, 2018). Pereira (2012, *apud* SILVA, 2018), reitera afirmando que a maior diferença de módulo de elasticidade se dá entre as argamassas colantes e as placas cerâmicas, portanto essa interface pode ser considerada a mais crítica em um sistema de revestimento cerâmico.

Foram testados os polímeros do tipo vinil-acetato de etileno (VAE), copolímeros, para verificar as características que viriam modificar as argamassas colantes combinando-os com o tipo de cimento definido, areia e adição com as suas respectivas proporções para atender aos desempenhos que deverão ser, no futuro, analisados concomitantemente à durabilidade dos sistemas tratando a interface cerâmica e argamassa colante.

Os polímeros são macromoléculas formadas por partes menores denominadas monômeros. Os monômeros são moléculas de baixa massa molecular que, a partir das reações de polimerização vêm gerar macromoléculas poliméricas. As unidades repetitivas chamadas de mero, provêm da estrutura do monômero.

Usando técnicas de copolimerização, diversas propriedades podem ser muito melhoradas, tais como, resistência mecânica, elasticidade, plasticidade, Tg, solubilidade, tribologia, resistência química, antienvelhecimento, entre outros. Se necessário, um terceiro monômero pode ser empregado para melhorar as propriedades de materiais poliméricos.

Algumas definições para entendimento dos conceitos relacionado aos polímeros trabalhados:

- a) polímeros: são moléculas (macromoléculas) caracterizadas pela repetição de grupos de átomos (unidade constitucional ou mero) ligados covalentemente entre si, em quantidade suficiente para produzir um conjunto de propriedades que praticamente não variam com a adição ou remoção de uma ou poucas unidades constitucionais. Alta massa molar;
- b) oligômero: molécula contendo poucos grupos de átomos que se repetem (unidade constitucional), ligados covalentemente entre si. As propriedades físicas dos oligômeros variam com adição ou remoção de uma ou poucas unidades constitucionais. Baixa massa molar;
- c) unidade constitucional ou mero: grupo de átomos presente na cadeia do polímero ou oligômero;
- d) monômero: composto formado por moléculas em que cada molécula pode produzir uma ou mais unidades constitucionais.

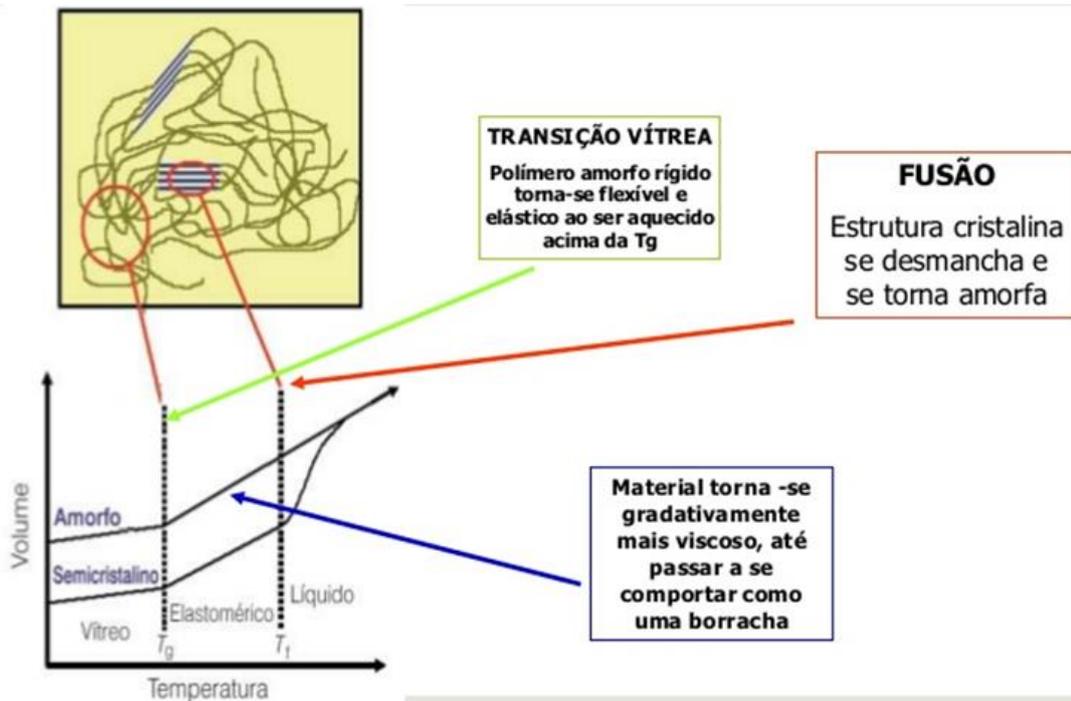
A propriedade da temperatura de transição vítrea foi analisada para diferenciar os tipos de polímeros utilizados e assim estudar os níveis de desempenho das argamassas colantes a partir dessa característica que proporciona, de acordo com as temperaturas de uso, a flexibilidade das argamassas colantes. É uma das principais características. Essa medida é feita por calorimetria exploratória diferencial (DSC). É medida a diferença de energia entre uma amostra e um material de referência em função de um programa de aquecimento ou resfriamento sob atmosfera controlada. Geralmente é utilizada para determinar a temperatura de fusão e cristalização, entalpias de fusão e de cristalização, bem como na determinação da temperatura de Tg.

Os eventos térmicos que geram modificações em curvas de DSC podem ser basicamente transições de primeira e de segunda ordem. As transições de primeira ordem apresentam variações de entalpia – endotérmica ou exotérmica – e dão origem à formação de picos. Como exemplos de eventos endotérmicos que podem ocorrer em amostras de materiais, mencionam-se: fusão, perda de massa da amostra (vaporização de água, aditivos ou produtos voláteis de reação ou de decomposição), dessorção e reações de redução. Eventos exotérmicos podem ser: cristalização, reações de polimerização, cura, oxidação, degradação oxidativa, adsorção, entre outros. As transições de segunda ordem caracterizam-se pela variação de capacidade calorífica, porém sem variações de entalpia. Assim, essas transições

não geram picos nas curvas de DSC, apresentando-se como um deslocamento da linha base em forma de S. Exemplos característicos são a transição vítrea e relaxações de tensões térmicas da cadeia polimérica.

A figura 7 representa as transições na fase de aquecimento, demonstrando o ponto de temperatura que o polímero sai de uma condição rígida para uma condição maleável, temperatura esta medida pelo DSC.

Figura 7 – Transições nas fases de aquecimento da cadeia polimérica



Fonte: DALMOLIN, Carla. **Propriedades térmicas de polímeros**. [Florianópolis: Universidade Estadual de Santa Catarina, ano]??? Disponível em: <https://pt.slideshare.net/XavierAureliano/07-propriedades-termicas>.

Nota: Tg: temperatura transição vítrea.

Logo, transição é função de movimento molecular e a temperatura em que ocorre. É função da estrutura do polímero. Fatores que afetam a Tg:

- a) Flexibilidade da cadeia principal: habilidade de rotação das cadeias:
 - flexível: baixa Tg (rotação é fácil);
 - rígida: alta Tg.
- b) Flexibilidade da cadeia principal:
 - poli (oxi etileno) - $(CH_2-CH_2-O)_n$ - Tg = - 120°C;
 - PE $(CH_2-CH_2)_n$ Tg = - 100°C.
- c) Estrutura da cadeia principal – Impedimento estérico, polaridade.

d) Efeito configuracional: isomerismo (cis e trans) para polidienos e taticidade:

- Polibutadieno: cis $T_g = -108^\circ\text{C}$
trans $T_g = -18^\circ\text{C}$

e) Ligações cruzadas:

- Se ligações cruzadas aumentam $\rightarrow T_g$ aumenta

f) Adição de aditivos (modificadores):

- Plastificantes: aumentam o volume livre

Ex: PVC $T_g = 80^\circ\text{C}$

Com 50% de plastificante $T_g = -30^\circ\text{C}$.

A T_g é um relevante efeito térmico que pode ser utilizado para a caracterização de plásticos e outros materiais amorfos e semicristalinos. A T_g é a propriedade do material em que se pode obter a temperatura da passagem do estado vítreo para um estado “maleável”, borrachoso, sem a ocorrência de uma mudança estrutural. A T_g é o valor médio da faixa de temperatura durante o aquecimento de um material polimérico que permite que as cadeias da fase amorfa adquiram mobilidade. Logo, os polímeros passam de um estado desordenado rígido (vítreo) para um estado desordenado no qual as cadeias poliméricas possuem maior mobilidade.

Baseado no conceito da temperatura de transição vítrea e considerando que as T_g s dos polímeros utilizados nos experimentos estão abaixo da temperatura ambiente e da temperatura de ensaio (23°C), pode-se resumir o conceito da seguinte forma:

- a) temperatura de uso $< T_g \rightarrow$ Polímero rígido;
- b) temperatura de uso $> T_g \rightarrow$ Polímero flexível (borrachoso);
- c) temperatura de uso $>> T_g \rightarrow$ A viscosidade do polímero diminui progressivamente até que seja atingida a temperatura de degradação.

De maneira correspondente, as moléculas que estão virtualmente congeladas em suas posições abaixo da T_g , começam a apresentar movimentos de rotação e de translação acima de T_g . Dessa forma, o valor da temperatura na transição vítrea dependerá das características moleculares que afetam a rigidez da cadeia; maioria desses fatores e suas influências são os mesmos apresentados para a temperatura de fusão. A flexibilidade da cadeia molecular é diminuída e o valor de T_g aumentado pela presença:

- a) grupos laterais volumosos;
- b) grupos polares;

c) ligações duplas e grupos aromáticos na cadeia principal, que tendem a enrijecer a cadeia polimérica.

Um maior controle dos parâmetros de temperatura de fusão e vítrea é possível pela síntese e copolimerização.

O etileno introduzido no Vinil-acetato é um plastificante que se caracterizará em função da quantidade introduzida, do tamanho da cadeia molecular e da Tg.

Não serão aprofundadas questões associadas à química dos polímeros, mas, os polímeros definidos para as composições foram baseados nas diferenças de suas temperaturas na transição vítrea (Tg).

Na seção **3**, a seguir, serão descritos os métodos e os materiais.

3 MÉTODOS E MATERIAIS

Foram realizados ensaios comparativos dos desempenhos de argamassas colantes polimerizadas, a fim de avaliar a eficiência dos polímeros (copolímeros) com suas diferenças no que se refere aos valores das temperaturas de transição vítrea, caracterizando as formulações quanto aos seus desempenhos mecânicos, de flexibilidade, comportamento na interação das argamassas com a cerâmica e na base de argamassa de emboço, específica para revestimentos externos.

Durante o desenvolvimento da argamassa colante em questão, buscaram-se polímeros do tipo VAE (Vinil-acetato de etileno), um copolímero de acetato de vinila com etileno em que a nomenclatura VAE é adotada pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC). Trabalharam-se os polímeros, com diferentes resultados da temperatura de transição vítrea (T_g), caracterizada pela quantidade de adição de etileno, em que suas proporções resultarão nos níveis de flexibilidade do copolímero. A utilização desse tipo de polímero foi motivada pela necessidade de se entender as suas características em função do ambiente em que a argamassa será aplicada e em relação à disponibilidade dos produtos no mercado.

Foram formuladas argamassas colantes com duas frentes referentes à relação polímero e cimento (tab. 10).

Tabela 10 – Teores de cimento e de polímeros e suas relações

Itens	Teores
Cimento (%)	24 20
Polímero (%)	1,8 1,8
Relação: Polímero/Cimento	0,075 0,090

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota: %: percentual.

Acredita-se que quanto maior a relação polímero e cimento, melhor será a flexibilidade da argamassa colante e, conseqüentemente, a sua interação nas interfaces, considerando uma melhor extensão de aderência e, portanto, uma melhor interação entre materiais buscando um bom desempenho do sistema de revestimento.

A partir dos valores apresentados na tabela 10, foi mantida, como padrão, a dosagem dos polímeros testados, no entanto, foi variada a dosagem do cimento para avaliar os desempenhos de acordo com a relação polímero e cimento a fim de verificar-se qual a dosagem mais eficaz para os objetivos específicos desta dissertação.

Logo, buscou-se:

- a) Combinar os materiais disponibilizados para o desenvolvimento da argamassa colante, materiais esses como os polímeros, celulósico de média a alta viscosidade, areia de quartzo, *filler* calcário (adição) e cimento Portland do tipo CPIIE 40, para obtenção de uma formulação que venha atender os desempenhos relacionados com a extensão de aderência e com a área de contato.
- b) Avaliar as formulações inicialmente propostas para a definição de uma argamassa colante polimerizada, variando os tipos de polímeros de acordo com a sua característica da temperatura de Tg a partir das avaliações empíricas como: facilidade de mistura, presença de exsudação (formação de lâmina d'água à superfície) e pelo tempo em aberto expedito (*Quick Open Time*).
- c) Considerando as análises prévias incluindo, a do Tempo em Aberto Expedito (*Quick Open Time*), das formulações inicialmente propostas, definir 14 variações de dosagens para sua submissão aos ensaios de acordo com as normas técnicas vigentes para análise comparativa.
- d) Avaliar os resultados obtidos nas 14 variações de argamassas colantes, e, naquelas variações que obtiveram os melhores resultados em relação às suas resistências de aderência e a melhor extensão de aderência (fig. 22 e 23), ajustá-las, se necessário, em suas composições, para definição de pelo menos quatro variações para repetição dos testes de resistência de aderência à tração nas curas normal, submersa e estufa segundo norma da ABNT NBR 14081-4:2012 e determinar o tempo em aberto de acordo com a norma da ABNT NBR 14081-3:2012, a fim de investir nos estudos comparativos de desempenho, baseado, inclusive, na relação polímero/cimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012c; 2012b).
- e) Submeter as quatro variações definidas, ao teste para a determinação da deformação transversal (flexibilidade) de acordo com a norma europeia EN 12004 – 2:2017 para uma análise conjunta aos teores de cimento a fim de buscar a melhor relação polímero/cimento (EUROPEAN STANDARD, 2017).
- f) Simular a aplicação dessas argamassas colantes a partir do assentamento cerâmico em painel teste que venha caracterizar um sistema de revestimento composto por alvenaria de vedação em bloco de concreto/chapisco/argamassa industrializada de assentamento e revestimento para os ensaios de arrancamento da placa cerâmica, a fim de avaliar variações dos resultados ao longo do tempo de exposição (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017, anexo A).

- g) Construir protótipos do painel teste com a argamassa de assentamento e revestimento imprimada sobre um bloco de alvenaria para que eles sejam, após o assentamento cerâmico com as quatro variações de argamassas colantes, inseridos em câmara de aceleração das variações de temperatura e umidade, a fim de avaliar alguma variação de resultados ao ensaio de arrancamento das placas cerâmicas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017, anexo A).
- h) Analisar os resultados para sugerir a melhor combinação das dosagens para se compor e estudar uma argamassa colante específica para fachadas que venha a atender aos critérios de durabilidade abordados na norma de desempenho da ABNT, NBR 15575:2013, atendendo aos desempenhos adequados aos sistemas e suas variações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c).

3.1 Materiais

Os materiais utilizados na formulação das argamassas colantes polimerizadas estão descritos no quadro 4.

