



*Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Mestrado - Doutorado*

Mecanismos de Adesão em Sistemas Cerâmicos Aderidos Sujeitos a Variações Térmicas Cíclicas

por

Sóstenes Rodrigues do Rêgo

*Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal da Paraíba
para obtenção do grau de Doutor*

João Pessoa - Paraíba

Novembro, 2012

Sóstenes Rodrigues do Rêgo

Mecanismos de Adesão em Sistemas Cerâmicos Aderidos Sujeitos a Variações Térmicas Cíclicas

Tese apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Doutor em Engenharia
Mecânica, do Curso de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica, Área Materiais,
Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Prof. PhD Sandro Marden Torres

R343m Rêgo, Sóstenes Rodrigues do.

*Mecanismos de adesão em sistemas
cerâmicos aderidos sujeitos à variações térmicas
cíclicas / Sóstenes Rodrigues do Rêgo.-- João
Pessoa, 2012.*

109f. : il.

Orientador: Sandro Marden Torres

Tese (Doutorado) – UFPB/CT

***Mecanismos de Adesão em Sistemas Cerâmicos Aderidos Sujeitos à
Variações Térmicas Cíclicas***

por

Sóstenes Rodrigues do Rego

*Tese de Doutorado aprovada em 12 de Novembro de 2012
Período letivo 12.2*

*Sandro Marden Torres, Prof. PhD. UFPB
(Orientador)*

*Tadeu Antônio Azevedo Melo, Prof. Dr. UFPB
(Examinador Interno)*

*José Maurício Alves de Matos Gurgel, Prof. Dr. - UFPB
(Examinador Interno)*

*Kelly Cristiane Gomes da Silva, Prof. Dr. - UFPB
(Examinador Externo)*

*Andressa de Araújo Porto Vieira, Prof. Dr. - UFPB
(Examinador Externo)*

Dedico este trabalho ao meu irmão Josué, com quem partilhei as dificuldades e alegrias da minha infância e juventude, com quem aprendi a superar as dificuldades da vida, a ensinar-me com sua paciência e inteligência. Meu muito obrigado e as minhas saudades.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante em minha vida e que com seu amor e grandeza ilumina meu caminho.

A minha sobrinha Fernanda pelo seu amor, dedicação, paciência e desprendimento que me fez superar as dificuldades do período crucial de minha vida.

Ao meu concunhado Fernando e extensivo a sua esposa, minha gratidão pelo seu apoio, paciência e orientação em minha recuperação.

Ao professor, orientador e amigo Sandro Marden, pelos ensinamentos transmitidos, confiança e pela oportunidade de desenvolver este trabalho, minha gratidão.

Ao professor Normando Perazzo, amigo, colaborador, meu muito obrigado pela dedicação e incentivos, que grandemente contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao amigo e colaborador o professor Silvio de Barros, pelos ensinamentos no decorrer na pós-graduação, minha gratidão.

Ao professor e amigo José Gonçalves pela colaboração no desenvolvimento do protótipo do Sistema térmico de irradiação cíclica, a minha gratidão.

A todos os professores da Pós-Graduação de Engenharia Mecânica, que com seus ensinamentos contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos funcionários do LABEME (CT-UEPB), nas pessoas de Delby Fernandes, Luiz Ricardo, Sebastião, Zito, Cláudio Mathias, Sérgio, João Dantas e Albertinho, pelo apoio na realização da parte experimental do trabalho.

Aos professores e funcionários do LSR (CT-UEPB), em especial ao professor Severino Jackson Guedes e aos alunos André Rosado e Ieverton, pelo apoio na realização da caracterização dos materiais.

Aos meus amigos e colegas, pela amizade e apoio, em especial a Kelly Gomes, Sobrinho Júnior, Jeferson Mack, Primo Fernandes, Salustiano Miguel, Ulisses Targino, Sandra Nicolau e Marçal Rosas pela colaboração e confiança em todos os momentos durante a realização deste trabalho.

A minha esposa Odeci, pelo amor, carinho, dedicação sem o qual eu não superaria as dificuldades da minha vida, pelos incentivos na realização deste trabalho e em todos os momentos de minha vida e sem cuja presença este não seria possível.

Aos meus filhos, noras e neto, Thiago, Thibério, Thiênia, Márcia, Ana Flávia e João Vitor, pela sua dedicação e amor, com o qual sempre me levaram a todas minhas realizações.

Aos demais familiares e amigos, obrigado pelo companheirismo.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização e conclusão deste trabalho e acreditaram na minha capacidade de vencer mais essa etapa da vida.

RESUMO

O descolamento de placas de revestimento em edificações é um problema que ainda persiste em diversas construções modernas. Estes descolamentos acontecem principalmente em fachadas, onde a incidência de raios solares nas superfícies, aliada aos diferentes coeficientes de dilatação dos materiais constituintes dos seus revestimentos, contribuem para deformações diferenciais gerando tensões superiores aquelas dos mecanismos de adesão. Embora vários parâmetros estejam preconizados em diversas normas nacionais e internacionais, o efeito da temperatura, da cor das placas cerâmicas e o tipo de adesivo utilizado na aderência de placas em fachadas não têm sido considerados. Desta forma, as normas não contemplam a associação entre a difusão de calor gerada por irradiação solar e as diversas cores dos elementos de revestimento, que pode contribuir para a qualidade do revestimento de fachada. Este projeto objetiva-se a avaliar o comportamento mecânico de sistemas cerâmicos colados com adesivos comerciais à base de Cimento Portland e Geopoliméricos, propondo, assim, novos materiais adesivos (sustentáveis) e novas proposições de avaliação. Uma análise de edificações reais, na cidade de João Pessoa, indicou que os principais problemas de queda de material em fachadas ocorrem, predominantemente, na interface cerâmica-cola como também nas fachadas com maior incidência de radiação solar. Os sistemas estudados em laboratório foram projetados como uma tentativa de simular condições de utilização de peças em estruturas reais. Os principais parâmetros de ensaio foram: a temperatura, o tipo de adesivo e a cor do elemento cerâmico. A temperatura da câmara de irradiação foi calibrada de maneira que um globo negro atingisse temperatura de 55°C e simulasse chuvas. A ciclagem térmica foi controlada por um termostato automático e ocorreu por um, três e sete dias. A aderência foi avaliada de acordo com ensaios mecânicos de arrancamento, segundo a NBR 14084. Os resultados experimentais confirmam que os descolamentos ocorrem, predominantemente, na interface cerâmica-cola e que o aumento da temperatura tem um efeito negativo para a argamassa colante e positivo para os adesivos geopoliméricos. Os resultados desta pesquisa contribuirão para fornecer subsídios teórico-práticos sobre a adesão de revestimento de fachadas, bem como para avaliação do potencial de utilização de adesivos geopoliméricos na colagem de revestimentos cerâmicos.

Palavras-Chave: Placas cerâmicas, Aderência, Novos Adesivos, Desempenho Termomecânico.

ABSTRACT

The fall of ceramic tile elements in facades is a problem that still persists in countries with more than two hundred years of experience. Although there are several parameters considered important in many standards, the effects of sun rays radiation on heat transfer and its combined effect with the color of the elements are not considered. As far as temperature is concerned, standards are mostly focused on stresses generated by thermal expansion. Although temperature affects cement hydration, which is the main material used to produce facade adhesives, studies on the effect of these parameters on the pathologies associated with tile falls is very incipient. The aim of this work is to investigate the mechanical behavior of ceramic tile beams bonded with commercial Portland cement based adhesives and geopolymeric adhesives subjected to cyclic thermal variations, proposing new materials adhesives (sustainable) and new propositions review. First, several field cases were studied in order to assess the main features of damaged facades. It has been observed that most bond problems occurred at the ceramic tile and the adhesive material interface. Also, facades with greater damage were oriented towards greater exposure of sun rays, which temperature gradient was as high as 55°C between day and night and also between color types. A laboratory systematic study was designed to simulate real thermal cycles as in structure conditions. Test parameters were temperature exposure, type adhesives and color ceramic tile. The cyclical temperature regime was produced in an irradiation chamber designed to reach 55°C in a black globe for one, three and seven days. The adhesion was evaluated for mechanical pull tests (NBR 14084). The experimental results confirmed that failure happens at the ceramic-adhesive interface and, also, that temperature has a negative effect on the adhesive commercial Portland cement and positive for geopolymeric adhesives. The greater the temperature, the lower the adhesion, especially when the adhesive thickness increases. The results help to supply both scientific bases to understand adhesive properties of tile facades.

Keywords: Ceramic Plates, Adhesion, New Adhesives, Thermalmechanic behavior

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1. INTRODUÇÃO	18
1.2 OBJETIVOS	21
1.2.1 Geral	21
1.2.2 Específicos	21
1.3 ESTRUTURA DA TESE	21
2. REVISÃO CRÍTICA DA LITERATURA	24
2.1 MATERIAIS CERÂMICOS	24
2.1.1. Tipos de Revestimento Cerâmico	45
2.2 DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA DE REVESTIMENTO DE FACHADAS	29
2.3 ADERÊNCIA DE PEÇAS CERÂMICAS EM SUBSTRATOS CIMENTÍCIOS	29
2.3.1 Tipos de Danos no Mecanismo de Adesão	38
2.4 GEOPOLÍMEROS	38
2.5 SUMÁRIO DA LITERATURA E MOTIVAÇÃO PARA A TESE	40
3. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	42
3.1 PARÂMETROS DE ENSAIO	42
3.2 SELEÇÃO DOS MATERIAIS	45
3.2.1. Material Cerâmico	45
3.2.2. Adesivos (Cola)	46
3.2.3. Água	46
3.2.4. Ativadores	46
3.3 PREPARAÇÃO DAS PASTAS	47
3.4 CONDIÇÕES DE CURA	47
3.5 TÉCNICAS UTILIZADAS NA CARACTERIZAÇÃO DAS COLAS	49
3.5.1. Massa Específica	49
3.5.2. Porosidade Aparente	49

3.5.3. Absorção de Água.....	49
3.5.4. Análise Química por Fluorescência de Raios-X – (XRF)	49
3.5.5. Resistência à Compressão Simples.....	50
3.5.6. Testes de Aderência ao arrancamento (NBR 14084)	50
3.5.7. Análise Estatística	50
4. EDIFICAÇÕES EM JOÃO PESSOA COM PROBLEMAS DE DANOS NAS FACHADAS: GEORREFERENCIAMENTO.....	52
4.1 INTRODUÇÃO.....	52
4.2 GEORREFERENCIAMENTO DAS EDIFICAÇÕES E SEUS DANOS.....	52
4.2.1 Edifício Residencial 01.....	54
4.2.2 Edifício Residencial 02.....	56
4.2.3 Edifício Residencial 03.....	58
4.2.4 Edifício Residencial 04.....	60
4.2.5 Edifício Residencial 05.....	62
4.2.6 Edifício Residencial 06.....	63
4.2.7 Sumário dos Tipos de Danos dos Edifícios Estudados	66
5. CARACTERIZAÇÃO DAS PLACAS CERÂMICAS, DAS MATÉRIAS PRIMAS E DOS ADESIVOS	67
5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS PEÇAS CERÂMICAS E DOS SUBSTRATOS	67
5.1.1 Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção de Água.....	67
5.1.2 Módulo de Elasticidade	67
5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PRECURSORES GEOPOLIMÉRICOS E DOS ADESIVOS (COLA).....	68
5.2.1 Caracterização Química da Argamassa ACIII-E, dos Precursores e dos Adesivos Geopoliméricos.....	678
5.2.2 Caracterização Mineralógica dos Precursores e dos Adesivos Geopoliméricos.....	67
5.2.3 Tempo em Aberto dos Adesivos Geopoliméricos e da Argamassa Colante.....	71
6. DESEMPENHO MECÂNICO	77
6.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES DOS ADESIVOS.	77
6.2 RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO - ENSAIO ABNT (NBR 14084)	78
6.2.1 Aspecto Visual.....	78