Quadro 4 – Materiais utilizados na composição das argamassas colantes

Itens	Variações das argamassas colantes						
	1	2	3	4	5	6	7
Cimento Portland	CPII E 40	CPII E 40	CPII E 40	CPII E 40	CPII E 40	CPII E 40	CPII E 40
Areia natural	Quartzoza	Quartzoza	Quartzoza	Quartzoza	Quartzoza	Quartzoza	Quartzoza
Adição	<i>Filler</i> Calcáreo	<i>Filler</i> Calcáreo	<i>Filler</i> Calcáreo	<i>Filler</i> Calcáreo	<i>Filler</i> Calcáreo	<i>Filler</i> Calcáreo	<i>Filler</i> Calcáreo
Éter de celulose	HEC-	HEC-	HEC-	HEC-	HEC-	HEC-	HEC-
	Viscosidade 60.000 mPa.s	Viscosidade 60.000 mPa.s	Viscosidade 60.000 mPa.s	Viscosidade 60.000 mPa.s	Viscosidade 60.000 mPa.s	Viscosidade 60.000 mPa.s	Viscosidade 60.000 mPa.s
Polímero - VAE	VAE 1 (Tg = 7°C)	VAE 2 (Tg = 16°C)	VAE 3 (Tg = 15°C)	VAE 4 (Tg = 8°C)	VAE 5 (Tg = 10°C)	VAE 6 (Tg não informado)	VAE 7 (Tg não informado)

Fonte: Elaborado pela autora.

Notas: CPIIE: Cimento Portland composto com adição de escória. HEC: Hidrometil celulose. mPa: milipascal. s: segundo. VAE: Vinil-acetato de etileno.

Conforme exposto no quadro 4, a única variável no que diz respeito aos materiais utilizados, é o tipo de polímero de acordo com as suas características da temperatura de Tg.

A escolha do tipo de cimento utilizado nas dosagens foi baseada nos seus desempenhos mecânicos e de início de pega. O cimento tipo CPIIE 40 é um cimento mais regular, o que confere desempenhos na resistência a compressão adequada ao que se espera dos resultados mecânicos da argamassa e início de pega que contribui para a ação dos aditivos e, conseqüentemente, para o *Quick Open Time* das argamassas colantes. É um cimento

considerado mais “calmo” se comparando com um Cimento Portland de alta resistência inicial (CPV ARI).

A areia foi selecionada levando-se em conta a forma de grãos e curva granulométrica estável. Uma das preocupações para não interferir nos resultados e em suas variações foi em relação ao índice de material pulverulento. Assim definiu-se pela areia de quartzo devido ao baixo índice de material pulverulento, considerando o percentual passante na #200 (0,075 mm de abertura). No entanto para tornar a argamassa mais coesa e menos áspera definiu-se para uma melhor composição a adição de filler calcário em uma proporção que não prejudicou a sua trabalhabilidade. A faixa de granulometria da areia foi definida a partir do percentual passante e retido na #30 (0,6 mm de abertura), em que foram obtidos valores na casa dos 88% passantes e 12% retidos. Apesar de não ser considerada a areia ideal para a finalidade em questão, ela foi utilizada devido à sua disponibilidade para a realização deste trabalho.

O valor percentual do material passante na malha 200 (0,075 mm), ficou entre 8 e 9% e, por isso, houve a necessidade da utilização de 10 a 20% de adição de filler calcário para melhorar a coesão e preencher os vazios que se formarem pelo percentual elevado retido na #30 (0,6 mm de abertura).

Areias com finura elevada aumentam o consumo de água da mistura, o que pode provocar uma retração acentuada nas argamassas e, no caso das argamassas colantes, prejudicarem o tempo em aberto expedido, dificultando, também, sua mistura. Além disso, os finos de areia podem preencher os poros dos substratos ocupando espaços dos produtos de hidratação. Verifica-se também que as areias com grãos maiores, provocam o comprometimento do envolvimento dos grãos pela pasta de cimento, o que compromete a extensão de aderência (MANSUR, 2007; ANTUNES, 2010; *apud* SILVA, 2018).

Assim, salienta-se que o equilíbrio nas dosagens diante das características dos materiais constituintes e da análise de seu comportamento no estado fresco, seja no ato da mistura ou nos testes do *Quick Open Time*, se tornam primordiais para se definir esses materiais e suas proporções na formulação de uma argamassa.

O aditivo retentor de água mais utilizado nas argamassas colantes são os éteres de celulose (HEC – Hidroxietil celulose e MHEC – Metil hidroxietil celulose). Esses celulósicos devem estar combinados com os polímeros para que juntos consigam os desempenhos reológicos da argamassa fresca bem como um melhor tempo de abertura. Foi definido o Wallocel 60 000 milipascal segundo (mPa.s) de viscosidade por se tratar de um produto que consegue se adaptar a vários tipos de polímeros e areias.

Os polímeros foram definidos a partir da disponibilidade do fornecedor em relação à característica de temperatura de transição vítrea, pois, a intenção foi verificar se haveria diferenças de extensão de aderência e resistências na interface argamassa colante e cerâmica, levando-se em consideração os polímeros com as temperaturas de Tg. Os parâmetros foram informados pelo fabricante.

3.2 Matriz de variações das dosagens das argamassas colantes

Assim sendo, a partir das variações dos tipos de polímero e das porcentagens de cimento, de acordo com a proposta descrita no quadro 4, foram obtidas as composições apresentadas nas tabelas 11 e 12.

Tabela 11 – Matriz de variação dos percentuais de matérias primas na dosagem das argamassas colantes com 24% de teor de cimento

Teste	1		2		3		4		5		6		7	
	%	gramas												
Cimento Portland CPII E 40	24	1200	24	1200	24	1200	24	1200	24	1200	24	1200	24	1200
Areia natura quartzo	58,94	2947	58,94	2947	58,94	2947	58,94	2947	58,94	2947	58,94	2947	58,94	2947
Filler calcário	15	750	15	750	15	750	15	750	15	750	15	750	15	750
Éter de celulose (HEC)	0,26	13	0,26	13	0,26	13	0,26	13	0,26	13	0,26	13	0,26	13
Polímero VAE 1	1,8	90												
Polímero VAE 2			1,8	90										
Polímero VAE 3					1,8	90								
Polímero VAE 4							1,8	90						
Polímero VAE 5									1,8	90				
Polímero VAE 6											1,8	90		
Polímero VAE 7													1,8	90

Fonte: Autora.

Notas: CPIIE: Cimento Portland composto com adição de escória. HEC: Hidrometil celulose. %: percentual. VAE: vinil acetato de etileno.

Tabela 12 – Matriz de variação dos percentuais de matérias primas na dosagem das argamassas colantes com 20% do teor de cimento

Teste	1		2		3		4		5		6		7	
5000	%	gramas												
Cimento Portland CPII E 40	20	1000	20	1000	20	1000	20	1000	20	1000	20	1000	20	1000
Areia natura quartzo	58,94	2947	58,94	2947	58,94	2947	58,94	2947	58,94	2947	58,94	2947	58,94	2947
Filler calcário	19	950	19	950	19	950	19	950	19	950	19	950	19	950
Éter de celulose (HEC)	0,26	13	0,26	13	0,26	13	0,26	13	0,26	13	0,26	13	0,26	13
Polímero VAE 1	1,8	90												
Polímero VAE 2			1,8	90										
Polímero VAE 3					1,8	90								
Polímero VAE 4							1,8	90						
Polímero VAE 5									1,8	90				
Polímero VAE 6											1,8	90		
Polímero VAE 7													1,8	90

Fonte: Autora.

Notas: CPIIE: Cimento Portland composto com adição de escória. HEC: Hidrometil celulose. %: percentual. VAE: vinil acetato de etileno.

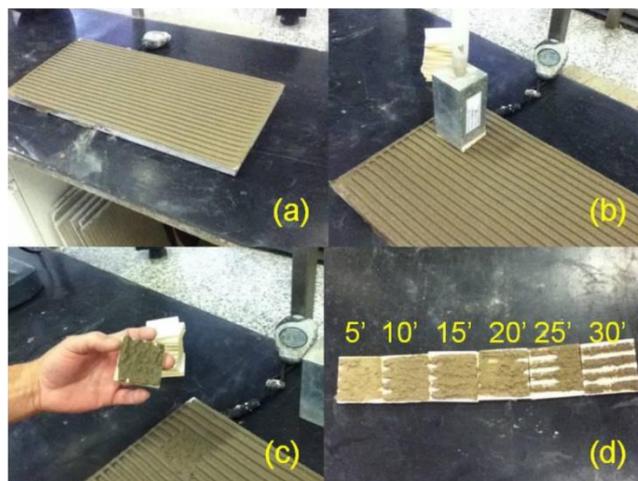
3.3 Ensaios

Os ensaios foram realizados em duas etapas. Na primeira etapa foram ensaiadas as 14 variações cujas formulações foram definidas a partir dos testes do tempo em aberto expedido (*Quick Open Time*). A segunda etapa se refere aos ensaios propostos com as quatro variações definidas a partir da análise dos resultados obtidos na primeira etapa.

Realizaram-se os ensaios de caracterização das argamassas colantes de acordo com as normas técnicas da ABNT NBR 14081-4:2012, que determina a resistência de aderência a tração nas curas normal, submersa e em estufa, e a NBR 14081-3:2012 para a determinação do tempo em aberto pela resistência de aderência à tração (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012c; 2012b).

Avaliou-se o tempo em aberto expedido, metodologia que consiste na abertura da argamassa de acordo com a norma da ABNT NBR 14081-2:2012, em que após a aplicação da argamassa colante a cerâmica do grupo BIII, classificada de acordo com a norma da ABNT, NBR 13817:1997, é posicionada sobre os cordões (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015; 1997b). A cada 5 minutos se posiciona uma peça e sobre ela um peso padrão de 2 kg com as mesmas dimensões da placa cerâmica (50 X 50mm).

Figura 8 – Ensaio do tempo em aberto expedito
(Quick Open time)



Fonte: SOUZA, Lucas Peres de *et al.* Avaliação do tempo em aberto (Quick Open Time) de argamassas colantes através do ensaio modificado de retenção de água. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 10., 2013, Fortaleza. Universidade Federal do Ceará, 2013

A segunda etapa ocorreu a partir dos resultados obtidos das 14 variações das formulações propostas em que foram selecionadas quatro formulações das argamassas colantes polimerizadas que apresentaram os melhores resultados nos ensaios de resistência à aderência, os melhores tempos em aberto expedito e as maiores extensões de aderência e áreas de contato. Na tabela 13 podem ser observadas as variações selecionadas a partir dos resultados da primeira etapa.

Ressalta-se que os polímeros foram codificados de acordo com sua característica das temperaturas de suas Tgs, onde observa-se o polímero VAE1 com - 7°C de temperatura, o VAE2 com 16°C, o VAE3 com - 15°C e o VAE5 com temperatura de 10°C.

O VAE1 se refere ao teste 1, ou seja, a amostra 1 de argamassa colante; o VAE2 se refere ao teste 2 e à amostra 2 de argamassa colante; o VAE3 se refere ao teste 3 e à amostra 3 de argamassa colante e o VAE5 se refere ao teste 5 e à amostra 5 de argamassa colante. Essas quatro amostras, após as avaliações realizadas, foram definidas para os testes propostos acima.

Tabela 13 – Matriz de variação dos percentuais de dosagem das quatro argamassas colantes selecionadas para novos testes

Teste	3		5		5000	1		2	
	%	gramas	%	gramas		%	gramas	%	gramas
Cimento Portland CPII E40	24	1200	24	1200	Cimento Portland CPII E40	20	1000	20	1000
Areia Natural Quartzo	58,94	2947	58,94	2947	Areia Natural Quartzo	58,94	2947	58,94	2947
Filler Calcário	15	750	15	750	Filler Calcário	19	950	19	950
Éter de Celulose (HEC)	0,26	13	0,26	13	Éter de Celulose (HEC)	0,26	13	0,26	13
Polímero VAE 1					Polímero VAE 1	1,8	90		
Polímero VAE 2					Polímero VAE 2			1,8	90
Polímero VAE 3	1,8	90			Polímero VAE 3				
Polímero VAE 4					Polímero VAE 4				
Polímero VAE 5			1,8	90	Polímero VAE 5				
Polímero VAE 6					Polímero VAE 6				
Polímero VAE 7					Polímero VAE 7				

Fonte: Pesquisa de campo.

Notas: CPIIE: Cimento Portland composto com adição de escória. HEC: Hidrometil celulose. %: percentual. VAE: vinil acetato de etileno.

Observa-se que foram definidas duas argamassas com 24% de cimento e polímeros com temperaturas de sua transição vítrea de - 15°C e + 10°C, respectivamente e duas argamassas com 20% de cimento e com polímeros com temperatura de sua transição vítrea de - 7°C e + 16°C. Salienta-se que a argamassa colante denominada teste 2 obteve as características de desempenho no que diz respeito, principalmente, a sua extensão de aderência, com a dosagem de um polímero mais usual nas formulações de argamassas colantes considerado “rígido” em função da alta temperatura na sua transição vítrea ($T_g = + 16^\circ\text{C}$).

Logo, as formulações escolhidas foram novamente submetidas aos ensaios de caracterização completa e aos ensaios de deformação transversal – flexibilidade (EUROPEAN STANDARD,2017).

A partir da execução de um painel teste essas argamassas colantes foram utilizadas para o assentamento de placas cerâmicas sob a base de emboço e foram realizados os ensaios da resistência de aderência dos revestimentos cerâmicos com placas assentadas com argamassa colante, baseado na NBR 13755:2017- Anexo A em várias idades de cura – 28 dias, 56 dias e 84 dias respectivamente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017 – Anexo A).

Essas mesmas argamassas colantes serão utilizadas para o assentamento das cerâmicas sobre os protótipos confeccionados com a imprimação da argamassa de emboço empregada no painel teste sobre o bloco de concreto usado para a elevação da alvenaria do painel teste.

O protótipo simula o sistema proposto para execução do painel teste em um tamanho menor em área, possibilitando a sua inserção em câmaras de variação de temperatura e umidade.

O painel teste foi construído com aproximadamente dois metros de extensão e 1,75m de altura com a utilização de blocos de concreto nas dimensões 14 x 19 x 39 cm (espessura x altura x comprimento), de vedação, com resistência a compressão média em torno de 3 MPa, assentados com a argamassa industrializada de assentamento e revestimento de fornecedor local, conforme características apresentadas nas tabelas de 3 a 9.

Após uma semana do assentamento dos blocos de concreto, a alvenaria foi chapiscada com um chapisco dosado no local na proporção 1:3 (cimento:areia grossa). O chapisco foi curado com a pulverização de água sobre sua superfície, por três dias consecutivos e, em seguida, com a utilização de uma argamassa industrializada de assentamento e revestimento classificada segundo a norma da ABNT NBR 13281:2005 como P4, R3, D4 e U3 (tab. 3, 5, 7 e 8). O painel foi revestido por meio do processo manual de aplicação e, também, curado por aproximadamente três dias consecutivos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005e).

Figura 9 – Painel teste sendo rebocado pelo processo manual com colher de pedreiro



Fonte: Pesquisa de campo.

Salienta-se que o painel teste foi executado por profissional do mercado (pedreiro de revestimento) que foi orientado quanto às boas práticas do processo executivo, incluindo as curas, porém, foi confiado à sua experiência o processo executivo do sistema alvenaria/chapisco/argamassa de emboço deixando-o à vontade na intenção de simular a realidade construtiva das nossas atuais fachadas argamassadas.