6.2.2 Resistência ao Arrancamento	80
7. EFEITO DO TIPO DE MISTURA (MANUAL OU MECÂNICA) NA RESISTÊNCIA A ADERÊNCIA.....	90
8. INFLUÊNCIA DOS PARAMENTROS NA RESISTÊNCIA A ADERÊNCIA: ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIÁVEL.....	95
9. CONCLUSÃO.....	101
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	104
REFERÊNCIAS.	1015

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Produção Mundial de Revestimento Cerâmico. Fonte: ANFACER (2012)....	30
Figura 2.2: Exportação Mundial de Revestimento Cerâmico. Fonte: ANFACER (2012).	30
Figura 2.3: Consumo Mundial de Revestimento Cerâmico. Fonte: ANFACER (2012). ..	31
Figura 2.4: Produção Nacional Brasileira de Revestimento Cerâmico. Fonte: ANFACER (2012).	31
Figura 2.5: Fachada oeste de Prédio no bairro do Bessa com grande quantidade de descolamento das placas cerâmicas.	32
Figura 2.6: Fachada de Prédio no Miramar e detalhe do descolamento de cerâmicas na fachada oeste.....	32
Figura 2.7: Vários tipos de descolamentos de revestimentos cerâmicos em edifícios localizados na cidade de João Pessoa, Paraíba - Brasil	37
Figura 2.8: Tipos de Danos em Revestimentos: 1) Ruptura Adesiva, 2) Ruptura Coesiva e 3) Ruptura Mista.	37
Figura 3.1: Esquema de medições de irradiação térmica.	43
Figura 3.2: Nomenclatura adotada os adesivos geopoliméricos	44
Figura 3.3: Planejamento Experimental	44
Figura 3.4: Detalhe frontal e do tardo de das peças cerâmicas da esquerda para a direita: (a) Porcelanato Branco; (b) Porcelanato preto; (c) Tardo de do Porcelanato Branco; (d) Tardo de do Porcelanato Preto (dimensões de 40 mm x 160 mm).....	45
Figura 3.5: Detalhe lateral das peças cerâmicas: Porcelanato Branco (inferior) e Porcelanato preto (superior).	46
Figura 3.6: ACIII-E (a) MK (b) e SI (c).....	46
Figura 3.7: Esquema de sistema térmico de irradiação cíclica.	48
Figura 3.8: Ensaio de Arrancamento sendo realizado.....	50
Figura 4.1: Localização georreferenciada das edificações selecionadas na pesquisa.	53
Figura 4.2: Queda de revestimento da Fachada do Ed. Residencial 01 até a degradação total devido a expansão por umidade e gradiente térmico.....	54
Figura 4.3: A direita: Expansão por umidade e estufamento da peça cerâmica por confinamento. A esquerda: Início da queda do revestimento cerâmico.	54
Figura 4.4: Localização georreferenciada do Edifício Residencial 01.....	55

Figura 4.5: Degradação do revestimento em pastilhas do Ed. Res. 02 (edificação de Padrão Alto).....	56
Figura 4.6: Descolamento adesivo na interface cerâmica-cola devido o efeito do gradiente térmico.	56
Figura 4.7: Localização georreferenciada do Edifício Residencial 02.....	57
Figura 4.8: Queda da peça cerâmica por confinamento.	58
Figura 4.9: Localização georreferenciada do Edifício Residencial 03.....	59
Figura 4.10: Queda do revestimento cerâmico devido a movimentação estrutural.	60
Figura 4.11: Descolamento de revestimento cerâmico em função da expansão por umidade devido ao gradiente de temperatura.	60
Figura 4.12: Localização georreferenciada do Edifício Residencial 04.....	61
Figura 4.13: Vista da fachada do edifício com detalhe do dano oriundo de movimentação do prédio.	62
Figura 4.14: Localização georreferenciada do Edifício Residencial 05.....	63
Figura 4.15: Aspectos de degradação antes da conclusão do revestimento com detalhe da queda da pastilha.	64
Figura 4.16: Fachada do Edifício com Detalhe para a queda do revestimento.....	64
Figura 4.17: Detalhe da queda do revestimento (Prédio Novo).....	64
Figura 5.1: Difrátogramas dos precursores geopoliméricos utilizados na pesquisa. (a) MK e (b) SI	70
Figura 5.2: Difrátogramas dos adesivos geopoliméricos ativados com silicato de sódio: (a) GP-MK.N1, (b) GP-MK.N2, e (b) GP-SI.....	70
Figura 5.3: Tempo em Aberto da Argamassa Colante ACIII-E.....	73
Figura 5.4: Tempo em Aberto do Adesivo Geopolimérico GP-MK.....	73
Figura 5.5: Tempo em Aberto do Adesivo Geopolimérico GP-SI.....	74
Figura 5.6: Tempo em Aberto dos Três Adesivos utilizados nas placas de porcelanatos brancas.	75
Figura 5.7: Tempo em Aberto dos Três Adesivos utilizados nas placas de porcelanatos pretas.....	75
Figura 6.1: Resistência a Compressão Simples dos Adesivos Geopoliméricos curados a 22°C e 55°C.	77
Figura 6.2: Porcelanatos Branco e Preto antes (superior) após ensaio da ABNT (inferior).	79

Figura 6.3: Porcelanatos colados com adesivo geopolimérico antes (superior esquerdo) e após ensaio da ABNT (superior direito e inferior esquerdo e direito).	79
Figura 6.4: Porcelanatos colados com argamassa colante.....	80
Figura 6.5: Resistência à Aderência dos Porcelanatos em função da cor do revestimento e do regime de cura submetido.....	81
Figura 6.6: Resistência à Aderência à Tração dos Porcelanatos em função da cor do revestimento, do regime de cura e da Idade dos Sistemas colados com GP-MK.N1..	82
Figura 6.7: Resistência à Aderência à Tração dos Porcelanatos em função da cor do revestimento, do regime de cura e da Idade dos Sistemas colados com GP-MK.N2..	83
Figura 6.8: Resistência à Aderência à Tração dos Porcelanatos em função da cor do revestimento, do regime de cura e da Idade dos Sistemas colados com GP-MK.K1..	85
Figura 6.9: Resistência à Aderência ensaiado a 1 Dia dos Porcelanatos em função da cor do revestimento e do regime de cura submetido colados com GP-MK.K2.	86
Figura 6.10: Resistência à Aderência dos Porcelanatos colados com adesivo geopolimérico a base de solo intemperizado (GP-SI.N1) em função da cor do revestimento, do regime de cura submetido e da idade.....	88
Figura 7.1: Resistência a Aderência dos Porcelanatos colados com adesivo geopolimérico a base de metacaulinita e silicato de sódio (GP-MK.N1) a 1 dia em função do tipo de mistura.	91
Figura 7.2: Resistência a Aderência dos Porcelanatos colados com adesivo geopolimérico a base de metacaulinita e silicato de sódio (GP-MK.N1) a 3 dias em função do tipo de mistura.	91
Figura 7.3: Resistência a Aderência dos Porcelanatos colados com adesivo geopolimérico a base de metacaulinita e silicato de sódio (GP-MK.N1) a 7 dias em função do tipo de mistura.	92
Figura 7.4: Resistência a Aderência dos Porcelanatos colados com adesivo geopolimérico a base de metacaulinita e silicato de potássio (GP-MK.K1) a 1 dia em função do tipo de mistura.	92
Figura 7.5: Resistência a Aderência dos Porcelanatos colados com adesivo geopolimérico a base de metacaulinita e silicato de potássio (GP-MK. K1) a 3 dias em função do tipo de mistura.	93

Figura 7.6: Resistência a Aderência dos Porcelanatos colados com adesivo geopolimérico a base de metacaulinita e silicato de potássio (GP-MK. K1) a 7 dias em função do tipo de mistura.	93
Figura 8.1: Visão esquemática do <i>Ra</i>	97
Figura 8.2: Visão esquemática do <i>Rz</i>	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Propriedades Geométricas e Visuais do Porcelanato Técnico e Esmaltado (NBR 15463/97)	27
Tabela 2.2: Propriedades Físicas do Porcelanato Técnico e Esmaltado (NBR 15463/97). 28	
Tabela 2.3: Propriedades Químicas do Porcelanato Técnico e Esmaltado (NBR 15463/97)	28
Tabela 2.4: Requisitos de qualidade especificados para argamassa colante	34
Tabela 2.5: Classificação e condições de usos para argamassa colante	34
Tabela 3.1: Principais parâmetros a serem avaliados na pesquisa.	43
Tabela 3.2: Composição dos Adesivos Geopoliméricos utilizados na Pesquisa (Traço em Peso).	47
Tabela 3.3: Regimes de cura aos quais os sistemas colados foram submetidos (tempo acumulado).	48
Tabela 4.1: Distância entre as edificações e a orla marítima e entre uma edificação e sua vizinha.	53
Tabela 5.1: Resultados da caracterização física das peças cerâmicas.	67
Tabela 5.2: Resultados do Módulo de Elasticidade das peças cerâmicas.	68
Tabela 5.3: Resultados do Módulo de Elasticidade da argamassa colante.....	68
Tabela 5.4: Caracterização Química da Argamassa ACIII-E dos Precursores Geopoliméricos.....	69
Tabela 5.5: Caracterização Química dos adesivos geopoliméricos (Traço I)	69
Tabela 5.6: Fases encontradas nos precursores geopoliméricos.	71
Tabela 8.1: Parâmetros estatísticos avaliados na Resistência a Aderência.	95
Tabela 8.2: Parâmetros estatísticos avaliados na Resistência a Aderência.	96
Tabela 8.3: Parâmetros estatísticos avaliados na Resistência a Aderência.	98
Tabela 8.4: Parâmetros estatísticos avaliados na Resistência a Aderência com parâmetros de rugosidade	98

CAPITULO I

1. INTRODUÇÃO

No Brasil a aplicação da tecnologia de revestimento de fachadas com material cerâmico remonta ao século XVII, oriunda de Portugal, França e Alemanha (SILVA, 2003), sendo aprimorada ao longo do tempo. Atualmente sua utilização é bastante difundida mundialmente em virtude das produções industriais de peças cerâmicas e as colas à base de cimento Portland.

Apesar de todo avanço tecnológico, o descolamento de placas cerâmicas de revestimento em edificações é um problema que ainda persiste em diversas construções modernas, mesmo com os avanços no conhecimento de técnicas específicas para a prevenção de quedas de materiais de fachadas. Estes descolamentos acontecem principalmente em fachadas que são sujeitas a diversos fatores, mas, principalmente, a incidência de raios solares nas superfícies, aliados aos diferentes coeficientes de dilatação dos materiais constituintes dos substratos das fachadas (cerâmicas de revestimentos, pastilhas, granitos, porcelanatos, rejuntas, argamassas, materiais constituintes da base, como concreto, chapisco, emboço, etc.), que contribuem para deformações diferenciais, gerando tensões superiores àquelas resistidas pelos sistemas substrato-adesivo-placa cerâmica.

Embora existam diversos parâmetros que são considerados importantes para a integridade estrutural de fachadas revestidas com materiais cerâmicos, existem diversos aspectos que ainda são merecedores de estudos sistemáticos aprofundados, tais como: ciclagem térmica, efeito da cor da placa cerâmica, tipo de adesivo aplicado, entre outros.

De acordo com manuais técnicos e normas, existem diversos procedimentos técnicos que são recomendados com a finalidade de minimizar danos estruturais, como, por exemplo, o uso de juntas de movimentação, dupla-colagem (colagem na peça cerâmica e no substrato) e, muitas vezes, o uso de aditivos poliméricos, visando o aumento da elasticidade do conjunto. Embora também mereça especial atenção, a influência do meio ambiente sobre o fenômeno de descolamento ainda não foi estudada sistematicamente. Dentre alguns fatores a esclarecer, destacam-se:

1. Movimentos induzidos pela temperatura;
2. Movimento de retração e de expansão devido à umidade higroscópica;
3. Efeito da geometria e da rigidez do sistema cerâmica-cola-substrato;
4. Efeito da cor na absorção de energia via irradiação;
5. Efeito do calor na hidratação das colas e substratos à base de materiais cimentícios;
6. Efeito do tipo de adesivo utilizado na colagem das placas cerâmicas.

Medeiros (2002) destaca que os movimentos dos edifícios têm diversas origens e se modificam constantemente e não necessariamente de forma simultânea em virtude da variação das características do material empregado na construção e suas condições de aplicação. Desta forma, os esforços resultantes dos movimentos tornam-se muito complexos para serem determinados com exatidão.

A proximidade das edificações a ambientes marinhos e zonas industriais é outro aspecto que pode influir na integridade dos revestimentos cerâmicos de fachadas, vistos que nestes ambientes a presença de sais marinhos afeta a hidratação e a durabilidade de adesivos à base de cimento Portland, além do desenvolvimento de fungos, cujo ataque aos cimentos são claramente reconhecidos e podem afetar a integridade do revestimento cerâmico exposto (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A ciclagem térmica é outro parâmetro que pode influenciar nos descolamentos. Por exemplo, uma fachada revestida com placas cerâmicas de cor escura na qual a temperatura superficial pode chegar a 70°C durante o período de insolação máxima, sob a ação da insolação direta em um dia típico de verão tropical no Brasil (MEDEIROS, 2002) e logo

após a mesma ser sujeita a chuva forte e repentina (resfriamento brusco), pode acarretar uma contração brusca e extremamente significativa, uma vez que as camadas do sistema (argamassa adesiva, o emboço, a alvenaria e a estrutura de concreto) não se contraem igualmente, sendo que algumas dessas camadas podem até mesmo se expandir quando ganham umidade.

No Brasil a referência para a caracterização da aderência das placas cerâmicas coladas em fachada é a norma NBR 14084. Contudo, esta aparenta ser bastante simplista uma vez que fatores como: tipo de substrato, dureza dos substratos, cor, temperatura e idade de exposição, não são vistos como determinantes para a caracterização da interface colada. Além disso, parâmetros como, por exemplo, o gradiente de temperatura e possíveis variações na espessura do material colante não são contemplados pela referida norma nem por outras normas internacionais de caracterização de colagem deste tipo de ligação.

Estudos realizados por Gomes et al (2007 e 2008) têm mostrado que materiais aluminossilicosos ativados alcalinamente apresentam grande estabilidade estrutural mesmo em temperaturas em torno de 400°C. Estes materiais cimentícios, denominados de geopolímeros, são comumente sintetizados às temperaturas amenas, típicas daquelas encontradas em fachadas de edificações sujeitas a variações térmicas intensas.

Embora os geopolímeros tenham sido desenvolvidos como materiais aderentes de alto desempenho térmico, os estudos de aderência são, na sua maioria, voltados para o uso deste material como revestimentos. A abordagem do uso de geopolímeros como adesivos termomecânicos eficientes é um campo de estudo ainda em estágio inicial de exploração (LATELA, 2006; GOMES et al, 2007), com escassa literatura científica.

Uma revisão crítica da literatura revela que poucos trabalhos sistemáticos abordam o papel dos parâmetros de colagem (cor, temperatura, tipo de adesivo, etc.) na adesão de elementos cerâmicos, principalmente quando há variações térmicas cíclicas. Neste sentido, esta pesquisa busca contribuir para fornecer subsídios teórico-experimentais para o entendimento do comportamento mecânico dos revestimentos de fachadas, através de estudos experimentais de placas cerâmicas aderidas com argamassas colantes comerciais e

com adesivos geopoliméricos, submetidas a variações térmicas cíclicas, típica da exposição em condições normais das edificações.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Este trabalho se propõe a investigar o efeito da ciclagem térmica na aderência e no comportamento mecânico de sistemas constituídos de revestimento cerâmico-adesivo-substrato, contribuindo para o entendimento de condições de utilização de peças em estruturas reais sujeitas a variações térmicas cíclicas e o potencial de aplicação de novos adesivos termicamente eficientes (adesivos geopoliméricos).

1.2.2 Específicos

- (i) Detectar as características típicas de danos no mecanismo de adesão em fachadas do perímetro urbano da cidade de João Pessoa visando-se estabelecer os principais tipos de falha da adesão e as magnitudes de variação térmica;
- (ii) Avaliar os tipos de descolamento das placas cerâmicas aderidas com argamassa colante comercial e com adesivos geopoliméricos quando submetidos ao ensaio de resistência a aderência a tração (arranchamento), de acordo com a norma NBR14084, em diferentes regimes térmicos;
- (iii) Acessar o desempenho mecânico das placas cerâmicas coladas com argamassa ACIII-E e com adesivos geopoliméricos;
- (iv) Investigar novos materiais adesivos (adesivos geopoliméricos) para substituição de argamassas colantes tradicionais;
- (v) Avaliar o efeito do tipo de mistura (manual ou mecânica) na resistência a aderência das placas cerâmicas coladas com adesivos geopoliméricos;
- (vi) Acessar o efeito isolado e combinado dos regimes térmicos, cor e tipo de adesivo utilizado na aderência de placas cerâmicas em substratos.

1.3 ESTRUTURA DA TESE

O presente trabalho está dividido em 09 (nove) capítulos, seguidos de recomendações de trabalhos futuros e das referências bibliográficas.

Inicialmente, no Capítulo I introduz-se o tema acerca da problemática do descolamento de peças cerâmicas das fachadas das edificações, principalmente daquelas com orientação oeste, bem como a influência de alguns parâmetros neste fenômeno.

O Capítulo II trata de uma revisão crítica da literatura acerca do tema, abordando a utilização de peças cerâmicas e seus problemas, o avanço tecnológico da produção das cerâmicas e suas consequências, a utilização de porcelanatos, uma revisão nos estudos de colagem de placas cerâmicas e os ensaios realizados para caracterização da aderência destes materiais às fachadas das edificações, bem como o potencial de utilização de adesivos geopoliméricos para colagem estrutural.

No Capítulo III é abordada a parte experimental desenvolvida na pesquisa, desde os materiais e métodos utilizados para a caracterização das matérias primas e dos materiais produzidos, bem como da avaliação das propriedades mecânicas dos sistemas colados.

No Capítulo IV é apresentado um levantamento georreferenciado de algumas edificações da cidade, próximas a orla marítima, sendo avaliados os tipos de danos encontrados nos edifícios que apresentavam padrões de construção diferenciados, com ênfase para as fachadas oeste.

No Capítulo V são apresentados os resultados da caracterização das matérias prima e dos materiais sintetizados na pesquisa, bem como as dos sistemas colados.

No Capítulo VI são apresentados os resultados quantitativos e qualitativos, onde são acessadas sua Resistência a Compressão Simples e a Resistência à Aderência. Os efeitos dos parâmetros (cor, tipo de cola, tipo de regime e tipo de ativador alcalino) na colagem dos vários materiais são discutidos, com ênfase na influência das propriedades mecânicas.

No Capítulo VII é apresentado à influência da mistura dos adesivos geopoliméricos utilizados na colagem das peças cerâmicas.

No Capítulo VIII é apresentada uma análise estatística multivariável com o objetivo de avaliar quais os parâmetros mais importantes no mecanismo de adesão das placas cerâmicas a substratos cimentícios.

Por fim, no Capítulo IX são apresentadas as conclusões finais, seguidas das recomendações para futuros trabalhos e das referências bibliográficas.

CAPÍTULO II

2. REVISÃO CRÍTICA DA LITERATURA

2.1 MATERIAIS CERÂMICOS

A matéria prima da cerâmica possui características plásticas que lhe permite moldagem em diversos formatos como também excelentes características mecânicas que lhe confere grande popularidade desde períodos remotos, sendo freqüentemente encontrado em escavações arqueológicas há cerca de 6.000 anos a.C.

Os chineses foram os primeiros a usar objetos cerâmicos de design, pintados e esmaltados, desde a metade do terceiro milênio antes de Cristo e, a partir do segundo século, passaram a utilizar o caulim, pó branco finíssimo, que permitiu fabricar vasos translúcidos e leves. No Brasil, a tecnologia de produção de cerâmicas mais elaboradas tem seus primórdios na Ilha de Marajó, através da cultura indígena que floresceu nesta ilha. Estudos arqueológicos, contudo, indicam a presença de uma cerâmica mais simples, que ocorreu, ainda, na região amazônica por volta de 5.000 anos atrás.

A indústria cerâmica adotou a produção em massa, nos últimos anos, garantida pela indústria de equipamentos e a introdução de técnicas de gestão, incluindo o controle de matérias primas, dos processos e dos produtos fabricados. Atualmente a indústria cerâmica pode ser subdivida nos seguintes setores: *Cerâmicas vermelhas* (porosas e vidradas), *Cerâmicas brancas* (porcelanas, grês e louças), *Refratários e Isolantes térmicos* (sílica, silicoaluminoso, aluminoso, mulita, cromítico-magnesiano, carbetos de silício, grafita, carbono, zircônio, zirconita, grupo espinélio, isolantes térmicos refratário e não refratários,

fibras ou lãs cerâmicas) e *Cerâmicas Avançada ou de Alta Tecnologia* com aplicação aeroespacial, eletrônica, nuclear e muitas outras.

2.1.1 Tipos de Revestimentos Cerâmicos

O revestimento cerâmico é um material muito antigo que era utilizado apenas pela nobreza. Atualmente existem revestimentos cerâmicos para todos os tipos de ambientes: áreas comerciais, industriais, residenciais, fachadas, piscinas etc. Suas características de impermeabilidade, estabilidade de cores, facilidade de limpeza, resistência à abrasão e a manchas somadas à sua beleza estética fazem do revestimento cerâmico um produto de excelente qualidade. Dentre os tipos de revestimentos cerâmicos, pode-se destacar: cerâmica e porcelanato, dentre outros. Nesta pesquisa irá receber destaque o porcelanato, devido a sua baixa porosidade e, por conseguinte, pequena absorção de água apresentando assim pouca aderência mecânica, visto que o adesivo não apresenta boa ancoragem.

a) Cerâmica

As cerâmicas destinadas para revestimento apresentam sua aplicação controlada por normas técnicas e procedimentos tradicionalmente aceitos na engenharia civil (NBR 13753, 13754 e 13755 de 1996, NBR 13816 e 13818 de 1997), sendo as comumente mais utilizadas as cerâmicas esmaltadas com diversas dimensões. Contudo, atualmente com o desenvolvimento tecnológico surgiram vários outros tipos de acabamentos nas cerâmicas.

b) Porcelanato

O porcelanato é um produto cerâmico obtido através da queima de matérias primas constituídas por argilas, feldspatos, quartzo e caulim com temperatura superior a 1.200°C. Geralmente sua cor é branca, em virtude da matéria prima selecionada, mas pela adição de alguns corantes pode alcançar diversas variações. O porcelanato é um material compacto, homogêneo, denso e totalmente vitrificado.