Figura 10 – Etapas da construção do painel teste



Fonte: Pesquisa de campo.

(1) Execução da alvenaria. (2) Chapisco. (3) Painel teste concluído com a base de emboço.

Figura 11 – Vista de frente do painel teste concluído: sistema de alvenaria mais chapisco mais emboço



Fonte: Pesquisa de campo.

Após 28 dias de cura do emboço executado, as cerâmicas adquiridas, respeitando a classificação segundo a norma da ABNT NBR 13817:1997, como B11a (absorção de 3% a 6%), foram assentadas com cada uma das argamassas colantes selecionadas, segundo tabela 13 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997b).

As peças cerâmicas foram assentadas pela autora a fim de garantir 100% de preenchimento com argamassa colante no verso da cerâmica (tardoz).

A cerâmica escolhida é uma cerâmica semigrés (absorção de 3 a 6%) de uma marca do mercado vendida em caixas e teladas (fig. 12).

No entanto, para os ensaios, destacaram-se as cerâmicas da tela e a cola utilizada na formação dessa tela, também foi retirada, porém, não na sua totalidade devido à dificuldade.

A preocupação foi quanto ao comprometimento dos resultados em função dos pontos do tardo da cerâmica que não estaria tendo contato com a argamassa colante.

Figura 12 – Cerâmica definida utilizada no seu assentamento com as quatro variações das argamassas colantes definidas



Fonte: Pesquisa de campo.

Definiram-se três datas para o arrancamento das peças cerâmicas, sendo elas para curas aos 28 dias, 56 dias e 84 dias, após o assentamento.

Utilizou-se o método de ensaio preconizado na NBR 13755:2017 – Anexo A, porém não foi possível cumprir com o número de amostras definidas por norma, contemplando para a análise dos resultados, seis placas cerâmicas assentadas por argamassa colante e para cada idade no painel teste, e duas peças cerâmicas assentadas por argamassa colante no protótipo para a idade de 150 dias de cura ao ar e 13 dias em câmara de intemperismo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017- Anexo A).

Simulou-se a realidade do processo executivo do assentamento cerâmico durante o preparo das quatro amostras, a mistura foi manual (fig. 13), observando-se quanto à homogeneização da argamassa de forma a não apresentar grumos que pudessem comprometer a dispersão dos aditivos, a quantidade de água utilizada e o tempo de sua utilização. Para uma pior condição de uso e aplicação, se tratando de um processo executivo de fachada, em que os pedreiros recebem por produtividade e estão sob andaimes ou balancins, não foi respeitado o tempo de maturação normalmente utilizado em torno de 10 minutos para seguir a uma remistura e utilização da argamassa colante.

Antes do assentamento cerâmico com as argamassas colantes, a base foi preparada por meio de limpeza e retirada de toda e qualquer partícula solta. Seguido da limpeza e baseado nas condições climáticas do dia, definiu-se pela não umidificação do emboço, prática essa quando o mesmo se encontra com temperatura elevada ao toque e/ou com incidência de sol direto. O painel foi dividido e demarcado para a disposição de cada argamassa colante e para cada idade (fig. 14 e 15).

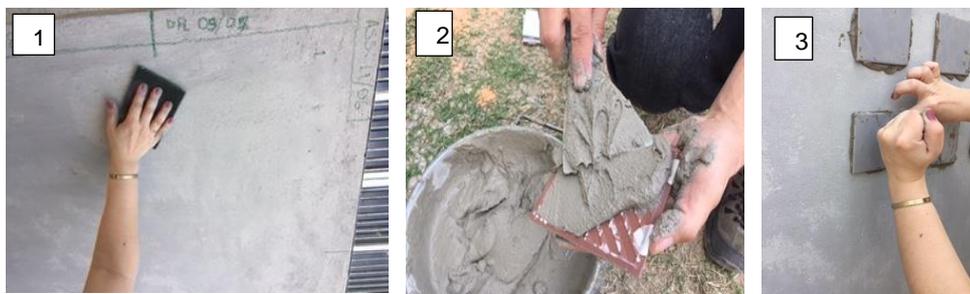
Figura 13 – Etapas da mistura da amostra



Fonte: Pesquisa de campo.

(1) Colocação da amostra em estado anidro no recipiente de mistura. (2) Adição de água. (3) Mistura manual. (4) Avaliação da consistência de aplicação.

Figura 14 – Fases do assentamento cerâmico



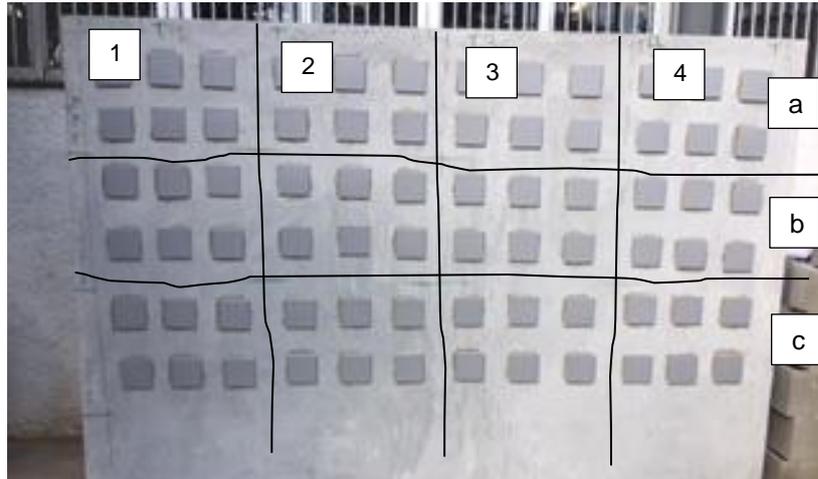
Fonte: Pesquisa de campo.

(1) Preparo da base de emboço. (2) Aplicação da argamassa colante no verso da cerâmica. (3) Assentamento cerâmico garantindo 100% da extensão de aderência e preenchimento do tardez.

Seguindo a proposta dos testes, os protótipos foram executados, e, após 28 dias da cura do emboço imprimado sobre o bloco de concreto foram assentadas as peças cerâmicas com cada argamassa colante definida.

Para a impressão da argamassa de emboço sobre o bloco de concreto criou-se um gabarito para que se mantivesse a espessura de 2,5 centímetros, espessura definida para a execução do emboço do painel teste, conforme figura 16.

Figura 15 – Painel teste completo e subdividido



Fonte: Pesquisa de campo.

(1) Teste 1. (2) Teste 2. (3) Teste 3. (4) Teste 5. (a) 28 dias. (b) 56 dias. (c) 84 dias.

Figura 16 – Protótipo com a argamassa de emboço imprimada sobre o bloco de concreto



Fonte: Pesquisa de campo.

Figura 17 – Protótipos preparados para a inserção na câmara de variação dos ciclos de temperatura e umidade



Fonte: Pesquisa de campo.

(1) Teste 1. (2) Teste 2. (3) Teste 3. (4) Teste 5.

Os blocos de concreto revestidos foram submetidos à câmara com variações dos ciclos de temperatura e umidade a aceleração das intempéries para que pudessem ser avaliadas as resistências de aderência à tração das peças cerâmicas assentadas após um período de 13 dias de exposição à câmara de intemperismo.

Após as curas das argamassas colantes utilizadas para o assentamento cerâmico de acordo com as variações demonstradas na tabela 13, realizaram-se, para cada idade de cura, os ensaios de resistência de aderência de revestimentos cerâmicos com placas assentadas com argamassa colante (arrancamento) de acordo com a norma da ABNT NBR 13755:2017 – anexo A, porém com a amostragem de apenas seis corpos de prova, conforme justificativa apresentada anteriormente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017 – Anexo A).

Os ensaios foram realizados por equipamento de tração (dinamômetro), calibrado por laboratório externo da região de Belo Horizonte. As pastilhas metálicas foram coladas 24 horas antes do ensaio e não houve necessidade do dispositivo de corte, pois a intenção era avaliar a interface argamassa colante e cerâmica no sistema de revestimento proposto.

Figura 18 – Painel teste com as pastilhas metálicas coladas sobre a cerâmica, aguardando para realização do arrancamento



Fonte: Pesquisa de campo.

Figura 19 – Posicionamento do dinamômetro de tração para aplicação da carga e arrancamento das peças cerâmicas.



Fonte: Pesquisa de campo.

Os protótipos ficaram em cura ao ar por 150 dias e foram inseridos na câmara de variação dos ciclos de temperatura e umidade por 13 dias, simulando a aceleração do intemperismo.

A umidade relativa no interior da câmara variou entre 29% e 55%, mas as temperaturas tiveram as oscilações esperadas com os parâmetros definidos entre 5°C a 60°C. A umidade relativa para as temperaturas baixas ficou em torno dos 29%, logo, à medida que se aumentava a temperatura a umidade relativa do ar também aumentava, chegando aos 55%. Cada ciclo representava 24 horas na temperatura de 60°C e 24 horas na temperatura de 5°C. Durante o período de treze dias com os protótipos inseridos na câmara climática, teve-se duas

ocorrências, sendo uma apontando falta de água no reservatório, uma vez que a água estava dentro dos limites, e a segunda foi um vazamento de água. Foi necessário desligar o equipamento para a correção dos erros. Ao desligar o equipamento os ciclos eram reiniciados com a temperatura máxima de 60°C. Assim, foram consideradas ocorrências de variações no comportamento de temperatura e umidade da câmara, que podem ter influenciado nos resultados e objetivo do ensaio.

Após os 13 dias os protótipos ficaram mais três dias em cura ao ar para estabilização das temperaturas e assim foram realizados os ensaios de resistência de aderência (arrancamento) das placas cerâmicas para cada variação proposta.

A câmara utilizada foi o modelo 345/2 com dimensões internas de 52 cm de largura, 60 cm de comprimento e 94 cm de altura. Fabricante FANEM, conforme figura 20.

Figura 20 – Protótipos inseridos na câmara de intemperismo



Fonte: Pesquisa de campo.

Figura 21 – Ensaio de resistência de aderência à tração das cerâmicas assentadas sobre a base de emboço imprimada sobre o bloco de concreto



Fonte: Pesquisa de campo.

Por intermédio das análises comparativas entre os resultados de resistência de aderência à tração dos corpos de prova do painel teste, os ensaios de resistência de aderência à tração dos corpos de prova aplicados sobre a argamassa imprimada e submetidos aos ciclos forçados de temperatura e umidade, aos resultados de flexibilidade e a análise das rupturas após os ensaios de arrancamento baseado na análise das interações e avaliando a condição de extensão de aderência e tipo de adesão (coesiva ou adesiva), espera-se especificar a composição de uma argamassa colante para se utilizar nas fachadas e, a partir de então,

avaliar seu desempenho e durabilidade de acordo com os critérios exigidos na norma de desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a).

Na seção 4 serão descritos os resultados dos ensaios.

4 RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados de cada etapa e ensaios realizados com seus respectivos comentários. Diante do critério de avaliação das argamassas colantes em relação aos resultados de *Quick Open Time* e extensão de aderência, os resultados serão analisados pontualmente.

A tabela 14 apresenta a média dos resultados de resistência de aderência à tração nas curas normal, submersa e em estufa, de acordo a norma da ABNT NBR 14081:2012-4, e a medida do tempo em aberto pela resistência de aderência à tração, conforme norma da ABNT NBR 14081:2012-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012c; 2012b). As normas definem que para as médias iguais ou superiores a 0,30 MPa, descartar todos os resultados que se distanciarem mais de 20% da média, para a média inferior a 0,30 MPa, descartar os resultados que se distanciarem da média em 0,06 MPa. A tensão média deve ser calculada descartando rupturas que acontecerem no substrato, na cerâmica ou devido a falha na colagem.

Serão analisados os resultados das amostras com 24% de cimento.

Tabela 14 – Caracterização das argamassas colantes com o teor de cimento a 24%

Especificação	Unidade	Teste						
		1	2	3	4	5	6	7
Data ensaio		10/11/2017	10/11/2017	10/11/2017	17/11/2017	17/11/2017	17/11/2017	21/11/2017
Idade ruptura	dias	28	28	28	28	28	28	28
NBR	-	14081:2012	14081:2012	14081:2012	14081:2012	14081:2012	14081:2012	14081:2012
Temperatura	°C	23,90	23,90	23,90	24,10	24,00	24,40	24,00
Umidade Relativa do Ar	%	61,00	61,50	62,00	62,20	61,50	62,50	61,50
Quantidade de água	%	24,00	24,00	24,50	24,50	25,00	24,50	24,00
Avaliação trabalhabilidade	Qual. perc.	Boa						
Avaliação aplicabilidade	Qual. perc.	Boa						
Avaliação da presença de exudação	-	Ausente						
Média Resistência Aderência Tempo em Aberto	MPa	0,97	0,98	0,92	0,81	0,68	0,60	1,07
Média Resistência Aderência Cura Normal	MPa	1,06	1,07	1,06	1,09	0,82	0,88	1,20
Média Resistência Aderência Cura Submersa	MPa	0,60	0,45	0,61	0,70	0,49	0,51	0,65
Média Resistência Aderência Cura Estufa	MPa	0,35	0,35	0,31	0,58	0,38	0,40	0,17
<i>Quick Open Time</i>	Minutos	≥ 25	≥ 25	≥ 25	≥ 25	≥ 25	≥ 25	≥ 25

Fonte: Pesquisa de campo.

Notas: NBR: Norma brasileira. MPa: Mega Pascal. Qual. Perc.: Qualidade percebida.

Verifica-se que todas as sete variações das dosagens das argamassas colantes apresentaram resultados para classificação do tipo ACII. Apesar dos valores dos testes 3 e 5 dos ensaios de resistência de aderência à tração na cura em estufa não terem sido os maiores, cura essa que pode mostrar o desempenho do polímero na argamassa colante, a

seleção dessas duas variações para a próxima etapa se deu acreditando nos resultados empíricos voltados ao tempo em aberto expedido (*Quick Open Time*) e à extensão de aderência.

Analisando a figura 22 dos testes do *Quick Open Time* destacou-se a seleção para o consumo de 24% as variações 3 e 5, conforme assinalado na documentação fotográfica.