Os porcelanatos apresentam como principais vantagens: altíssima resistência à abrasão, resistência ao gelo, resistência química a ácidos e álcalis (com exceção do ácido

fluorídrico e seus derivados somente os produtos na versão industrial são considerados antiácidos), alta durabilidade quando comparado às pedras naturais e outros tipos de cerâmica, cores uniformes e impermeabilidade, sendo especialmente indicado para ambientes de alto tráfego como escolas, hospitais, shopping centers, aeroportos, indústrias e supermercados. Devido a sua total estabilidade de cores e praticamente ausência de expansão por umidade, o porcelanato é um revestimento adequado para uso também em fachadas.

Uma norma exclusiva brasileira (NBR 15463) foi criada para as especificações do porcelanato em fevereiro de 2007, entrando em vigor em março do mesmo ano. Esta norma define objetivos; referências normativas; definições; requisitos; propriedades geométricas, visuais, físicas e químicas para as placas; inspeção; aceitação; marcação; bem como declarações e identificações em catálogos.

Alguns parâmetros para os porcelanatos podem ser observados nas Tabelas 2.1 a 2.3.

Tabela 2.1: Propriedades Geométricas e Visuais do Porcelanato Técnico e Esmaltado (NBR 15463/97)

Propriedades Geométricas e Visuais	Unid.	Área do Produto (AP) em cm ²									
		AP ≤ 50		50 < AP ≤ 2.500				AP > 2.500			
		Técnico	Esmaltado	Técnico		Esmaltado		Técnico		Esmaltado	
				Retificado	Não Retificado	Retificado	Não Retificado	Retificado	Não Retificado	Retificado	Não Retificado
				Polido/Natural	Natural			Polido/Natural	Natural		
Desvio de r ¹⁾ em relação a W	%	Não se aplica	±0,6	±0,6	±0,6	±0,6	±0,6	±0,6	±0,6	±0,6	
Desvio de r ¹⁾ em relação a R ²⁾	%	±0,75	±0,1	±0,2	±0,1	±0,2	±0,1	±0,2	±0,1	±0,2	
Espessura ³⁾ : Desvio de e em relação a e _w	%	Não se aplica	±5,0	±5,0	±5,0	±5,0	±5,0	±5,0	±5,0	±5,0	
Retitude dos lados ⁴⁾	%	Não se aplica	±0,1	±0,2	±0,1	±0,2	±0,1	±0,2	±0,1	±0,2	
Ortogonalidade ⁴⁾	%	±1,0	±0,2	±0,4	±0,2	±0,4	±0,2	±0,4	±0,2	±0,4	
Curvatura Central	%	Não se aplica	-0,15/+0,2	-0,2/+0,3	-0,2/+0,3	-0,2/+0,3	-0,08/+0,1	-0,08/+0,1	±0,12	±0,12	
Curvatura Lateral	%	Não se aplica	-0,15/+0,2	-0,2/+0,3	-0,2/+0,3	-0,2/+0,3	-0,08/+0,1	-0,08/+0,1	±0,12	±0,12	
Empeno	%	Não se aplica	±0,2	-0,2/+0,3	-0,2/+0,3	-0,2/+0,3	-0,08/+0,1	-0,08/+0,1	±0,12	±0,12	
Aspecto Superficial ⁵⁾	%	≥ 95%									

1) Média dos dois lados (formatos retangulares) ou quatro lados (formatos quadrados).

2) Média de 20 lados (formatos retangulares) ou 40 lados (formatos quadrados).

3) O fabricante deve declarar a espessura de fabricação e_w .

4) Não aplicável a peças que tenham curvas.

5) Pintas coloridas para fins decorativos não são consideradas como defeito. A diferença de tonalidade é avaliada segundo o anexo **R** da ABNT NBR 13818:1997 e acordada entre as partes. Devido às queimas pequenas variações com relação à cor padrão são inevitáveis. Existem variações de cor que são intencionais, dentro de uma peça ou de uma peça para a outra. São características de produto e desejáveis.

NOTA: Para placas cerâmicas para revestimento com área menor ou igual a 50 cm², realizar ensaios apenas de desvio de **r** em relação a **R** e ortogonalidade. Os demais requisitos não são aplicáveis a este tipo de placas cerâmicas para revestimento.

Tabela 2.2: Propriedades Físicas do Porcelanato Técnico e Esmaltado (NBR 15463/97)

Propriedades Físicas		Unidades	Área do Produto ≤ 50 cm ²		Área do Produto > 50 cm ²	
			Técnico	Esmaltado	Técnico	Esmaltado
Absorção de água	Média	%	≤ 0,1	≤ 0,5	≤ 0,1	≤ 0,5
	Individual (máx)	%	0,2	0,6	0,2	0,6
Módulo de Resistência à Flexão ¹⁾	Média	MPa	≥ 45		≥ 45	≥ 37
	Individual (mín)	MPa	42		42	35
Carga a ruptura	e < 7,5mm	N	≥ 1000		≥ 900	≥ 900
	e ≥ 7,5mm	N	Não se aplica		≥ 1800	≥ 1500
Resistência à abrasão profunda (não esmaltados)		mm ³	≤ 140	Não se aplica	≤ 140	Não se aplica
Dilatação térmica linear ¹⁾			Por acordo		Por acordo	
Resistência ao choque térmico ¹⁾			Por acordo		Por acordo	
Resistência ao gretamento ²⁾			Não se aplica	Não gretar	Não se aplica	Não gretar
Coeficiente de atrito			A declarar		A declarar	
Resistência a abrasão superficial ^{1,2)}			Não se aplica	Por acordo	Não se aplica	Por acordo
Resistência ao congelamento ¹⁾			Não se aplica		Por acordo	
Resistência ao impacto ¹⁾			Por acordo		Por acordo	

NOTAS:

- 1) Os valores em função de aplicações específicas podem ser verificados pelos métodos de ensaios disponíveis e os limites acordados entre as partes.
- 2) Certos efeitos decorativos podem apresentar efeito craquelê proposital; nestes casos devem ser identificados como gretamento pelo fabricante e o ensaio não será aplicado.
- 3) A classe de abrasão, conforme anexo **D** da ABNT NBR 13818:1997, deve ser acordada entre as partes.

Tabela 2.3: Propriedades Químicas do Porcelanato Técnico e Esmaltado (NBR 15463/97)

Propriedades Químicas	Técnico ou Esmaltado
Resistência ao manchamento	≥ Classe 3
Cádmio e chumbo solúveis ¹⁾	Por acordo
Resistência aos agentes químicos	Técnico ou Esmaltado
Usos domésticos e para tratamento em piscina	A declarar
Ácidos e álcalis de baixa concentração	A declarar
Ácidos e álcalis de alta concentração	Por acordo

NOTA: Os valores em função de aplicações específicas podem ser verificados pelos métodos de ensaios disponíveis e os limites acordados entre as partes.

2.2 DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA DE REVESTIMENTO DE FACHADAS

Em fachadas os primeiros materiais cerâmicos a serem utilizados foram os azulejos (WANDERLEY; SICHIERI, 2005). A impermeabilidade adquirida pela aplicação do esmalte na superfície; a resistência ao ataque dos ácidos, álcalis, umidade e vapores, nas condições normais de utilização; a facilidade de limpeza; a possibilidade de ser obtido em várias cores e diferentes desenhos; o menor peso nas estruturas, como, também, a baixa expansão térmica são algumas características e vantagens para sua aplicação em fachadas de edifícios durante o século XIX.

O progressivo desenvolvimento industrial possibilitou que os revestimentos cerâmicos para utilização em paredes e pisos deixassem de ser privilégio dos recintos religiosos e dos palácios, tornando-se acessíveis a todas as classes sociais.

No Brasil, na década de 1980, o azulejo se tornou economicamente inviável para grandes fachadas devido a sua produção oriunda de duas ou mais queimas, bem como por apresentarem absorção de água entre 10 % e 20 %, o que poderia comprometer sua adesão (WANDERLEY, SICHIERI, 2005), acarretando na sua substituição por outros tipos de revestimentos cerâmicos, tais como: cerâmicas, pastilhas, etc.

Atualmente a aplicação de revestimentos cerâmicos em fachadas de edifícios de múltiplos pavimentos no Brasil é bastante difundida em todas as regiões. Estima-se que o Brasil ocupe o segundo lugar na fabricação de peças cerâmicas do mundo, com 844,3 milhões de m². Deste total, 162 milhões são usados em paredes e 24 milhões em fachadas, enquanto que 72 milhões são constituídos de material porcelanato (ANFACER, 2012). A exportação no ano de 2011 foi de cerca de 60,1 milhões de m², ficando o restante para consumo interno brasileiro. Esses dados podem ser observados nas Figuras 2.1 a 2.4.

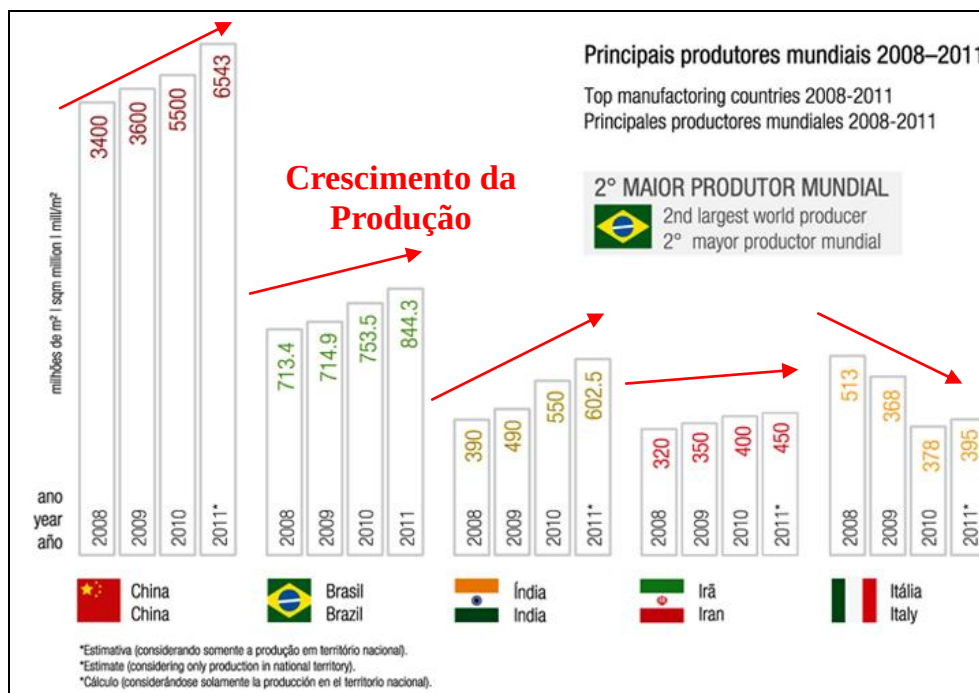


Figura 2.1: Produção Mundial de Revestimento Cerâmico. Fonte: ANFACER (2012).

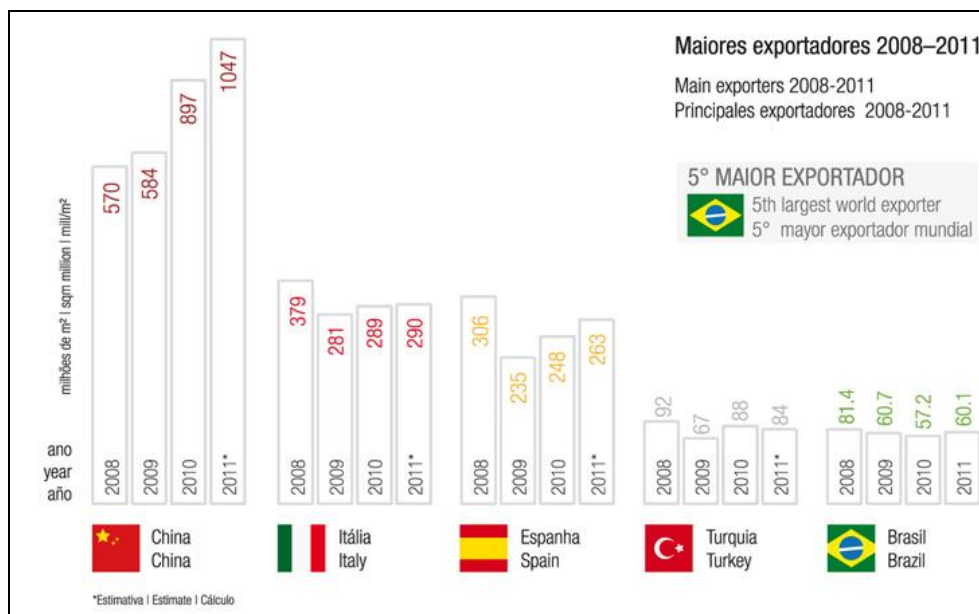


Figura 2.2: Exportação Mundial de Revestimento Cerâmico. Fonte: ANFACER (2012).



Figura 2.3: Consumo Mundial de Revestimento Cerâmico. Fonte: ANFACER (2012).

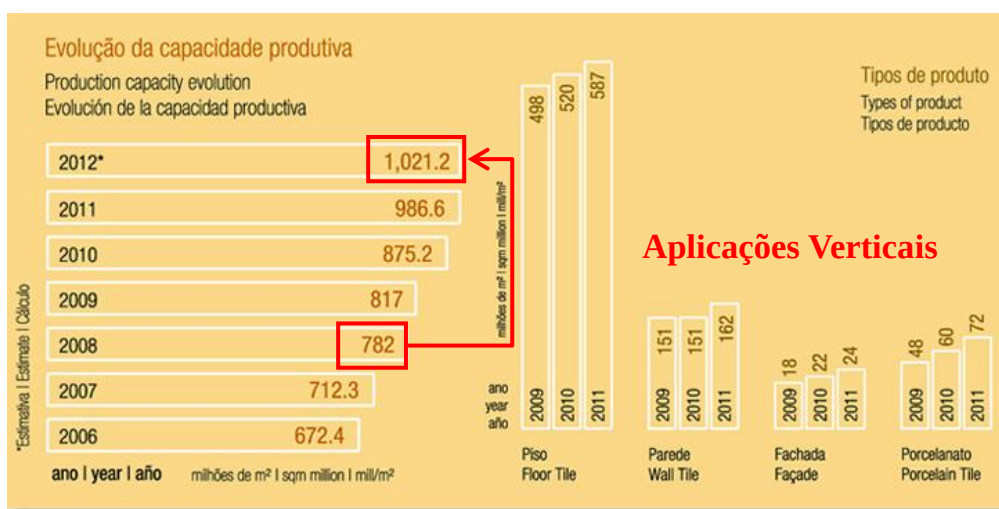


Figura 2.4: Produção Nacional Brasileira de Revestimento Cerâmico. Fonte: ANFACER (2012).

Apesar do aumento da produção e da grande aplicação dos revestimentos cerâmicos em fachadas, o descolamento das peças ainda é um problema existente, principalmente quando a incidência solar é bastante intensa como é o caso de fachadas poentes, como pode ser observado nas figuras 2.5 e 2.6.



Figura 2.5: Fachada oeste de Prédio no bairro do Bessa com grande quantidade de descolamento das placas cerâmicas.



Figura 2.6: Fachada de Prédio no Miramar e detalhe do descolamento de cerâmicas na fachada oeste.

A NBR 1355 limita a área das peças cerâmicas com a utilização de argamassa colante a 400 cm^2 , equivalente a uma placa quadrada de 200 mm de lado e espessura total de 15 mm. Quanto às outras características das placas cerâmicas, esta norma não estabelece limites específicos para a absorção de água total das placas cerâmicas destinadas às fachadas, o que era especificado na antiga norma NBR 5644, hoje já sem efeito, que

estabelecia um limite de absorção de até 6%. A cor das peças cerâmicas também não é levada em consideração, o que obviamente pode induzir a tensões diferenciais importantes.

A Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica (ANFACER, 2012) recomenda que as cerâmicas a serem utilizadas nas fachadas apresentem as seguintes características:

1. Ter baixa absorção de água (recomenda-se entre 3% a 6%)
2. Apresentar baixa expansão por umidade (inferior a 6 mm/m)
3. Ter resistência à radiação dos raios ultravioletas do sol;
4. Apresentar facilidade de limpeza;
5. Ter garras no tardo das peças;
6. Utilizar argamassas colantes flexíveis em peças cerâmicas com até 20 cm de lado;
7. Utilizar: argamassas especiais ou ancoragem mecânica em peças cerâmicas maiores que 20 cm de lado;
8. Utilizar mão-de-obra especializada em fachadas.

Contudo, em virtude da grande variedade de peças cerâmicas (cerâmica, porcelanatos, pastilhas, etc.) nem sempre essas recomendações são adotadas. Outro fator importante, é que apenas recentemente foi criada uma norma específica (NBR 15463/2007) para aplicação de porcelanatos em revestimentos.

2.3 ADERÊNCIA DE PEÇAS CERÂMICAS EM SUBSTRATOS CIMENTÍCIOS

Existe um grande número de normas nacionais e internacionais que abordam aspectos dos materiais de revestimento, tais como: a argamassa colante e peças de revestimento. Contudo, os parâmetros estão mais voltados para características individuais dos materiais em separado em detrimento das características das suas interfaces.

No tocante a argamassa colante, a Tabela 2.4 lista as principais normas nacionais e internacionais, que regulamentam o seu uso, em diversas aplicações na construção civil. No tocante aos limites recomendados para revestimentos cerâmicos, as normas brasileiras recomendam um número menor de fatores do que as normas internacionais.

Tabela 2.4: Requisitos de qualidade especificados para argamassa colante

PARÂMETROS DE ENSAIO	NORMA
<i>Estado Anidro</i>	
Densidade de massa aparente	NBR 14086
Resíduo em Peneira	DIN 18156
Perda de massa a 110°C	DIN 18156.1
Perda de massa a 450°C	DIN 18156
<i>Estado Fresco</i>	
Tempo de formação de película	DIN 18156
Tempo de correção	DIN 18156
Deslizamento na posição vertical	NBR 14085
Plasticidade (molhamento e consistência)	DIN 18156-2
Consistência na mesa de impacto	IRAM 1755
Tempo de pega	ASTM C 266
Tempo útil	NBR 14084
Tempo em aberto	NBR 14083
Retenção de água	ASTM C 91
<i>Estado Endurecido</i>	
Resistência de aderência ao cisalhamento	NBR 14081
Deformação transversal por flexão	EM 12002
Resistência à deformação excessiva	BS 5980
Retração	A118.4-85
Resistência à compressão	A118.4-99
Resistência ao impacto	UEATc
Resistência ao crescimento de fungos	BS 5980

Pode-se notar que as normas internacionais e as normas brasileiras (NBR) não se referenciam a parâmetros que são de suma importância para a adesão, como: a influência dos ciclos de temperatura transmitida pelo revestimento cerâmico à cola no decorrer do tempo; o efeito da cor do revestimento; o efeito destes parâmetros combinados; o tipo de adesivo utilizado, etc.

Quanto à classificação de argamassas colantes industrializadas, as condições de uso são determinadas pela resistência de aderência (arrancamento) e o tempo em aberto (NBR 14081), conforme Tabela 2.5 abaixo.

Tabela 2.5: Classificação e condições de usos para argamassa colante

Classificação	Propriedade/ Local de aplicação
ACI - Interior	Uso interno- c/ exceção de saunas etc.
ACI-E - Interior	Tempo em aberto estendido
ACII - Exterior	Uso externo
ACII-E - Exterior	Tempo em aberto estendido
ACIII- Alta resistência	Aderência a tração superior- sauna, piscina
ACIII-E - Especial	Tempo em aberto estendido

Contudo, a definição da norma sobre aderência aparenta ser bastante simplista. Segundo Carazek (1996) o termo aderência é usado para descrever a resistência e a extensão de contato entre argamassa e uma base porosa ou substrato (alvenaria de tijolos cerâmicos, blocos de concreto, blocos sílico-calcário ou estrutura de concreto), sendo um fenômeno mecânico associado à penetração da argamassa nos poros ou na rugosidade do substrato, enquanto para Galegos (1995) a aderência provém da penetração de cristais de etringita nos poros das unidades e depende da interação hídrica entre argamassa e substrato.

Como podem ser observados pelas normas, os principais parâmetros analisados são concernentes às propriedades dos materiais em separado (ver tabela 2.4). A combinação de parâmetros como a temperatura típica em condições reais de exposição das peças, a variação de espessura típica do processo construtivo, a cor e, conseqüentemente, sua capacidade térmica, sua influência como gradiente de temperatura transmitido para as camadas internas, bem como o tipo de cola que é especificada para cada tipo de revestimento, são raramente ou quase nunca mencionadas como fatores importantes para a durabilidade do revestimento de fachada.

Sabe-se que as fachadas são solicitadas a diversos regimes de tensões, cujas características são mais aproximadas de um regime misto, contendo solicitações de tração e cisalhamento simultaneamente. As tensões de tração estão mais associadas aos regimes de expansão térmica ou aumento de volume da água percolada entre o tardo da peça e seu material adesivo, que forçam o arrancamento direto das peças na direção normal à fachada, mais ainda se esta é submetida à ação cíclica. O peso próprio das peças gera, continuamente, tensões de cisalhamento nos elementos de fachada. Contudo, a aderência das cerâmicas é avaliada de acordo com a norma brasileira NBR 14084, em que a cerâmica é aderida a um substrato de concreto com especificações próprias e sujeitas ao arrancamento direto após vinte e oito dias em cura imersa em água.

Desta forma, surgem vários questionamentos, tais como: até que ponto os testes isolados de arrancamento direto são mais representativos da integridade estrutural destes elementos aderidos de fachada do que testes de flexão em modo misto, onde a peça é solicitada a ambas as tensões.

Alguns trabalhos destacam que os fatores abordados no estudo do mecanismo de aderência tratam apenas da dependência dos materiais constituintes das argamassas (BOLORINO e CINCOTTO, 1997; CARAZEK, 1996; GALLEGOS, 1995; PEREIRA et al, 1999), das características e do preparo dos substratos (CARAZEK, CASCUDO e SCARTEZINI, 2001; FRANCO e COLLANTES, 1998; CANDIA e FRANCO, 2000) e das condições de exposição do revestimento da argamassa (CARAZEK, CASCUDO e SCARTEZINI, 2001).

Não obstante as especificações de normas, o problema de queda de material cerâmico de fachadas ainda persiste em todas as regiões do Brasil e em alguns países do mundo. Em João Pessoa, por exemplo, diversos problemas de aderência de materiais cerâmicos em fachadas foram identificados por Rêgo (2008), onde se constatou que a maioria dos casos ocorreu em fachadas com maior incidência de radiação solar. Rêgo (2008) também avaliou que gradientes de temperatura podem chegar a 30°C entre cerâmicas de cores claras e escuras na mesma fachada sujeita a incidência solar.