Figura 22 – Tempo em Aberto Expedido (*Quick Open Time*) das amostras com 24% de cimento por teste

(Continua)

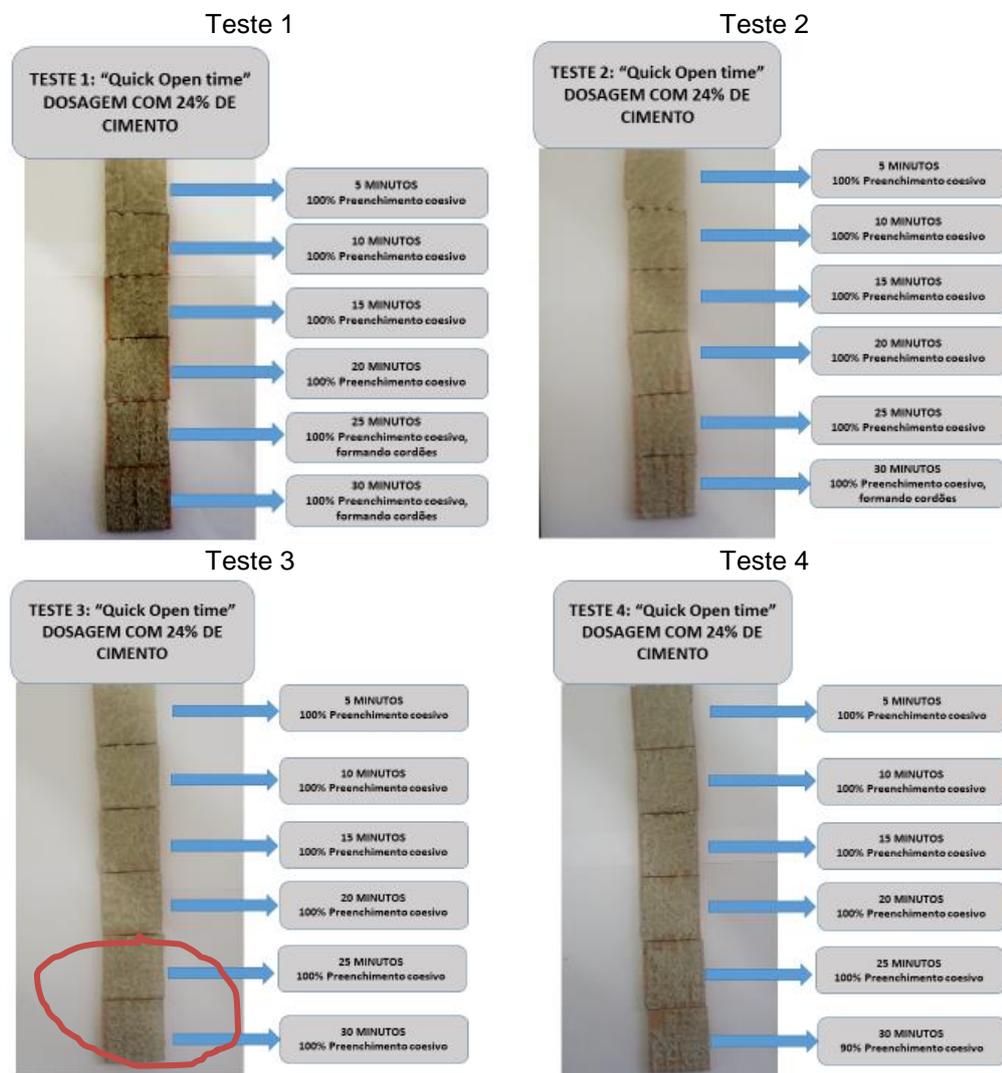
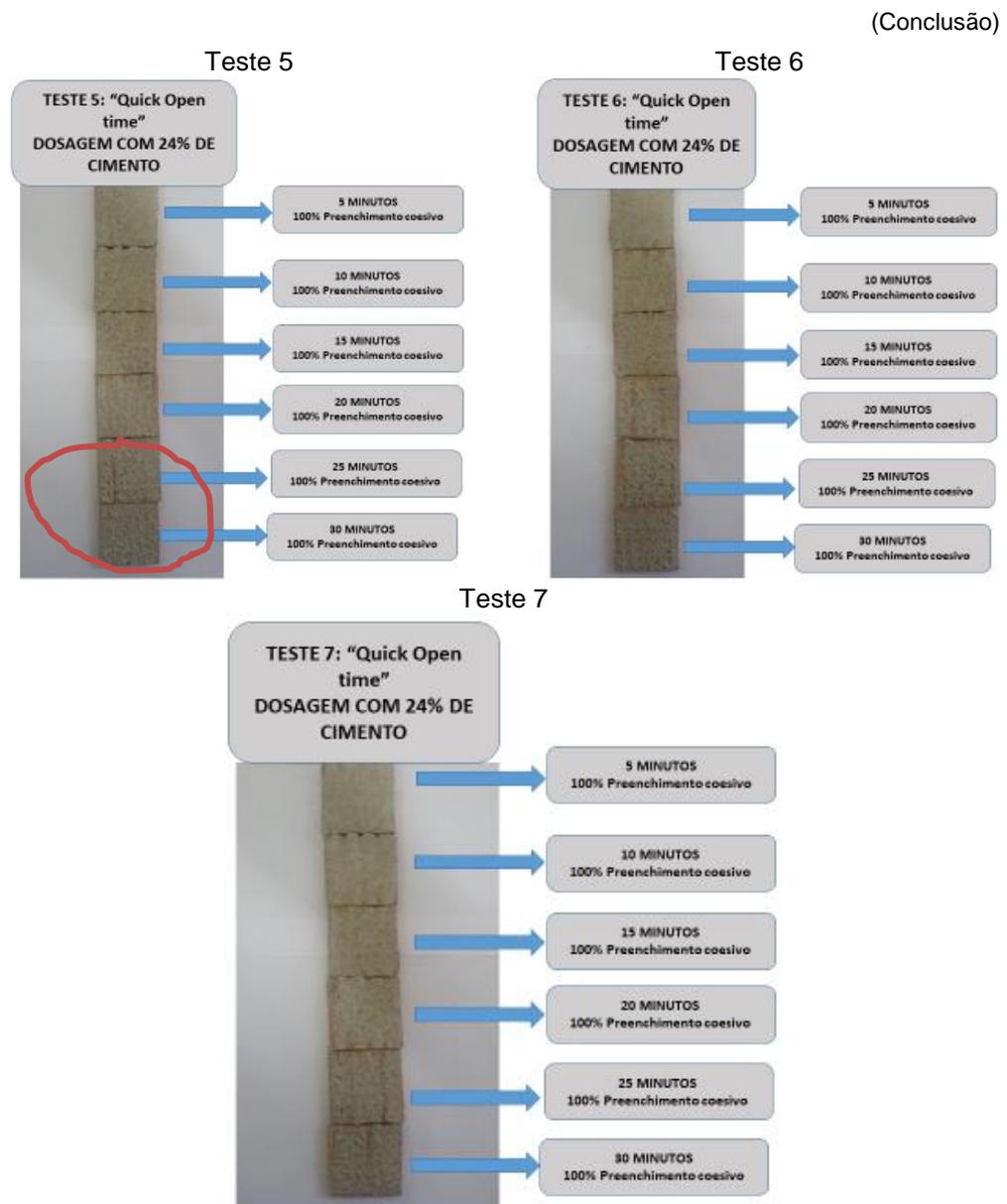


Figura 22 – Tempo em Aberto Expedito (*Quick Open Time*) das amostras com 24% de cimento por teste



Fonte: Pesquisa de campo.

Baseado na análise do preenchimento do tardez da cerâmica BIII, todas as sete variações com 24% de cimento tiveram resultados acima de 20 minutos, de acordo com os requisitos de norma. Durante os ensaios definiu-se estender a medida a fim de avaliar se as argamassas colantes continuariam com a mesma performance até os 30 minutos de abertura.

Todas as sete variações tiveram seu tempo em aberto estendido até o tempo proposto, porém, os preenchimentos do tardez com as argamassas colantes foram melhores, atingindo 100% de preenchimento sem início de formação de película, para as amostras 3 e 5.

Na figura 23 são representados os pontos de ruptura dos ensaios de resistência de aderência à tração. Observa-se que os pontos de ruptura de todas as amostras, exceto do ensaio voltado para a determinação do tempo em aberto, foram na argamassa colante (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012b). As rupturas na interface cerâmica e argamassa colante, representado pelas letras A/P da norma técnica, referem-se à medida da resistência de aderência para avaliação do tempo em aberto pelo arrancamento.

Avaliando-se os pontos de ruptura e considerando que a interface de interesse é argamassa colante com a cerâmica, sugere-se que os valores numéricos obtidos nas curas normal, submersa e em estufa são maiores do que os valores lidos no manômetro do equipamento utilizado para o arrancamento, enquanto na determinação da aderência por tempo em aberto a ruptura foi na interface de interesse, logo, os valores são exatamente aqueles lidos no manômetro.

A definição das variações dos testes 3 e 5 foi baseada nessas rupturas e nos valores que foram apresentados, porém com maior peso para tomada de decisão na extensão de aderência demonstrada pelo teste de tempo em aberto expedido (*Quick Open Time*).

Na figura 23 serão apresentadas as rupturas para cada ensaio de resistência de aderência das sete variações propostas com 24% de cimento.

Figura 23 – Apresentação dos pontos de ruptura das amostras com 24% de cimento

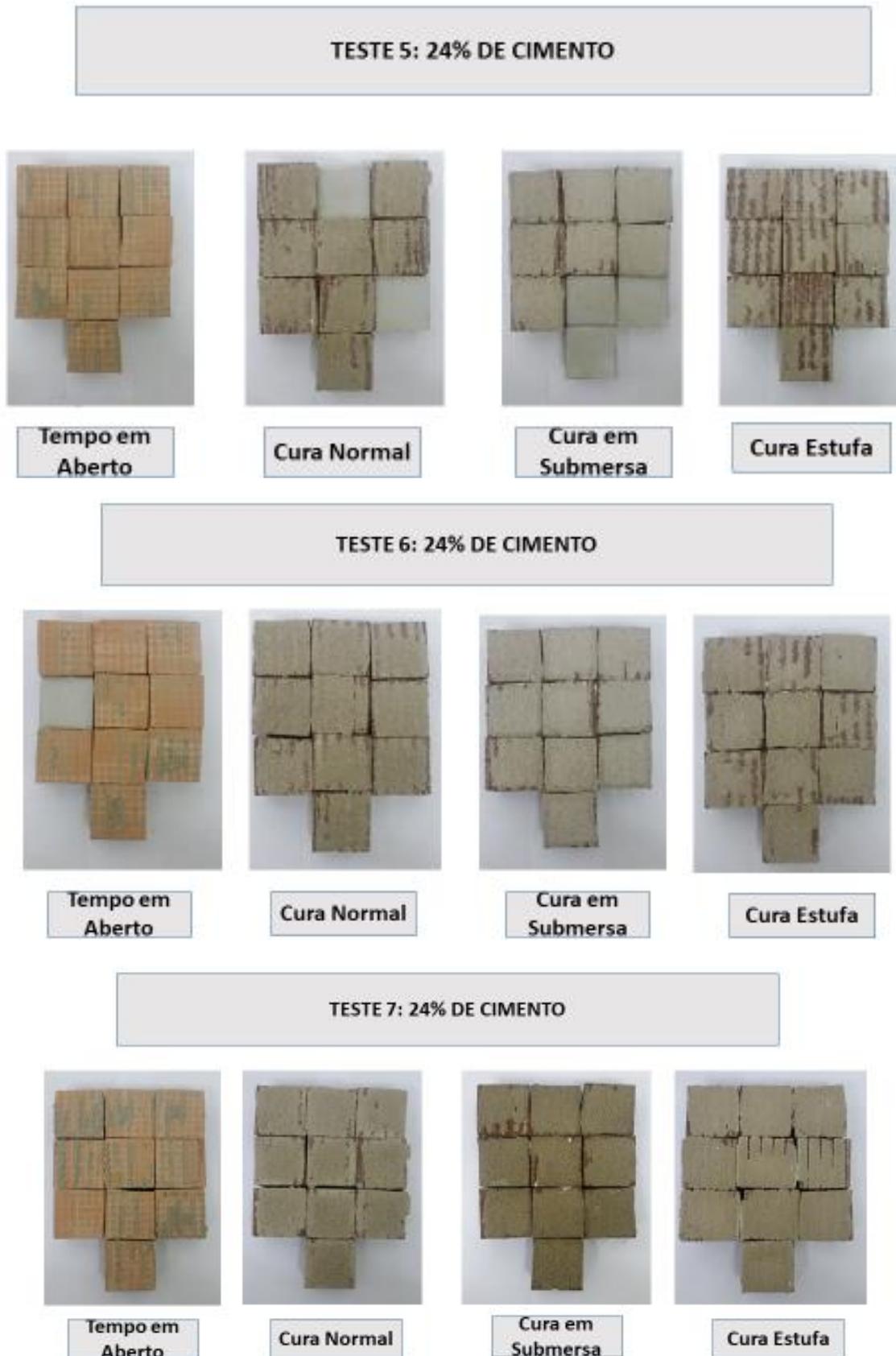
(Continua)



Figura 23 – Apresentação dos pontos de ruptura das amostras com 24% de cimento (Continuação)



Figura 23 – Apresentação dos pontos de ruptura das amostras com 24% de cimento
(Conclusão)



Fonte: Pesquisa de campo.

A seguir foi realizada a mesma análise, com os mesmos critérios, para as amostras dosadas com o teor de 20% de cimento (tab. 15).

Tabela 15 – Caracterização das argamassas colantes com o teor de cimento a 20%

Especificação	Unidade	Teste						
		1	2	3	4	5	6	7
Data ensaio	-	21/11/2017	24/11/2017	24/11/2017	29/11/2017	29/11/2017	01/12/2017	01/12/2017
Idade ruptura	Dias	28	28	28	28	28	28	28
NBR	-	14081:2015	14081:2015	14081:2015	14081:2015	14081:2015	14081:2015	14081:2015
Temperatura	°C	22,50	23,10	23,50	21,90	21,80	22,50	23,00
Umidade Relativa do Ar	%	60,90	61,00	61,50	60,00	61,00	60,40	60,90
Quantidade de água	%	22,50	22,50	22,50	23,00	23,00	23,50	23,50
Avaliação trabalhabilidade	Qual. perc.	Boa						
Avaliação aplicabilidade	Qual. perc.	Boa						
Avaliação da presença de Exudação	-	Ausente						
Média Resistência Aderência Tempo em Aberto	MPa	1,03	0,94	1,00	0,96	0,66	0,55	0,86
Média Resistência Aderência Cura Normal	MPa	0,85	1,11	1,05	1,17	0,77	1,11	0,77
Média Resistência Aderência Cura Submersa	MPa	0,61	0,57	0,52	0,59	0,51	0,54	0,56
Média Resistência Aderência Cura Estufa	MPa	0,38	0,35	0,35	0,51	0,33	0,41	0,30
<i>Quick Open Time</i>	Minutos	≥ 25	≥ 25	≥ 25	≥ 20	≥ 20	≥ 25	≥ 25

Fonte: Pesquisa de campo.

Notas: NBR: Norma brasileira. MPa: Mega Pascal. Qual. perc.: Qualidade percebida.

O mesmo critério foi adotado para outras sete variações, porém com 20% de cimento. Nota-se que todas as sete variações de dosagem da argamassa colante apresentaram resultados para classificação do tipo ACII. Apesar dos valores dos testes 1 e 2 dos ensaios de resistência de aderência à tração na cura em estufa não terem sido os maiores, a seleção dessas duas variações para a próxima etapa se deu acreditando-se nos resultados empíricos voltados para o tempo em aberto expedido e à extensão de aderência. Analisando-se a figura 25, referente aos testes de *Quick Open Time*, considerou-se interessante a seleção para o consumo de 20% as variações 1 e 2, porém, ressalta-se o elevado resultado de resistência de aderência por tempo em aberto.

Baseando-se na análise do preenchimento do tarsoz da cerâmica BIII no teste do tempo em aberto expedido (*Quick Open Time*), todas as sete variações com 20% de cimento tiveram resultados acima de 20 minutos, de acordo com os requisitos de norma. Durante os ensaios definiu-se estender a medida a fim de avaliar se as argamassas colantes continuariam com a mesma performance até os 30 minutos de abertura. Todas as sete variações tiveram seu tempo em aberto estendido até o tempo proposto, porém, os preenchimentos do tarsoz com as argamassas colantes foram melhores, atingindo 100% de preenchimento sem início de formação de película nos testes 1 e 2.