Por esta razão, é importante levar em consideração o efeito de parâmetros ainda não contemplados que atuam fortemente na resistência à aderência, tais quais: a irradiação solar combinada com a cor do revestimento e o tipo do adesivo. Estudos realizados por Rêgo (2008) têm avaliado placas cerâmicas e porcelanatos colados com diversos tipos de adesivos cimentícios. Têm sido constatados que os efeitos de tais parâmetros ainda não preconizados em normas são bastante significativos no tocante à resistência de aderência (RÊGO et al. 2007, RÊGO 2008). Há indícios de que a resistência de aderência cai significativamente com o aumento da temperatura para as placas cerâmicas aderidas com argamassa colante a base de Cimento Portland.

No tocante à espessura de colagem, Rêgo (2008) identificou que deve haver uma espessura ótima para cada sistema, principalmente quando se leva em consideração efeitos da irradiação sobre a cor das peças cerâmicas, associados aos efeitos do calor na hidratação das colas à base de materiais cimentícios.

2.3.1 Tipos de Danos no Mecanismo de Adesão

Apesar dos diversos materiais usados em fachadas (cerâmica, pastilhas, granitos, porcelanatos, etc.), em sua vasta maioria, evidenciam-se, pelo menos, três tipos de danos, em todos os materiais, como se pode notar nas Figuras 2.7 e 2.8.



Figura 2.7: Vários tipos de descolamentos de revestimentos cerâmicos em edifícios localizados na cidade de João Pessoa, Paraíba - Brasil

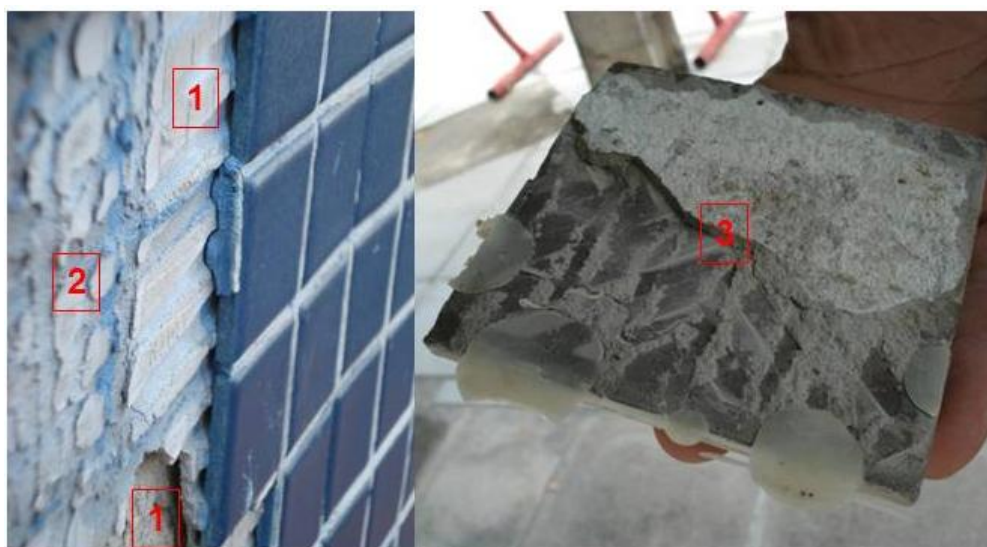


Figura 2.8: Tipos de Danos em Revestimentos: 1) Ruptura Adesiva, 2) Ruptura Coesiva e 3) Ruptura Mista.

O descolamento adesivo ou ruptura adesiva é aquela que ocorre na interface do revestimento com o adesivo, ou seja, em que o revestimento descolou e o adesivo permaneceu aderido ao substrato. Em observação in loco (edifícios localizados em João

Pessoa) este tipo de descolamento é, predominantemente, evidenciado nas fachadas em que a incidência da radiação solar é mais intenso, associado à cor escura em que o gradiente de temperatura é mais elevado.

O descolamento coesivo ou ruptura coesiva é aquela que ocorre descolamento do substrato, observado com mais frequência quando o substrato apresenta uma espessura mais elevada, em que aparentemente foi executada em uma única camada. Isto acarreta a fragilidade do substrato e conseqüente descolamento da base e do revestimento.

O descolamento misto ou ruptura mista é aquela que ocorre tanto o descolamento adesivo quanto o coesivo, como pode ser observado na figura 2.8 (Item 3), onde evidencia-se o descolamento do adesivo da placa cerâmica e arrancamento do substrato.

Desta forma, se faz necessário o desenvolvimento de novos adesivos que além de serem resistentes aos esforços mecânicos solicitados na colagem estrutural, satisfaça ainda parâmetros relevantes da colagem tais como: gradientes de temperatura, interação entre as peças cerâmicas e as argamassas colantes que vão desde a cor ao tipo, espessura, etc.

2.4 GEOPOLÍMEROS

Os geopolímeros têm ocupado um espaço significativo na literatura científica mundial graças a sua boa estabilidade térmica, alta resistência inicial, resistência ao ataque de agentes agressivos, etc. Uma das forças motrizes deste interesse tem sido, dentre outras, a possibilidade de se usar esses materiais para produzir materiais cimentantes e compósitos de alto desempenho termomecânico, cuja tecnologia satisfaça não somente desafios das demandas modernas dos setores produtivos quanto tenham um papel eficiente no tocante aos importantes aspectos ambientais.

O termo “Geopolímero” foi utilizado pela primeira vez por Joseph Davidovits no final da década de 1970 para designar um material amorfo de aluminossilicato obtido através de dissoluções e misturas em ambientes altamente alcalinos (DAVIDOVITS, 1979; DAVIDOVITS, 1987; DAVIDOVITS, 1991). Contudo, os estudos sobre materiais ativados alcalinamente foram originados na década de 1940.

Os geopolímeros foram pensados como um material alternativo para a substituição do Cimento Portland (CP) em tecnologias tradicionais de construção, sendo que o geopolímeros apresenta a formação de uma fase gel de aluminosilicato (DAVIDOVITS, 1979; DAVIDOVITS, 1991).

Os estudos em geopolímeros estão baseados preferencialmente em alguns precursores tradicionais, tais como a metacaulinita, as cinzas volantes e a escoria de alto forno. Contudo, existem estudos com materiais oriundos a base de resíduos agroindustriais, tais como: resíduos da indústria do beneficiamento do caulim e da cerâmica vermelha, solos residuais intemperizados, etc. (GOMES, 2008).

No processo de ativação alcalina ocorrem reações exotérmicas de dissolução, em que íons de silício e de alumínio passam para uma solução. Os produtos gerados começam a se acumular por um período de indução em que o calor liberado é mínimo e logo após há uma condensação com o aparecimento de um material cimentante com uma estrutura mal ordenada e com alta resistência mecânica (PALOMO et al, 1999a). Assim, a obtenção dos materiais ativados alcalinamente dependerá da matéria prima utilizada, da mineralogia, da morfologia, da granulometria, da composição química e do teor de sílica reativa das matérias, do ativador e de sua concentração, assim como do processo de cura adotado às amostras.

Embora os geopolímeros tenham sido desenvolvidos como materiais aderentes de alto desempenho térmico, os estudos de aderência são, na sua maioria, voltados para o uso deste material como revestimentos. A abordagem de uso de geopolímeros com adesivos termomecânicos eficientes é um campo de estudo ainda em estágio inicial de exploração (LATELA, 2006; GOMES et al, 2007).

Latela (2006) em seus estudos observou a eficiência mecânica de adesivos geopoliméricos oriundos de metacaulinita em sistemas de placas metálicas e vidro. Neste trabalho, foi avaliado o efeito da finura do material precursor na aderência dos sistemas metálicos, adesivo geopolimérico e vidro.

Gomes et al (2007) avaliou a eficiência de adesivos geopoliméricos em sistemas de placas metálicas coladas e obteve resultados de melhor desempenho deste adesivos quando

comparados a resina a base de epóxi, principalmente em temperaturas mais elevadas. Contudo, pouca ou nenhuma literatura a cerca de adesivos geopoliméricos para sistemas substrato de concreto e peças cerâmicas são encontrados.

2.5 SUMÁRIO DA LITERATURA E MOTIVAÇÃO PARA A TESE

Uma revisão da literatura sobre a utilização de revestimento cerâmico em fachadas revela que a prática deste tipo de aplicação está bem consolidada e difundida na construção de edifícios, embasada pela existência de diversas normas técnicas e manuais de utilização de argamassas colantes com alto grau de desenvolvimento tecnológico, embora parâmetros importantes como gradiente de temperatura, existência de fissuras na colagem, espessura do adesivo, tipo e cor da peça cerâmica, tipo de adesivo, não sejam considerados.

Constata-se que ainda há aspectos importantes que carecem de trabalhos científicos sistemáticos, especialmente no que se refere ao papel da ciclagem térmica a qual as fachadas revestidas estão submetidas, principalmente quando se considera as propriedades térmicas e físicas distintas dos materiais em particular. Porém, uma revisão crítica revela a existência de diversos casos reais em que houve descolamentos de peças causando danos materiais e risco a integridade física de fachadas de edificações. Em muitos casos, foi observado danos em obras públicas com especificações claras e acompanhamento técnico qualificado.

Quanto à utilização de adesivos geopoliméricos, observa-se que apesar de suas elevadas propriedades mecânicas ainda existe pouca literatura acerca de sua utilização em substrato de concreto e peças cerâmicas. Os poucos estudos estão embasados na sua utilização de colagens de substratos metálicos (LATELA, 2006; GOMES et al, 2007).

A tese de doutorado em questão contribuirá tanto no aspecto científico quanto estratégico deste tema. No tocante ao aspecto científico, existem diversos aspectos do papel dos geopolímeros, principalmente no que se refere à utilização deste material como substitutos dos adesivos tradicionais (argamassa colante), bem como na importância de parâmetros de colagem como: temperatura, cor e tipo da peça cerâmica, que não são considerados relevantes na colagem estrutural, pelas normas concernentes ao tema. No

tocante ao aspecto estratégico, o incremento das pesquisas em geopolímero, já em andamento, no PPGEM, contribuirá para o crescimento deste tema no Brasil, bem como para a consolidação de um grupo de pesquisa atuante na área dos geopolímeros.

CAPITULO III

3. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Dentro dos aspectos avaliados na revisão crítica da literatura, a metodologia experimental abordará:

- (i) Seleção dos materiais a serem utilizados;
- (ii) Caracterização química e física das placas cerâmicas, das matérias primas e dos adesivos utilizados (argamassa colante e adesivos geopoliméricos);
- (iii) Caracterização mecânica das placas aderidas sujeita as variações térmicas cíclicas com os diferentes adesivos em função da Resistência a Compressão Simples e da Resistência de Aderência à Tração;
- (iv) Análise do efeito da mistura dos adesivos geopoliméricos para a colagem das placas cerâmicas aderidas;
- (v) Análise da influência dos principais parâmetros que afetam o desempenho mecânico dos sistemas colados.

Toda a infraestrutura laboratorial, equipamentos, programas e pessoal especializado estão disponíveis no âmbito dos laboratórios que colaboram com o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM) da Universidade Federal da Paraíba.