Figura 24 – Tempo em Aberto Expedito (*Quick Open Time*) das amostras com 20% de cimento por teste

(Continua)

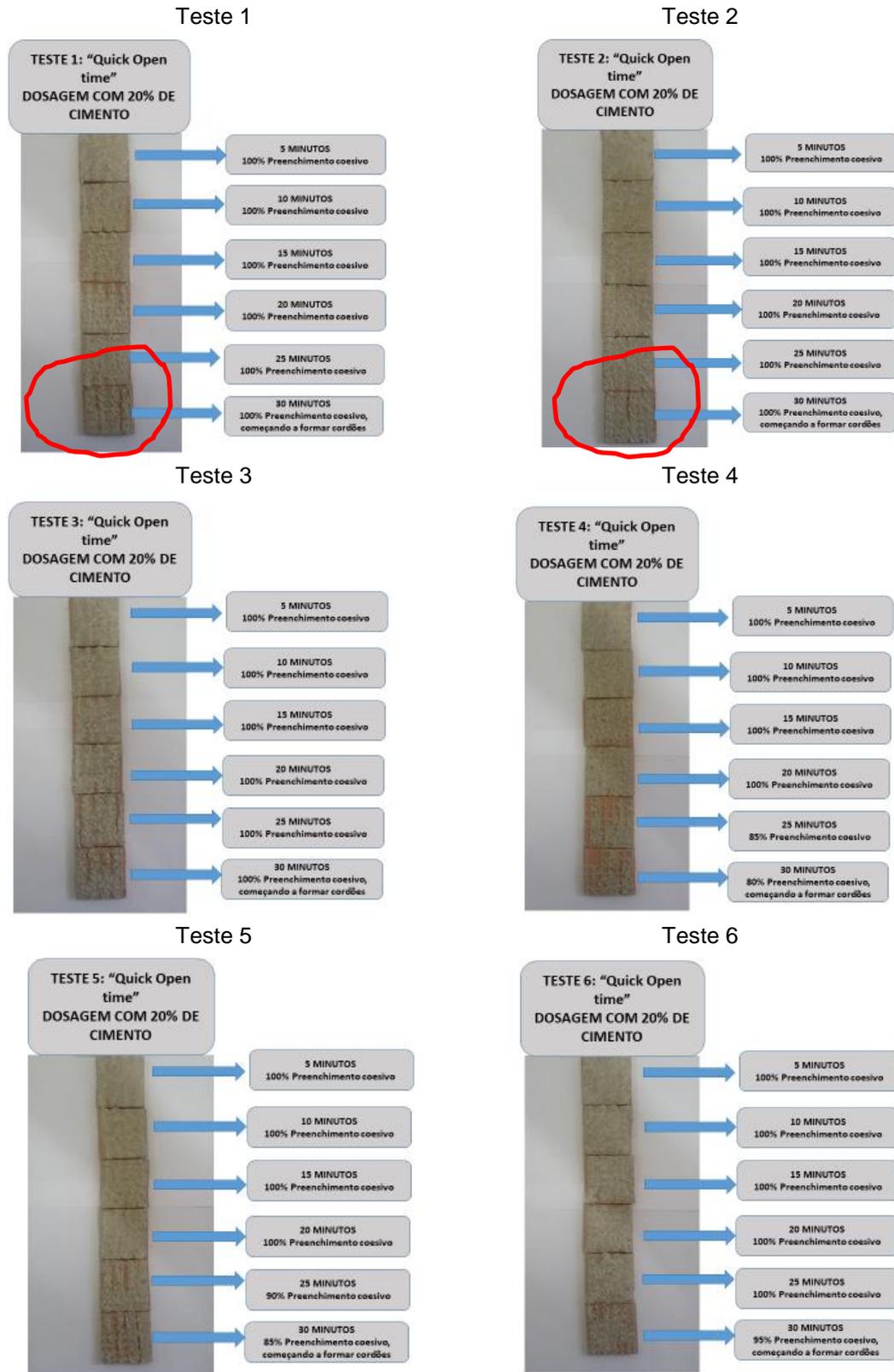
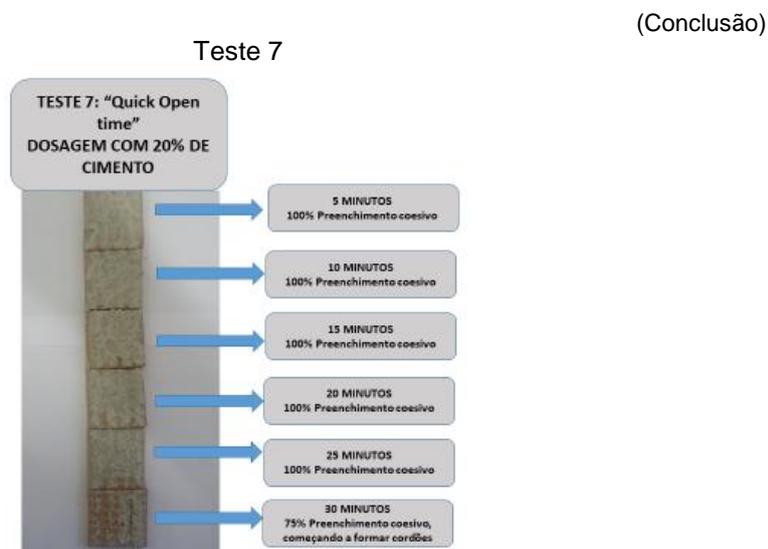


Figura 24 – Tempo em Aberto Expedito (*Quick Open Time*) das amostras com 20% de cimento por teste



Fonte: Pesquisa de campo.

A figura 25, representa os pontos de ruptura dos ensaios de resistência de aderência à tração, resultados esses, mecânicos. Observa-se que o ponto de ruptura da maioria das amostras, exceto do ensaio voltado para a determinação do tempo em aberto, foram na argamassa colante, representado, segundo a NBR 14081:2012-4, pela letra A (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012c). As rupturas na interface cerâmica e argamassa colante, representado pelas letras A/P da norma técnica, referem-se à medida da resistência de aderência para avaliação do tempo em aberto pelo arrancamento. Avaliando os pontos de ruptura e considerando que a nossa interface de interesse é argamassa colante com a cerâmica, sugere-se que os valores numéricos obtidos nas curas normal, submersa e em estufa são maiores do que os valores lidos no manômetro do equipamento utilizado para o arrancamento, enquanto na determinação da aderência por tempo em aberto, a ruptura foi na interface de interesse, logo, os valores são exatamente aqueles lidos no manômetro.

Diferentemente das amostras dosadas com 24%, os pontos de ruptura na determinação da resistência de aderência por tempo em aberto, os testes tiveram rupturas tanto na interface quanto na argamassa.

Na figura 25 são apresentadas as rupturas para cada ensaio de resistência de aderência das sete variações propostas com 20% de cimento.

Figura 25 – Apresentação dos pontos de ruptura das amostras com 20% de cimento

(Continua)

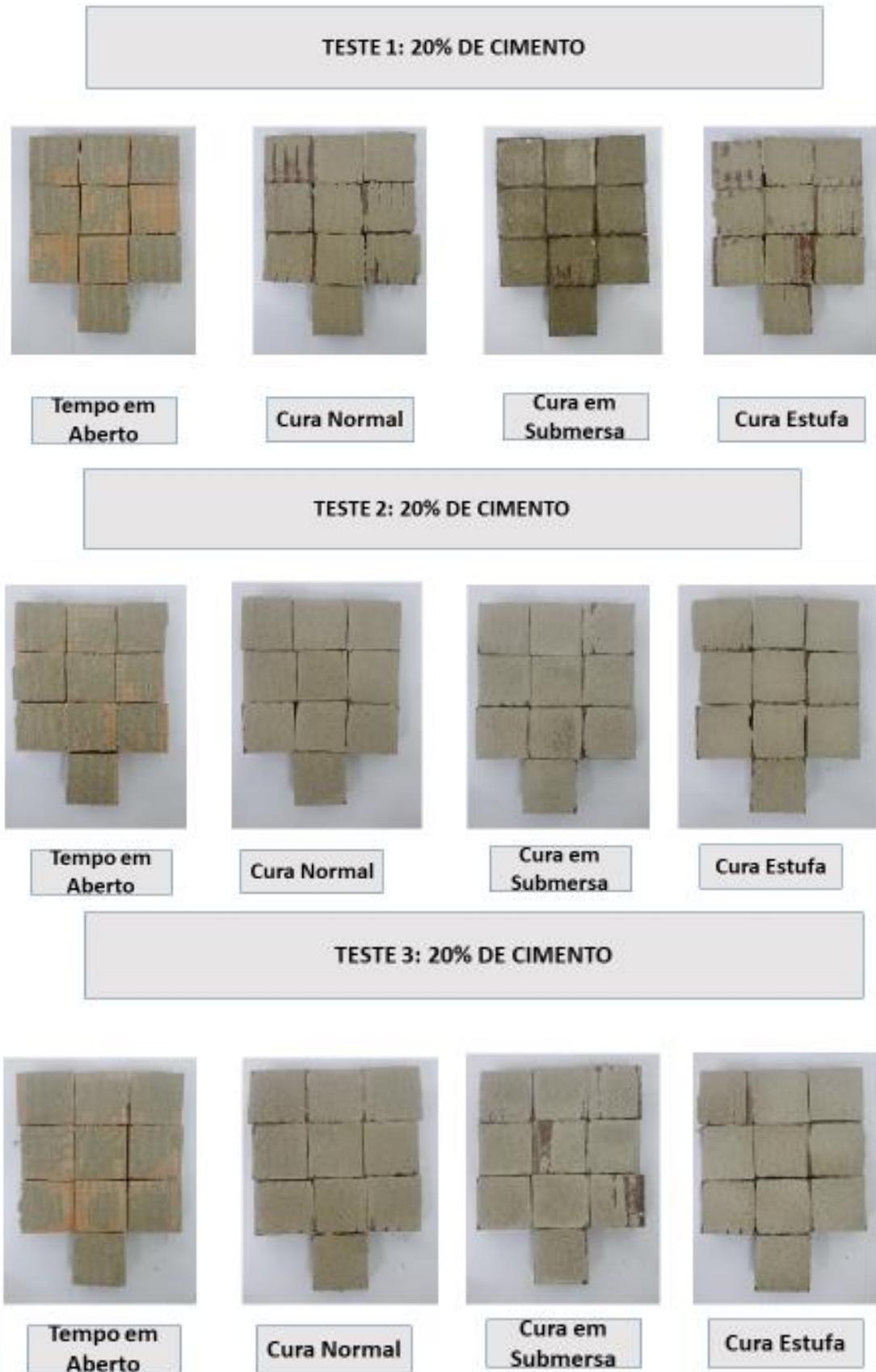


Figura 25 – Apresentação dos pontos de ruptura das amostras com 20% de cimento
(Continuação)

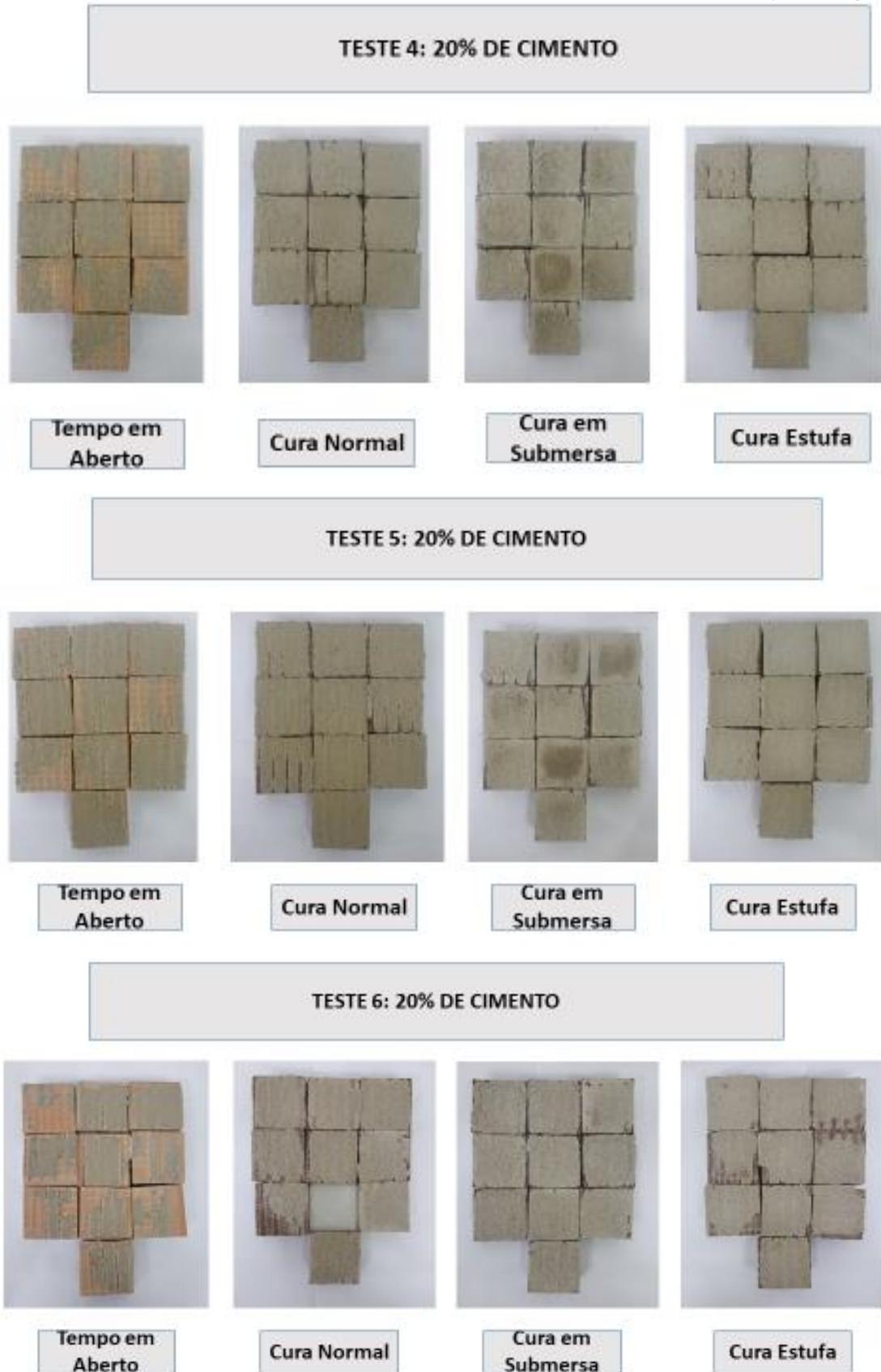


Figura 25 – Apresentação dos pontos de ruptura das amostras com 20% de cimento

(Conclusão)



Fonte: Pesquisa de campo.

A partir dos resultados das 14 variações propostas inicialmente com os dois teores de cimento, 24% e 20%, respectivamente, mantendo o mesmo teor de polímero e celulósico, porém, variando os tipos de polímeros, foram definidas pelos critérios adotados acima quatro variações, sendo duas delas com 24% de cimento e duas delas com 20% de cimento.