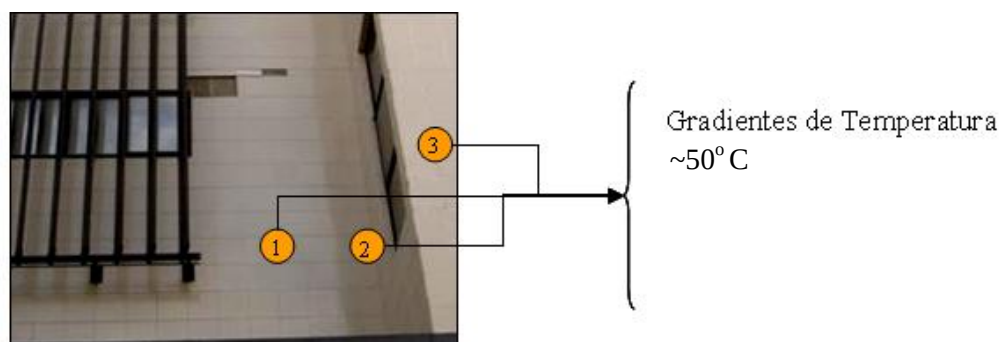
3.1 PARÂMETROS DE ENSAIO

As principais variáveis a serem estudadas constam na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Principais parâmetros a serem avaliados na pesquisa.

Tipo do Revestimento:	Porcelanato (Indústria Local)
Cor do Revestimento:	Branco e Preto
Tipo de Substrato:	Argamassa de Concreto
Tipo de Adesivo:	ACIII-E
	Adesivos Geopoliméricos base de Metacaulinita (GP-MK) e de Solo Intemperizado (GP-SI).
Tipo de Ativador	Silicato de Sódio (N) e Silicato de Potássio (K) com e sem água. Representados como: N1 e K1 (sem água) e N2 e K2 (com água)
Regimes Térmicos:	Ambiente controlado (protótipo desenvolvido por Rêgo (2008) à céu aberto, monitorado com sistema de aquisição de dados (Arquidados) com termopares e controlador automático temporizador (timer)), denominado de RC; Temperatura Ambiente (22) e Temperatura de 55°C (55).
Idade:	1, 3, 7 e 28 Dias

O regime de 55°C em estufa foi determinado em função de medições diretas *in loco* em fachadas de edifícios multifamiliares e comerciais voltadas para o poente, na cidade João Pessoa, com variações de cores e de $\pm 1^\circ\text{C}$, segundo o esquema apresentado na Figura 3.8.



Onde: (1) Região de Média insolação (2) Região de Sombra (3) Região de Alta insolação

Figura 3.1: Esquema de medições de irradiação térmica.

Os pontos representam as regiões de diferentes temperaturas medidos em diversos prédios de João Pessoa, com diversas tonalidades de cerâmicas e nas orientações Leste, Oeste, Norte e Sul. Com as medições de campo, notou-se que as temperaturas mais elevadas estavam nas peças escuras e na fachada oeste.

A Figura 3.2 apresenta a nomenclatura adotada para as diversas formulações dos adesivos geopoliméricos.

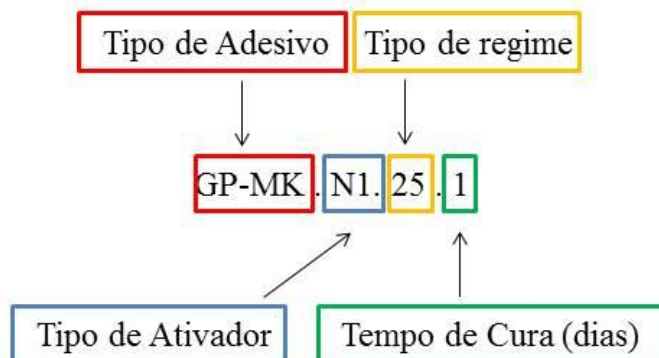


Figura 3.2: Nomenclatura adotada os adesivos geopoliméricos

Uma visão esquemática da abordagem experimental pode ser vista na Figura 3.3.

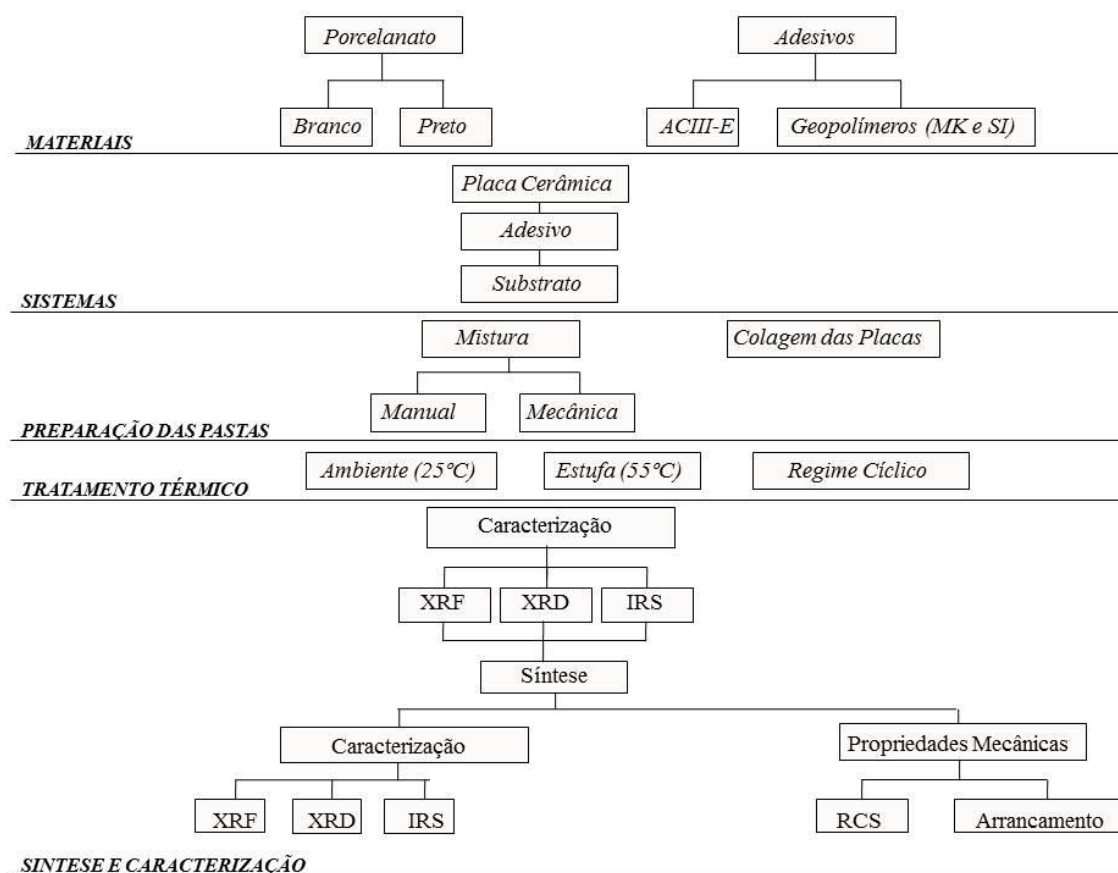


Figura 3.3: Planejamento Experimental

Onde:

XRF: Fluorescência de Raio-X

XRD: Difração de Raio-X

IRS: Espectroscopia de Infravermelho

RCS: Resistência a Compressão Simples.

3.2 SELEÇÃO DOS MATERIAIS

3.2.1. Material Cerâmico

Foi utilizado nesta pesquisa um porcelanato polido nas cores branca e preta. As Figuras 3.4 e 3.5 apresentam a superfície superior, a superfície inferior (tardoz) e o detalhe lateral dos revestimentos cerâmicos (porcelanato branco e preto.) utilizados nesta pesquisa.

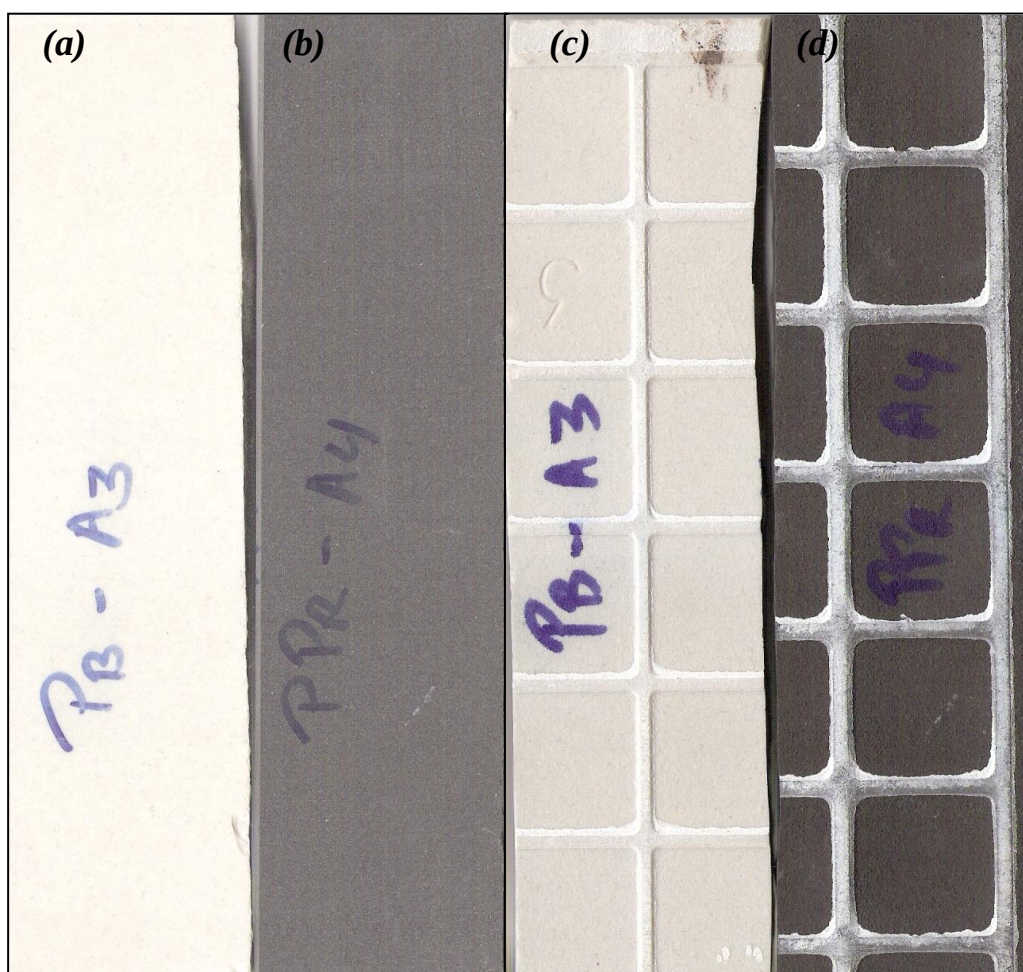


Figura 3.4: Detalhe frontal e do tardoz das peças cerâmicas da esquerda para a direita: (a) Porcelanato Branco; (b) Porcelanato preto; (c) Tardoz do Porcelanato Branco; (d) Tardoz do Porcelanato Preto (dimensões de 40 mm x 160 mm).



Figura 3.5: Detalhe lateral das peças cerâmicas: Porcelanato Branco (inferior) e Porcelanato preto (superior).

3.2.2. Adesivos (Cola)

Foram utilizadas neste trabalho a argamassa colante ACIII-E e os adesivos geopoliméricos a base de Metacaulinita e Solo Intemperizado. Estes adesivos podem ser observadas nas Figuras 3.6a, 3.6b e 3.6c, respectivamente.