Das variações definidas, sendo elas os testes 3 e 5 para o teor 24% de cimento e 1 e 2 para o teor de 20% de cimento, observou-se que os resultados apresentados mostraram eficácia para quatro tipos de polímeros de um mesmo fornecedor, porém com características de temperatura na transição vítrea bem distintas (tab. 16).

Tabela 16 – Tipos de polímeros utilizados nas variações definidas para avanço dos testes com suas respectivas temperaturas de transição vítrea

Testes	Cimento (%)	Relação polímero/cimento	Polímero (1)	Tg
3	24	0,0750	VAE 3	-15
5	24	0,0750	VAE 5	10
1	20	0,0900	VAE 1	-7
2	20	0,0900	VAE 2	16

Fonte: Pesquisa de campo.

(1) Polímeros de um mesmo fornecedor.

Notas: Tg: temperatura de transição vítrea. %: Percetual. VAE: Vinil-acetato de etileno.

Os resultados das tabelas 17 e 18 mostram os valores referentes à repetição dos ensaios de caracterização, segundo as normas técnicas, a fim de confirmar os resultados obtidos na primeira caracterização e avançar com os ensaios propostos com a aplicação das argamassas colantes em painel teste, protótipo de painel teste e ensaio de flexibilidade.

Tabela 17 – Caracterização das argamassas colantes para as amostras com o teor de cimento a 24% em sua formação segunda etapa

Especificação	Unidade	Teste	
		3	5
Data ensaio	-	15/05/2018	15/05/2018
Idade ruptura	Dias	28	28
NBR	-	14081:2012	14081:2012
Temperatura	°C	22,90	23,20
Umidade Relativa do Ar	%	64,00	64,00
Quantidade de água	%	24,50	24,50
Avaliação trabalhabilidade	Qual. perc.	Boa	Boa
Avaliação aplicabilidade	Qual. perc.	Boa	Boa
Avaliação da presença de exudação	-	Ausente	Ausente
Média Resistência Aderência Tempo em Aberto	MPa	0,63	0,90
Média Resistência Aderência Cura Normal	MPa	0,87	1,03
Média Resistência Aderência Cura Submersa	MPa	0,66	0,61
Média Resistência Aderência Cura Estufa	MPa	0,52	0,46
<i>Quick Open Time</i>	Minutos	≥ 25	≥ 25

Fonte: Pesquisa de campo.

Notas: NBR: Norma brasileira. MPa: Mega Pascal. Qual. perc.: qualidade percebida.

Na figura 26 demonstram-se os pontos de rupturas baseados nos ensaios de resistência de aderência nas curas normal, submersa e estufa e a determinação do tempo em aberto pela resistência de aderência, das duas amostras selecionadas para a continuidade do estudo em função das características de *Quick Open Time* e extensão de aderência. Nessa recharacterização das amostras (testes 3 e 5), as rupturas foram na argamassa, logo, os valores dos resultados numéricos poderão ser maiores que os lidos no manômetro do equipamento de arrancamento.

Figura 26 – Apresentação dos pontos de ruptura das amostras com 24% de cimento na repetição dos ensaios de caracterização



Fonte: Pesquisa de campo.

Na figura 27 demonstram-se os pontos de rupturas baseados nos ensaios de resistência de aderência nas curas normal, submersa e estufa e a determinação do tempo em aberto pela resistência de aderência, das duas amostras selecionadas para a continuidade do estudo em função das características de *Quick Open Time* e extensão de aderência. Nessa recaracterização das amostras (testes 1 e 2), as rupturas foram na argamassa assim como nos testes 3 e 5. Assim, os valores dos resultados numéricos são aqueles que poderão ser maiores que os lidos no manômetro do equipamento de arrancamento.

Tabela 18 – Caracterização das argamassas colantes para as amostras com o teor de cimento a 20% em sua formação segunda etapa

Especificação	Unidade	Teste	
		1	2
Data Ensaio	-	14/05/2018	14/05/2018
Idade Ruptura	Dias	28	28
NBR	-	14081:2015	14081:2015
Temperatura	°C	23,10	23,40
Umidade Relativa do Ar	%	63,00	64,00
Quantidade de Água	%	24,00	24,00
Avaliação Trabalhabilidade	Qual. perc.	Boa	Boa
Avaliação Aplicabilidade	Qual. perc.	Boa	Boa
Avaliação da Presença de Exudação		Ausente	Ausente
Média Resistência Aderência Tempo em Aberto	MPa	0,70	0,78
Média Resistência Aderência Cura Normal	MPa	0,72	0,77
Média Resistência Aderência Cura Submersa	MPa	0,52	0,49
Média Resistência Aderência Cura Estufa	MPa	0,42	0,52
Quick Open Time	Minutos	≥ 25	≥ 25

Fonte: Pesquisa de campo.

Notas: NBR: Norma brasileira. MPa: Mega Pascal. Qual. perc.: qualidade percebida.

Figura 27 – Apresentação dos pontos de ruptura das amostras com 20% de cimento na repetição dos ensaios de caracterização

(Continua)



Figura 27 – Apresentação dos pontos de ruptura das amostras com 20% de cimento na repetição dos ensaios de caracterização (Conclusão)



Fonte: Pesquisa de campo.

Os testes 3 e 5, com 24% de teor de cimento e relação polímero/cimento igual a 0,0750, e os testes 1 e 2, com 20% de teor de cimento e relação polímero/cimento igual a 0,0900, foram submetidos aos ensaios de deformação transversal baseado na norma europeia EN 12004-2:2017 (EUROPEAN STANDARD, 2017). Esta norma diz respeito aos métodos de ensaios para caracterização das argamassas adesivas para assentamento de cerâmicas em ambientes internos e externos. Os métodos descritos nessa norma são para as determinações:

- a) determinação do tempo em aberto;
- b) determinação do deslizamento;
- c) determinação da resistência de aderência por tração;
- d) determinação da resistência ao cisalhamento;
- e) determinação da resistência ao cisalhamento pela reação das resinas;
- f) determinação da deformação transversal.

Os resultados apresentados na tabela 19 demonstram valores próximos, porém as maiores deformações foram referentes aos testes 2 e 5, mas, com forças de rupturas diferentes. Avaliando-se os resultados, a amostra 5, com 24% de cimento, a princípio, teria uma boa flexibilidade, porém resistências de aderência maiores, o que poderá caracterizar, pelo maior percentual de cimento, uma rigidez maior se comparando com o teste 2 que apresentou maior flexibilidade.

A deformação transversal é usada para avaliar a deformabilidade da argamassa colante. É a capacidade de se deformar na interface cerâmica e argamassa colante sobre a presença de tensões, sejam elas de variações de temperatura e, até mesmo, pela dilatação higroscópica da cerâmica.

Tabela 19 – Deformação transversal das argamassas colantes

Especificação	Unidade	Amostra			
		T3	T5	T1	T2
Cimento	%	24	24	20	20
Polímero	-	VAE3	VAE5	VAE1	VAE2
Tg	°C	-15	10	-7	16
Força de ruptura	N	3,07	3,21	3,00	2,84
Desvio padrão	-	0,29	0,17	0,13	0,25
Deformação	mm	1,31	1,43	1,33	1,46
Desvio padrão	-	0,15	0,08	0,07	0,17

Fonte: Pesquisa de campo.

Notas: C: centígrado. mm: milímetro. N: Newton. Tg: temperatura transição vítrea. VAE: vinil-acetato de etileno.

A seguir, nas tabelas 20 a 22, apresentam-se os resultados dos ensaios de resistência de aderência à tração das cerâmicas assentadas com as argamassas colantes no painel teste, baseado na norma da ABNT NBR 13755:2017 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). Cada tabela se refere a uma idade de ruptura e pode-se observar que os pontos de ruptura após o arrancamento se deram na argamassa de revestimento. Nas idades de 28 e 56 dias para o teste 3, as rupturas se deram na argamassa colante conforme demonstrado nas figuras 28 e 29. Entende-se que na interface de interesse para a avaliação da resistência de aderência à tração pelo arrancamento das placas cerâmicas, interface entre cerâmica e argamassa colante, pode-se considerar que os resultados seriam maiores que os apresentados nas tabelas. Por se tratar apenas de seis valores, adotou-se o cálculo da média, porém, analisando-se pontualmente cada ruptura, conforme orientações da norma técnica, apresentando-se também, uma documentação fotográfica que aponta o local de ruptura que mostrará a condição do sistema de revestimento com placas aderidas a um emboço executado com argamassa.

Os resultados, pontualmente analisados, aos 56 dias apresentaram-se menores que os resultados das rupturas aos 28 dias de idade. Esses resultados não caracterizam a perda de aderência em função do tempo de exposição e são justificados pela umidade do emboço na data dos ensaios de arrancamento do dia 6 de agosto 2018, uma vez que no dia anterior havia

chovido e a temperatura estava mais baixa comparativamente aos demais dias dos meses de julho e agosto. Constata-se que, aos 84 dias de idade, os resultados foram próximos aos resultados da idade de 28 dias. Logo, verifica-se que o emboço como base se fragiliza na presença de umidade, prejudicando o desempenho do sistema, uma vez que acima de 90% das rupturas foram na base executada com a argamassa de assentamento e revestimento industrializada.

Tabela 20 – Resultados dos ensaios da resistência de aderência ao arrancamento das peças cerâmicas assentadas com as argamassas colantes no painel teste aos 28 dias de idade

Data ruptura	Idade de ruptura	Amostra	Resultados (MPa)			
			T1 (VAE1)	T2 (VAE2)	T3 (VAE3)	T5 (VAE5)
09/07/2018	28 dias	1	0,42	0,28	0,45	0,61
09/07/2018	28 dias	2	0,39	0,29	0,31	0,50
09/07/2018	28 dias	3	0,33	0,17	0,33	0,35
09/07/2018	28 dias	4	0,37	0,25	0,38	0,22
09/07/2018	28 dias	5	0,27	0,22	0,36	0,20
09/07/2018	28 dias	6	0,29	0,35	0,32	0,11
Média	-	-	0,34	0,26	0,36	0,33

Fonte: Pesquisa de campo.

Nota: (a) Percentual de água das amostras: T1 = 22,60; T2 = 21,90; T3 = 22,00; T5 = 21,80. (b) MPa: Mega Pascal. VAE: vinil-acetato de etileno.

Tabela 21 – Resultados dos ensaios da resistência de aderência ao arrancamento das peças cerâmicas assentadas com as argamassas colantes no painel teste aos 56 dias de idade

Data ruptura	Idade de ruptura	Amostra	Resultados (MPa)			
			T1 (VAE1)	T2 (VAE2)	T3 (VAE3)	T5 (VAE5)
06/08/2018	56 dias	1	0,23	0,31	0,20	0,17
06/08/2018	56 dias	2	0,28	0,28	0,17	0,15
06/08/2018	56 dias	3	0,20	0,23	0,20	0,14
06/08/2018	56 dias	4	0,16	0,13	0,19	0,24
06/08/2018	56 dias	5	0,16	0,19	0,18	0,36
06/08/2018	56 dias	6	0,14	0,19	0,20	0,40
Média			0,20	0,22	0,19	0,24

Fonte: Pesquisa de campo.

Nota: (a) Percentual de água das amostras: T1 = 22,60; T2 = 21,90; T3 = 22,00; T5 = 21,80. (b) MPa: Mega Pascal. VAE: vinil-acetato de etileno.

Tabela 22 – Resultados dos ensaios da resistência de aderência ao arrancamento das peças cerâmicas assentadas com as argamassas colantes no painel teste aos 84 dias de idade

Data ruptura	Idade de ruptura	Amostra	Resultados (MPa)			
			T1 (VAE1)	T2 (VAE2)	T3 (VAE3)	T5 (VAE5)
03/09/2018	84 dias	1	0,39	0,28	0,32	0,43
03/09/2018	84 dias	2	0,28	0,25	0,27	0,36
03/09/2018	84 dias	3	0,32	0,20	0,35	0,47
03/09/2018	84 dias	4	0,30	0,21	0,21	0,34
03/09/2018	84 dias	5	0,34	0,20	0,32	0,39
03/09/2018	84 dias	6	0,31	0,24	0,25	0,30
Média			0,32	0,23	0,29	0,38

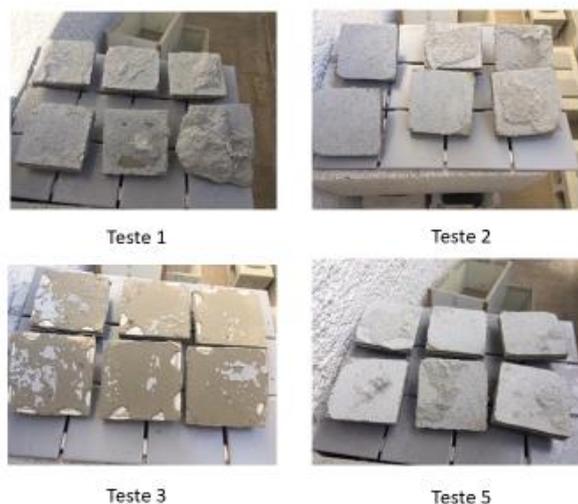
Fonte: Pesquisa de campo.

Nota: (a) Percentual de água das amostras: T1 = 22,60; T2 = 21,90; T3 = 22,00; T5 = 21,80. (b) MPa: Mega Pascal. VAE: vinil-acetato de etileno.

Na figura 28 apenas o teste 3 (referente à amostra 3) demonstrou rupturas na argamassa colante nas idades de 28 e de 56 dias, porém, os demais testes apresentaram rupturas na argamassa de emboço, caracterizando a fragilidade da base. Realizando uma analogia a uma corrente com elos de aço, sendo um dos elos feito de latão, ao tracionar essa corrente a ruptura se dará no ponto mais frágil, nesse exemplo, no elo de latão. Assim, na interface de interesse, que seria avaliar os resultados na interface argamassa colante e cerâmica, verifica-se uma resistência superior podendo atingir valores até superiores a 0,5 MPa de resistência de aderência à tração, de acordo com as exigências normativas. Neste sistema o ponto frágil é o emboço, não sendo possível, pelos resultados apresentados, diferenciar tecnicamente as argamassas colantes baseado nos objetivos desta dissertação.

As falhas na camada de emboço estão demonstradas na figura 29. Emboço com duas camadas, sendo a segunda com espessura de aproximadamente 3 mm, falhas de aplicação do tipo da falta de imprimação (“aperto”) das chapadas durante a aplicação e a presença de pulverulência superficial em alguns pontos do painel teste. Assim sendo, verificou-se que as argamassas colantes superaram as resistências de aderência para todas as idades determinadas pelo ensaio de arrancamento, pois o comportamento da aderência na interface argamassa colante e cerâmica, interface de estudo, foi eficaz. No entanto, não foi possível avaliar a eficácia das argamassas colantes pela diferenciação dos tipos de polímeros.

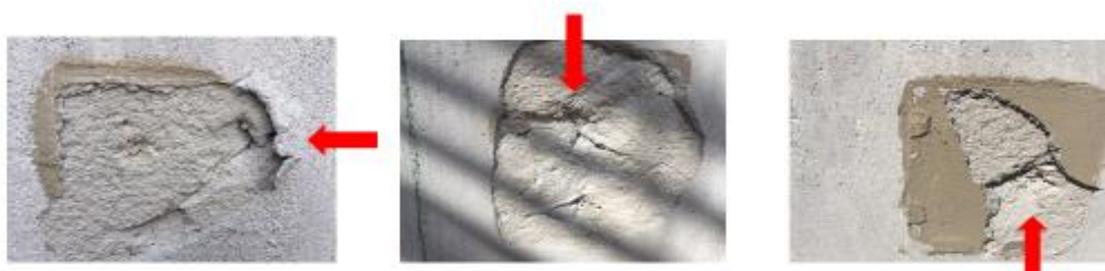
Figura 28 – Apresentação dos pontos de ruptura que ocorreram após arrancamento das peças cerâmicas



Fonte: Pesquisa de campo.

Nota: Da esquerda para a direita: Corpos de prova 1, 2, 3, 5.

Figura 29 – Apresentação dos pontos de ruptura que ocorreram após arrancamento das peças cerâmicas, observando as falhas no emboço caracterizadas por aplicação



Fonte: Pesquisa de campo.

O teste 3, conforme figura 30 nas idades de 28 e de 56 dias, obteve ruptura na argamassa, porém, também acredita-se que na interface de interesse os valores foram maiores do que aqueles obtidos durante o arrancamento. Na idade de 84 dias as rupturas também foram na argamassa de emboço, caracterizando assim falhas no processo executivo do painel teste. Logo é comprovada a desqualificação da mão de obra utilizada e a necessidade de acompanhamento técnico e de controle dos processos executivos para o cumprimento das exigências das normas técnicas vigentes e dos requisitos da norma de desempenho NBR 15575:2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c).

Mesmo com todas as orientações e se tratando de um profissional do mercado, experiente na execução de fachadas argamassadas, foi nítida a presença de falhas executivas que acabaram por interferir na análise da eficiência da argamassa colante polimerizada ao longo de um tempo de 84 dias exposto ao intemperismo. Será analisado o comportamento dos protótipos inseridos após 150 dias de cura ao ar em câmara de intemperismo. Salienta-se que o mesmo pedreiro que misturou a argamassa de revestimento aplicada para a execução do painel teste, a imprimou nos blocos de vedação.

Figura 30 – Vista geral do painel teste após os arrancamentos das peças cerâmicas (1)



Fonte: Pesquisa de campo.

(1) Destaque ao teste 3 com 2 idades de ruptura com pontos em 100% da ruptura na argamassa colante.

A tabela 23 mostra o resultado pontual e médio das duas placas cerâmicas assentadas nos protótipos com cada uma das quatro variações de estudo. Após todo o período de exposição ao ar e após a submissão aos ciclos de variação de temperatura e umidade, os resultados numéricos se mantiveram próximos.

Após o arrancamento das placas cerâmicas assentadas sobre o protótipo, ensaio realizado pelo mesmo equipamento utilizado no painel teste conforme figura 31, observa-se que as rupturas também ocorreram na argamassa de emboço, demonstrando que as argamassas colantes na interface de estudo superariam os resultados obtidos.

Os protótipos ficaram em cura ao ar por 150 dias, os testes 1, 2 e 5 mostraram rupturas em uma película superficial da argamassa de emboço, verificando-se, assim, a presença de

pulverulência superficial dessa argamassa, por possível falha de retenção de água da argamassa de assentamento e revestimento utilizada para as bases. Na figura 31 o teste 3 demonstrou a ruptura da argamassa imprimada na interface com o bloco de concreto de vedação.

Tabela 23 – Ensaio de resistência de aderência ao arrancamento das peças cerâmicas assentadas com as argamassas colantes nos protótipos do painel teste após 150 dias de cura ao ar e 13 dias em câmara de aceleração do intemperismo

Data ruptura	Amostra	Resultado (MPa)			
		T1 (VAE1)	T2 (VAE2)	T3 (VAE3)	T4 (VAE4)
20/12/2018	1	0,26	0,57	0,38	0,41
20/12/2018	2	0,43	0,32	0,31	0,53
	Média	0,34	0,44	0,35	0,47

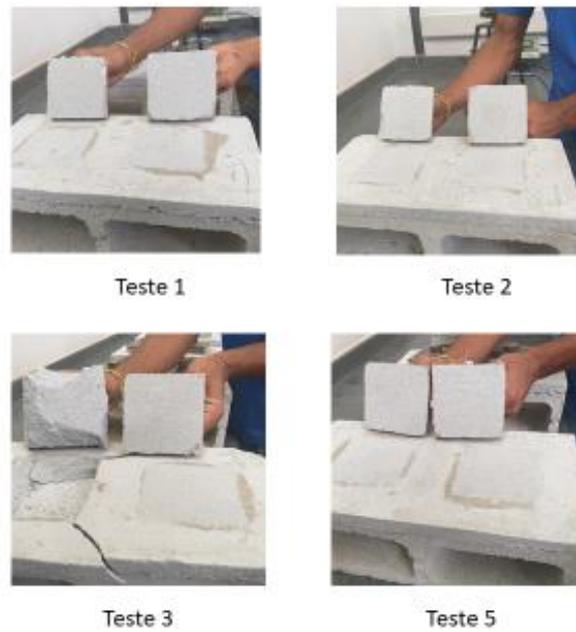
Nota: (a) Percentual de água das amostras: T1 = 22,60; T2 = 21,90; T3 = 22,00; T5 = 21,80. (b) MPa: Mega Pascal. VAE: vinil-acetato de etileno.

Figura 31 – Posicionamento do dinamômetro para os ensaios nos protótipos após câmara de aceleração do intemperismo e três dias de cura ao ar



Fonte: Pesquisa de campo.

Figura 32 – Pontos de ruptura mais comuns após o arrancamento das cerâmicas do painel teste por meio do ensaio da resistência de aderência dos revestimentos assentados com argamassa colante (NBR 13755:2017 – Anexo A)



Fonte: Pesquisa de campo.

Figura 33 – Ruptura da argamassa de emboço durante o teste da argamassa colante referenciada como teste 3



Fonte: Pesquisa de campo.

Os ensaios de resistência de aderência, segundo a norma da ABNT NBR 13755:2017, têm por objetivo avaliar a qualidade dos processos executivos dos revestimentos baseado nos requisitos de resistência mecânica. É um indicativo da qualidade do processo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). A resistência de aderência das placas ao emboço e a resistência de aderência superficial do emboço deve seguir uma amostragem mínima a ser analisada, conforme recomendações dessa norma. No entanto, a amostragem mínima se refere à condição de obra. Tratando-se do painel teste executado para os estudos propostos nesta pesquisa, os critérios de amostragem, aceitação e interpretação dos resultados foram baseados nessa norma, porém, com o número de corpos de prova inferior ao dela. A análise de resultados propostos se deu não só pelos valores numéricos, mas, principalmente pela análise dos pontos de ruptura que foram cruciais para a conclusão deste trabalho.

Na tabela 24 é apresentado um resumo dos valores numéricos adquiridos em cada ensaio realizado nas quatro amostras selecionadas para o aprofundamento dos estudos propostos e análise comparativa, de acordo com os tipos de polímeros utilizados, baseado em sua característica da temperatura de transição vítrea (T_g).

Tabela 24 – Resumo dos resultados das quatro amostras selecionadas para os estudos de desempenho

(Continua)

Especificação	Unidade	Amostra			
		T3	T5	T1	T2
Média dos resultados de resistência de aderência à tração					
NBR 14081-4:2012 e NBR 14081-3: 2012					
Cimento	%	24,00	24,00	20,00	20,00
Polímero		VAE3: $T_g = -15^{\circ}\text{C}$	VAE5: $T_g = 10^{\circ}\text{C}$	VAE1: $T_g = -7^{\circ}\text{C}$	VAE2: $T_g = 16^{\circ}\text{C}$
Polímero	%	1,80	1,80	1,80	1,80
Razão polímero/cimento	-	0,08	0,08	0,09	0,09
Água na mistura	%	24,50	24,50	24,00	24,00
Tempo em aberto	MPa	0,63	0,90	0,70	0,78
Cura normal	MPa	0,87	1,03	0,72	0,77
Cura submersa	MPa	0,66	0,61	0,52	0,49
Cura estufa	MPa	0,52	0,46	0,42	0,52

Tabela 24 – Resumo dos resultados das quatro amostras selecionadas para os estudos de desempenho

(Conclusão)

Especificação	Unidade	Amostra			
		T3	T5	T1	T2
Média dos resultados de resistência de aderência à tração pelo arrancamento das placas cerâmicas assentadas no painel teste					
NBR 13755:2017 – Anexo A					
Arrancamento aos 28 dias	MPa	0,36	0,33	0,34	0,26
Arrancamento aos 56 dias	MPa	0,19	0,24	0,20	0,22
Arrancamento aos 84 dias	MPa	0,29	0,38	0,32	0,23
Água na mistura	%	22,00	21,80	22,60	21,90
Média dos resultados de resistência de aderência à tração pelo arrancamento das placas cerâmicas assentadas sobre protótipos do painel teste com a argamassa do emboço imprimada sobre o mesmo bloco utilizado para elevar a alvenaria do painel teste					
NBR 13755:2017 – Anexo A					
Arrancamento aos 150 dias cura ao ar + 13 dias cura em câmara climática + 3 dias cura ao ar	MPa	0,31	0,47	0,34	0,44
Resultado da deformação transversal					
EN 12004-2:2017					
Força Máxima de Ruptura	N	3,07	3,21	3,00	2,84
Deformação	mm	1,31	1,43	1,33	1,46
Água na mistura	%	21,00	21,00	20,00	20,00

Fonte: Pesquisa de campo.

Notas: C: centígrado. mm: milímetro. MPa: Mega Pascal. N: Newton. %: Percentual. Tg: temperatura transição vítrea. VAE: vinil-acetato de etileno.

Os resultados apresentados nesta seção serão discutidos na seção 5.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Baseado nos resultados apresentados na tabela 24, é relevante considerar as seções 5.1 a 5.3.

5.1 Ensaio de Resistência de Aderência e Tempo em Aberto segundo a NBR 14081-4:2012 e NBR 14081-3:2012

Conforme rupturas (fig. 26 e 27), observa-se que 100% delas foram nas argamassas colantes (A). Assim, na interface argamassa colante e cerâmica, os valores de resistência de aderência, possivelmente, foram maiores do que os valores apresentados no manômetro do equipamento. Destaca-se que todas as quatro amostras apresentaram extensão de aderência com tempo em aberto medido até os 30 minutos, com preenchimentos do tardo das cerâmicas não menores que 90%, repetindo os resultados apresentados na primeira etapa relacionada com a medida do *Quick Open Time*. A classificação dessas argamassas, segundo a norma da ABNT NBR 14081-1:2012, será do tipo ACII, pois os resultados de cura em estufa ficaram dentro de 0,5 MPa de resistência de aderência. Observa-se que os polímeros com extremos da temperatura de transição vítrea -15°C e $+16^{\circ}\text{C}$ (VAE3 e VAE2) apresentaram maiores resultados de resistência de aderência na cura em estufa, porém, não foram os melhores nas demais curas e nos resultados de tempo em aberto em que se destacou a amostra dosada com o VAE5 com $t_g = +10^{\circ}\text{C}$. Diante dos resultados apresentados, pode-se considerar que todas as quatro amostras atenderiam às condições de uso e aplicação para fachadas para a classificação do tipo ACII, independentemente do tipo de polímero, para os resultados de resistência de aderência e de tempo em aberto.

5.2 Ensaio de resistência de aderência à tração pelo arrancamento de placas cerâmicas aderidas baseado na NBR 13755:2017

Nenhum dos resultados atingiu valor de resistência de aderência que aprovaria o sistema de revestimento proposto. Observa-se que os valores apresentados não apontaram variações ao longo do tempo sob a exposição ao intemperismo natural e, nem mesmo, nos protótipos que representaram o painel teste e foram inseridos na câmara climática. Pode-se considerar que as resistências de aderência das placas cerâmicas aderidas ao longo do tempo de 84 dias de exposição, assim como as placas cerâmicas aderidas aos protótipos expostos ao intemperismo natural por 150 dias e ao intemperismo forçado por 13 dias, não houve diferenças de resultados ou mesmo quedas de resultados significativas, ao longo do tempo de exposição.

As variações dos resultados não foram marcantes e se comparados os resultados obtidos da resistência de aderência do arrancamento das placas cerâmicas no painel teste versus os resultados da resistência de aderência do arrancamento das placas cerâmicas dos protótipos, observa-se que apesar de um tempo maior de exposição dos protótipos, os resultados se apresentaram pouco maiores comparados com os resultados do painel teste. No entanto, as rupturas foram praticamente todas na argamassa de emboço, identificando falhas executivas (fig. 28 e 29) durante o processo de uso e aplicação da argamassa industrializada para revestimentos, realizado por um profissional de mercado. Os valores de resistência de aderência apresentados não podem ser considerados para a avaliação do sistema de acordo com os objetivos desta dissertação, pois as rupturas se deram nos pontos mais frágeis que fora na argamassa de emboço. Logo, entende-se que na interface argamassa colante e cerâmica, objeto deste estudo, provavelmente os valores seriam maiores que os apresentados nas tabelas 20, 21 e 22.

Devido aos resultados obtidos do arrancamento das placas cerâmicas aderidas ao painel teste e nos protótipos inseridos na câmara de intemperismo não atingirem os requisitos e critérios de aceitação do sistema de revestimento, e, devido ao fato das rupturas não terem ocorrido na interface de interesse (cerâmica e argamassa colante), desprezam-se os valores obtidos nos ensaios de resistência de aderência por meio do arrancamento das placas cerâmicas assentadas sobre o painel teste e sobre os seus protótipos. Serão avaliados somente os resultados dos ensaios de caracterização e deformação na transversal, deixando a análise do sistema para após definição de uma formulação que venha a ser mais adequada ao sistema de revestimento com placas cerâmicas aderidas, objetivando o cumprimento dos requisitos e critérios para o atendimento à norma de desempenho (NBR 15575:2013) no que se refere à sua durabilidade em função da aderência na interface cerâmica e argamassa colante (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c).

Nota-se que nos resultados de resistência de aderência aos 56 dias houve uma queda de valores, porém, ela é justificada pela umidade do emboço no ato do ensaio em função de uma tempestade que havia caído no dia anterior ao ensaio.

5.3 Ensaios da deformação transversal segundo EN 12004-2:2017

Os resultados apresentaram forças de ruptura e deformabilidade próximas, mas tem-se que levar em consideração que, baseado na metodologia do ensaio, é aplicada uma força concentrada em uma lâmina da argamassa colante com 3 mm de espessura. Logo, verifica-se a sensibilidade do ensaio que mostrou que a amostra 2, com o polímero que tem a temperatura de transição vítrea igual a +16°C, apresentou para uma menor força de ruptura (N) uma melhor deformabilidade (mm) comparada às demais amostras.

Assim sendo, deve-se concentrar a pesquisa na relação polímero/cimento, considerando não somente a temperatura de transição vítrea, mas também a quantidade de cimento dosado na composição das argamassas colantes. Quanto maior a quantidade de cimento, a tendência é tornar a argamassa colante mais rígida e, assim, diminuindo o valor da correlação polímero/cimento, obtendo um produto menos deformável.

As formulações poderão ser ajustadas com o aumento de polímero e teores mais baixos de cimento.

A deformação da argamassa é maior quanto menor for a força de ruptura. É uma correlação inversamente proporcional. Logo, quanto menor a força de ruptura, maior será a sua deformação e quanto maior a força de ruptura menor será sua deformação.

Apesar da amostra T2 (tab.19) ter sido composta por um polímero de Tg igual a +16°C, foi aquela que melhor se desempenhou no que se refere à sua deformabilidade.

Dessa forma, pode-se tratar de uma correlação inversamente proporcional sendo que quanto maior a resistência de aderência, considerada a cura normal, menor será a sua deformabilidade e, conseqüentemente, a argamassa colante não absorverá todas as deformações, podendo colapsar por fadiga e assim apresentar patologias de descolamento.

Considera-se que é necessário conciliar uma boa resistência de aderência com a deformabilidade da argamassa colante. Normalmente, as rupturas ocorridas durante os ensaios de resistência de aderência com argamassas colantes com alto teor de cimento são imediatas e não passam primeiramente por um cisalhamento e, em seguida, pela ruptura que é lenta e, muitas das vezes, não são apontadas de imediato no manômetro do equipamento.

Considerando os resultados da tabela 25 e a sua análise, a amostra T2 foi aquela que apresentou maior deformabilidade, apesar de não ter apresentado os melhores resultados de resistência de aderência à tração. Entretanto, pode-se considerar que a argamassa colante, uma vez atingindo composições que venham equilibrar resistência de aderência e deformabilidade, poderá contribuir na interface cerâmica e argamassa colante para a maior durabilidade do sistema de revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas. Isso se dará com a utilização de uma argamassa colante adequada que venha a absorver melhor as deformações oriundas do intemperismo e das características da cerâmica a ser aderida, principalmente em relação à sua expansão por umidade.

Avaliando os resultados da amostra T2, confeccionada com polímero de Tg igual a +16°C, obteve-se uma maior deformabilidade, menor força de ruptura e resultados de resistência de aderência dentro dos parâmetros para a classificação de uma argamassa colante tipo ACII, segundo NBR 14081:2012-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012a).

Comparando esses resultados, por exemplo, com a amostra T5, em que os resultados de resistência de aderência foram maiores, é nítida a influência do percentual de cimento utilizado na dosagem. Porém, entende-se que a deformabilidade é menor com uma maior força de ruptura. Mesmo tendo a amostra T5 com Tg mais baixo (+10°C) que amostra T2, em função do percentual de cimento mais elevado, essa amostra é menos deformável.

Na tabela 25 observa-se que, ao dividir o resultado de resistência de aderência, por exemplo, da cura normal (MPa) pelo resultado de deformação na transversal (mm), obtém-se a indicação do menor resultado dessa relação de resistência por deformação, demonstrando assim que se pode selecionar o polímero de Tg igual a + 16°C para os estudos futuros. Considerando que a argamassa colante T2 seria a mais flexível e com maior potencial para cumprir com o desempenho de durabilidade em função de sua deformabilidade e resistência de aderência dentro dos parâmetros normativos para o tipo ACII.

Deve-se considerar que essa condição se dá para temperaturas ambientes e de laboratórios superiores à temperatura de transição vítrea, porém, se levar essa mesma formulação para um local com temperaturas ambientes menores que a temperatura de transição vítrea do polímero utilizado, deve-se considerar essa argamassa colante uma argamassa rígida e um polímero de Tg's mais baixas devem ser estudados. Assim, se for traçado um gráfico dos resultados de deformação das argamassas colantes em função do seu Tg definiriam-se o tipo de polímero para cada argamassa colante de acordo com o local de seu uso e aplicação em função das zonas bioclimáticas do Brasil.

Tabela 25 – Relação entre resistência de aderência e deformação

Amostra	Polímero	TG (°C)	Deformação (mm)	% CIMENTO	Resistência de Aderência			Relação polímero/cimento	Deformação x Resistência de Aderência Cura normal (MPa/mm)	
					Tempo em aberto	Cura normal (MPa)	Cura submersa (MPa)			Cura estufa (MPa)
T3	VAE3	-15	1,31	24	0,66	0,87	0,66	0,52	0,08	0,66
T5	VAE5	10	1,43	24	0,90	1,03	0,61	0,46	0,08	0,72
T1	VAE1	-7	1,33	20	0,70	0,72	0,52	0,42	0,09	0,54
T2	VAE2	16	1,46	20	0,78	0,77	0,49	0,52	0,09	0,53

Fonte: Pesquisa de campo.

Notas: C: centígrado. mm: milímetro. MPa: Mega Pascal. %: Percentual. Tg: temperatura transição vítrea. VAE: vinil-acetato de etileno.

A seguir, na seção 6, serão feitas as considerações finais, enquanto na seção 7 serão apresentadas sugestões de pesquisas a serem desenvolvidas no futuro.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado no objetivo deste trabalho, que consiste em desenvolver uma argamassa colante específica para revestimento externo com avaliação da sua interface com a cerâmica, verifica-se que as dosagens propostas atendem aos requisitos estudados, desde que sejam trabalhadas as correlações que venham direcionar a escolha dessas composições para um equilíbrio entre os resultados de resistência de aderência e flexibilidade.

Deve-se considerar uma proporção adequada entre a quantidade de cimento utilizada nas formulações e a quantidade de polímero do tipo VAE, independentemente da sua característica da temperatura de transição vítrea. O aumento do cimento poderá caracterizar uma argamassa colante mais rígida, mesmo com excelentes resultados de resistências de aderência, porém menos flexível.

Os polímeros utilizados nas dosagens apresentam diferenças em sua temperatura de transição vítrea. Essa característica, de acordo com o conceito de Tg e os resultados obtidos neste trabalho, demonstrou que na temperatura dos ensaios (23°C), e também na maioria das temperaturas encontradas no Brasil, todos os polímeros utilizados são flexíveis. Como exemplo da situação encontrada na Rússia, com ocorrência de temperatura ambiente de -5°C, seria imprescindível a utilização de um polímero com alta concentração de etileno e sua temperatura de transição vítrea baixa. Considerando-se um polímero de Tg igual a +16°C teria-se uma argamassa colante extremamente rígida, vitrificada em função da baixa temperatura ambiente do local, pois a Tg estaria acima das temperaturas ambientes locais.

Assim sendo, pode-se concentrar a evolução desta pesquisa e dos futuros trabalhos na variação dos percentuais dos polímeros, independentemente do seu Tg, e também na variação do percentual do cimento na composição das argamassas colantes.

No caso dos polímeros disponibilizados para os testes, vale esclarecer que se tratam de copolímeros que passaram pelo processo de polimerização e logo se transformaram, com a adição de plastificante etileno, em um polímero de vinil-acetato de etileno. Quanto maior a concentração de plastificante, menor é a temperatura de transição vítrea.

Observa-se que quanto maior a relação polímero/cimento, maior será a deformação e menor a resistência de aderência. A resistência de aderência e a deformação são inversamente proporcionais. A resistência de aderência poderá ser incrementada com a adição de cimento, o que ocasionaria rigidez da argamassa colante. No entanto, é necessário buscar um equilíbrio entre o tipo e dosagem do polímero e o percentual de cimento.

No entanto, faz-se necessário melhor trabalhar a argamassa de emboço e o processo executivo, a fim de garantir um melhor desempenho de sua resistência superficial e, dessa

forma, promover condições para uma melhor performance na interface emboço/argamassa colante. A deformabilidade das amostras, aliada à análise da extensão de aderência, conduzirá a uma avaliação da durabilidade dos sistemas de revestimentos com cerâmicas, não se concentrando apenas nos resultados de resistência de aderência a tração, mas abrangendo também o tempo em aberto expedito, o preenchimento do tardez e sua deformabilidade, para que se possa garantir a dissipação das tensões de esforços extrínsecos e intrínsecos aos quais as fachadas estão expostas.

Assim sendo, para a conclusão desta pesquisa será necessário estudar a aplicação da argamassa colante em uma base padrão que não sofra nenhum tipo de interferência e que seja possível, ao longo da exposição das placas cerâmicas ao intemperismo natural e forçado, medir a durabilidade do sistema de forma comparativa a uma argamassa colante de mercado. O maior desafio, a partir dos resultados obtidos e baseado nos conceitos da temperatura de transição vítrea (T_g), é garantir a resistência de aderência e maior deformabilidade para que sejam absorvidas todas as deformações que porventura acontecerem, e flexibilidade para evitar a ocorrência de colapsos e, conseqüentemente, descolamentos ao logo do tempo.

Considera-se que a flexibilidade das argamassas colantes está diretamente ligada à relação polímero/cimento e não necessariamente às características dos polímeros em função de sua temperatura de transição vítrea.

7 SUGESTÃO TRABALHOS FUTUROS

- a) Aprofundar nos estudos voltados para a flexibilidade das argamassas colantes com a utilização de copolímeros de vinil-acetato de etileno;
- b) Desenvolver variações das dosagens baseadas na relação polímero/cimento a fim de se encontrar a argamassa colante que poderá melhor absorver as deformações;
- c) Definir uma nova base de aplicação das cerâmicas para exposição ao intemperismo tanto forçado quanto natural, sem interferências que venham prejudicar a interface de interesse de estudo para avaliação do comportamento na interface argamassa colante e cerâmica ao longo do tempo;
- d) Medir a durabilidade do sistema com a utilização da argamassa colante desenvolvida.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277:2005**- argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da retenção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278:2005**; argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279:2005** - argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280:2005** - argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. . Rio de Janeiro: ABNT, 2005d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: argamassa para assentamento de paredes e tetos: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005e.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: revestimento de paredes de argamassas inorgânicas: determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**: revestimento de paredes de tetos de argamassas inorgânicas: terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755**: revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com a utilização de argamassa colante – Projeto, execução, inspeção e aceitação: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13816**: placas cerâmicas para revestimento: terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1997a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13817**: placas cerâmicas para revestimento: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818**: placas cerâmicas para revestimentos: Especificações e métodos de ensaio. Anexo J, ensaio de expansão por umidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1997c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081**: argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Parte 1: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081**: argamassa colante para assentamento de placas cerâmicas - Parte 2: execução substrato padrão e aplicação das argamassas para ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081**: argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Parte 3: determinação do tempo em aberto. Rio de Janeiro: ABNT, 2012b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081**: argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Parte 4: determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2012c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15258:2005**: argamassa para revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2005f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259:2005**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005g.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15571-1**: edificações habitacionais – desempenho – Parte 1: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15571-1**: edificações habitacionais – desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2013d.

BARROS, M.M.S.B; MACIEL, L.L.; SABBATINI, F.H. **Recomendações para execução de revestimento de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. São Paulo: CPqDCC-EPUSP, 1998.

BAUER, Elton; CASTRO, Eliane Kraus de; ANTUNES, Giselle Reis. Processo de identificação das manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 9, 2011, Belo Horizonte. [Belo Horizonte: Comunidade da Construção, 2011].

BAUER, R.J.F. Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA / ANTAC, 1997.

BAUER, Roberto José Falcão; RAGO, Fabiola. Expansão por Umidade de Placas Cerâmicas para Revestimento. **Revista: Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 5, n. 3, maio/jun. 2000.

CALLISTER JÚNIOR, Willian D.; RETHWISCH. David G. **Ciência e engenharia dos materiais**: uma introdução, 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CARASEK, H. Argamassas. *In*: ISAIA, G. C. (ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. p. 804-863.

CARVALHO JÚNIOR, Antônio Neves de. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados**: uma contribuição a identificação do sistema de aderência mecânico. 2005. Tese (Doutorado em Tecnologia Mineral) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais com concentração em tecnologia mineral, Belo Horizonte, 2005.

CARASEK, Helena; CASCUDO, Osvaldo. Título. *In*: ISAIA, G. C. (ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007.

CINCOTTO, M. A.; KAZMIEMRÉZXAICKO, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento**; características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p. (Publicação IPT 2378)

EUROPEAN STANDARD. **EN 12004**: adhesives for ceramic tiles – Parte 2: tests methods. Paris: EN, 2017.

GALLETTO, Adriana; ANDRELLO, José Mário. Patologia em fachadas com revestimentos cerâmicos. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PATOLOGIA Y RECUPERACIÓN DE ESTRUCTURAS, 9., 2013 João Pessoa. São Paulo: Cinpar, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13006:2018** Ceramic tiles – Definitions, classification, characteristics and marking. Geneva:ISO, 2018.

MANSUR, A. **Mecanismos físicos e químicos de aderência na interface argamassa modificada com polímeros e cerâmicas de revestimento**. 2007. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

MARANHÃO, Flávio L; JOHN, Wanderley M. Bond strength and transversal deformation aging on cement-polymer adhesive mortar. *Construction and Building Materials*, Amesterdã, v. 23, n. 2, p. 1022-1027, Feb. 2009.

OLIVEIRA, Michelle. POLÍMEROS: o que são, suas aplicações e as áreas de formações técnicas e acadêmicas. *In*: SEMANA DE POLÍMEROS, 7., 2013, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Instituto Macromoléculas, UFRJ, 2013.

PACHECO, C. P.; VIEIRA, G. L. Análise quantitativa e qualitativa da degradação das fachadas com revestimento cerâmico. **Cerâmica**, São Paulo, v. 63, n. 368, Oct./Dec. 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132017000400432.

PARENTE, Lawton. Sistema-de-revestimento-cerâmico. *In*:BLOG.

RIBEIRO, Fabiana Revestimento de fachada. **AECWEB** Disponível em: www.aecweb.com.br . Acesso em: jan. 2019.

SANTOS, Heraldo Barbosa. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento**. 2008. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SCHULZE, Joachim **Influence of water-cement ratio and cement content on the properties of polymer modified mortars**. Burghausen: Wacker Polymer Systems GmbH&Co. KG , 2015.

SILVA, Anne Caroline Melo da. **Contribuição ao estudo da influência da área de contato na aderência da argamassa colante e cerâmica**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2018.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Politécnica. **Ciência e engenharia dos materiais classificação dos materiais ligaçõe, 2005s químicas**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2005. PMT 2100 - Introdução à ciência dos materiais para Engenharia. Disponível em: www.poli.usp.br. Acesso em: jun. 2019.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Instituto de Arquitetura e Urbanismos. **Projeto**. [São Paulo: Universidade de São Paulo. Instituto de Arquitetura e Urbanismos, ano]. Disponível em: <https://www.iau.usp.br/pesquisa/grupos/arqtema/erica/cdrom-erika/projeto.htm>. Acesso em: mar. 2019

VALENTINI, P.; KAZMIEMRCÉZXAICKO, C. S. Avaliação da aderência de placas cerâmicas aplicadas como revestimento de fachada. **Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción**, México, v. 6, n. 2, mayo/agosto, p. 116-128, 2016.

VIEIRA, Jucélia Kuchla; SILVA, Maria Carolina Rodrigues; DONATONI, Juliana Barrinuevo; TORALLES-CARBONARI, Berenice Martins. Argamassas colantes: características, propriedades e cuidados na aplicação. *In*: ENCONTRO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA, 4., 2003.

Site consultados:

www.abai.com.br – Acesso em: mar. 2019

www.aecweb.com.br – Acesso em: mar. 2019

www.análisestérmicas.com.br – Acesso em: mar. 2019

www.anfacer.com.br – Acesso em: mar. 2019

www.homedecora.com.br – Acesso em: mar. 2019

www.incepa.com.br – Acesso em: mar. 2019

<https://abai.org.br/> – Acesso em: mar. 2019