Figura 3.6: ACIII-E (a) MK (b) e SI (c).

O ACIII-E foi fornecido por uma empresa local. O metacaulim utilizado foi fornecido pela Caulisa SA, indústria de beneficiamento de caulim localizada no Município de Juazeirinho, PB, sendo obtido através da calcinação do caulim a 700°C/2h. O Solo Intemperizado foi originário de Jacumã, e moído a 80.000 rpm, sendo utilizado em seu estado *in natura*, ou seja, sem calcinação.

3.2.3. Água

A água utilizada nas misturas da argamassa colante foi proveniente da concessionária de abastecimento. Já a utilizada na síntese dos adesivos geopoliméricos foi do tipo deionizada.

3.2.4. Ativadores

O silicato de sódio utilizado na pesquisa foi fornecido pela Pernambuco Química S/A com um módulo de sílica (relação $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, em massa) igual a 2,17 e pH em torno

de 13. Já o silicato de potássio foi fornecido pela DIATOM S/A com razão $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ igual a 2,00 e pH aproximadamente 13.

3.3 PREPARAÇÃO DAS PASTAS

A preparação da argamassa colante foi realizada por meio de processo manual, de acordo com as especificações da argamassa.

Foram realizadas caracterizações químicas dos precursores geopoliméricos e dos ativadores para se estabelecer as razões molares de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{M}_2\text{O}$, $\text{H}_2\text{O}/\text{M}_2\text{O}$ e $\text{M}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ que se desejava avaliar nesta pesquisa. Análises foram realizadas para confirmar que o pH da solução era fortemente alcalino e assim garantir a polimerização.

Na preparação dos adesivos geopoliméricos, as misturas foram realizadas de forma manual e mecânica com o intuito de avaliar o efeito da mistura nas propriedades mecânicas de resistência à aderência dos adesivos sintetizados, sendo misturados o precursor geopolimérico e os ativadores, de acordo com cada tipo de traço. A mistura manual foi realizada por 10 minutos. As misturas mecânicas foram realizadas em misturador industrial com velocidade controlada por 2 minutos. Foram realizadas 04 (quatro) misturas composicionais para o precursor metacaulinita e 01 (uma) mistura para o precursor a base de solo intemperizado. A Tabela 3.2 apresenta a variação composicional de cada adesivo geopolimérico utilizado nesta pesquisa.

Tabela 3.2: Composição dos Adesivos Geopoliméricos utilizados na Pesquisa (Traço em Peso).

Precursor	Traço	Peso do Precursor(g)	Peso do Ativador (g)		Água(g)
			Silicato Sódio	Silicato Potássio	
Metacaulinita	I	76	100	0	0
	II	76	100	0	15
	III	60	0	100	0
	IV	60	0	100	15
Solo Intemperizado	I	150	100	0	10

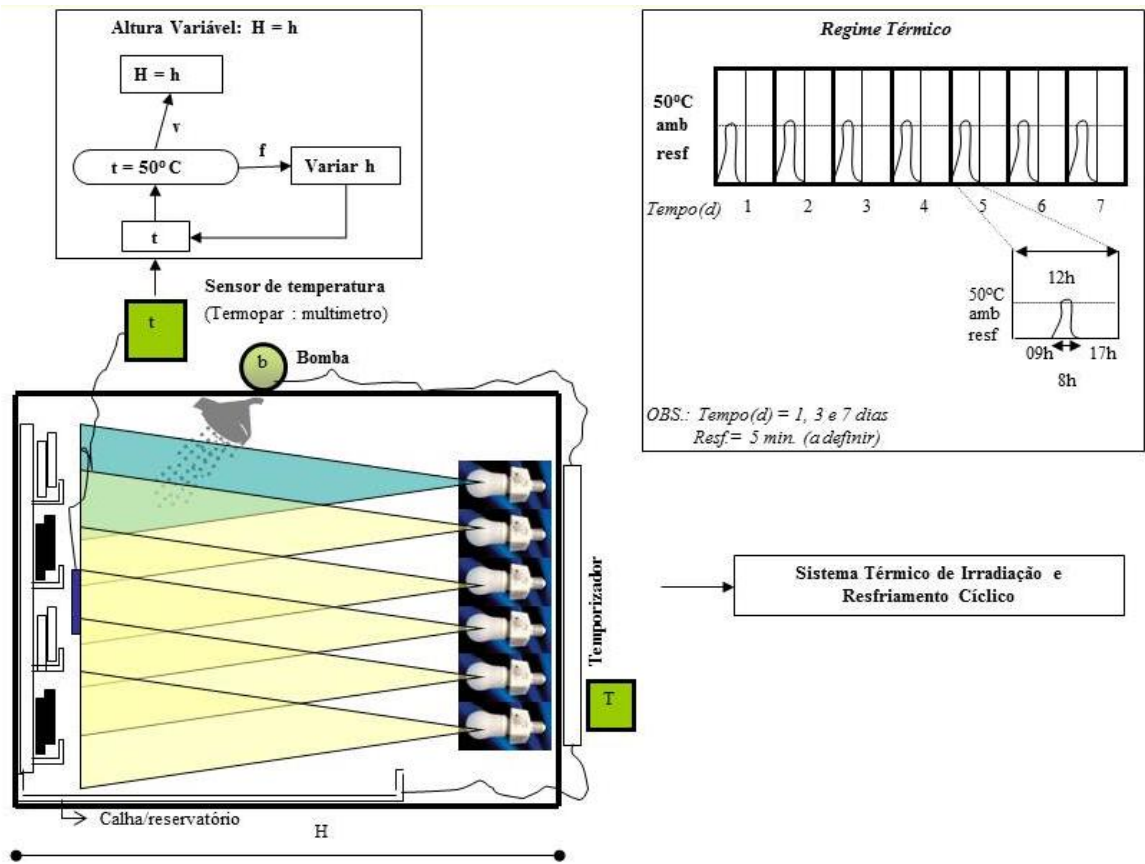
3.4 CONDIÇÕES DE CURA

Os sistemas colados foram submetidos a diferentes regimes de cura, de acordo com a Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Regimes de cura aos quais os sistemas colados foram submetidos (tempo acumulado).

Tipo	1 dia	7 dias
Regime normal	22° C	22° C
Regime em estufa	55° C	55° C
Regime cíclico	Cíclico: 55°C/4 hs + Chuva/5min – 7 dias (ACIII-E) e Chuva/4 hs + 55°C/20 hs – 7 dias (Geopolímeros)	

O regime cíclico ocorreu de acordo com o diagrama apresentado na Figura 3.7.



Onde: t = temperatura

$H = h$ = altura para atingir a temperatura de 55° C

Figura 3.7: Esquema de sistema térmico de irradiação cíclica.

Este sistema térmico de irradiação cíclica foi projetado e executado por Rego e Torres (2007), sendo adaptado pelos mesmos em 2008 para avaliar o sistema de regime cíclico incorporando o parâmetro de chuvas. O sistema consta de uma fonte de irradiação situada na parte lateral do equipamento conectado a um temporizador, com finalidade de ligar e desligar automaticamente o sistema (segundo programação vista no diagrama). Este

sistema teve monitorado tanto o regime de irradiação quanto de chuva repentina, através de termopar múltiplo para as duas funções.

A temperatura de 55°C foi obtida com médias de medições em diversos edifícios de João Pessoa com um termômetro de infravermelho segundo o esquema apresentado por Rego (2008).

3.5 TÉCNICAS UTILIZADAS NA CARACTERIZAÇÃO

3.5.1. Massa Específica

As massas específicas das argamassas colantes foram obtidas pelo método proposto por Souza Santos (1995). Foram realizadas três determinações por amostra.

3.5.2. Porosidade Aparente

A porosidade aparente das peças cerâmicas e porcelanatos foram determinadas de acordo com a metodologia proposta por Souza Santos (1995), consistindo em realizações de pesagens quando as amostras são submetidas a secagem em estufa por 4 horas (PQ), quando são submetidas a autoclave a 90°C / 12h (PSat), e finalmente quando são imersas em água (PI), tendo como referência o livro Tecnologia das Argilas (SOUSA SANTOS, 1995), e cujos resultados encontram-se no Capítulo IV.

3.5.3. Absorção de Água

Para a determinação da absorção de água foi usado o mesmo procedimento da seção 3.5.2.

3.5.4. Análise Química por Fluorescência de Raios-X – (XRF)

A análise química foi realizada no Laboratório de Solidificações Rápida da UFPB em Sequential X-ray Fluorescence Spectrometer, Modelo XRF-1800 da Shimadzu. Através

de Fluorescência de raios-X obteve-se os percentuais de óxidos da argamassa colante ACIII-E e dos adesivos geopoliméricos.

3.5.5. Resistência à Compressão Simples

A resistência à compressão simples aos 07 (sete) dias dos adesivos geopoliméricos foi obtida pelo ensaio indicado na NBR 7215 curados a temperatura de 22°C e 55°C. Os ensaios realizados nesta tese foram conduzidos em um equipamento de ensaios universais da Shimadzu. Foram utilizadas amostras cilíndricas de dimensões 2,5cm x 5cm (diâmetro x altura), em um total de 3 amostras para cada tipo de adesivo e temperatura de cura.

3.5.6. Testes de Aderência ao arrancamento (NBR 14084)

Os ensaios de arrancamento foram realizados com as peças de 5x5 cm aderidas em substrato padrão (NBR 14082) em um Aderímetro Novus N1500 da Contenco. O nível horizontal da base do equipamento foi controlado através do uso de um nível de bolha colocado em diversas direções da superfície do equipamento. A Figura 3.8 apresenta um ensaio de arrancamento sendo realizado.



Figura 3.8: Ensaio de Arrancamento sendo realizado.

3.5.7. Análise Estatística

A execução dos ensaios foi sempre aleatória para garantir a independência das observações. Para testar a significância estatística do efeito das diferentes variáveis no parâmetro medido foi utilizada a Análise de Variância (ANOVA). As regressões lineares foram empregadas para estabelecer correlações entre duas ou mais variáveis e/ou parâmetros medidos. Em todos os testes, foram considerados significativos os resultados com avaliação do nível significância dos parâmetros.

CAPITULO IV

4. EDIFICAÇÕES EM JOÃO PESSOA COM PROBLEMAS DE DANOS NAS FACHADAS: GEORREFERENCIAMENTO

4.1 INTRODUÇÃO

O descolamento de material cerâmico em fachadas é um problema real na cidade de João Pessoa. Em observação visual em edifícios da cidade, notam-se nas fachadas o descolamento dos mais variados tipos de revestimento cerâmico, tais como: pastilha, cerâmicas, porcelanatos, granitos etc. que, apesar do seu custo elevado e materiais colantes com tecnologia moderna, essa patologia continua, independente do padrão da edificação e de uso (residencial, institucional, privado ou público).

As condições climáticas e a proximidade das edificações a ambientes marinhos é um dos aspectos que pode influenciar na integridade da colagem dos revestimentos cerâmicos em fachadas, requerendo principalmente do tipo de adesivo utilizado propriedades especiais, visto que a presença de sais marinhos, reconhecidamente afeta a hidratação e a durabilidade de adesivos à base de cimento Portland (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

4.2 GEORREFERENCIAMENTO DAS EDIFICAÇÕES E SEUS DANOS

Nesta pesquisa foram selecionados 06 (seis) edifícios residenciais com padrões construtivos diferenciados variando do padrão popular até o de alto padrão. A Figura 4.1 apresenta a localização georreferenciada destas edificações dentro da cidade de João Pessoa e sua proximidade com a orla marítima.

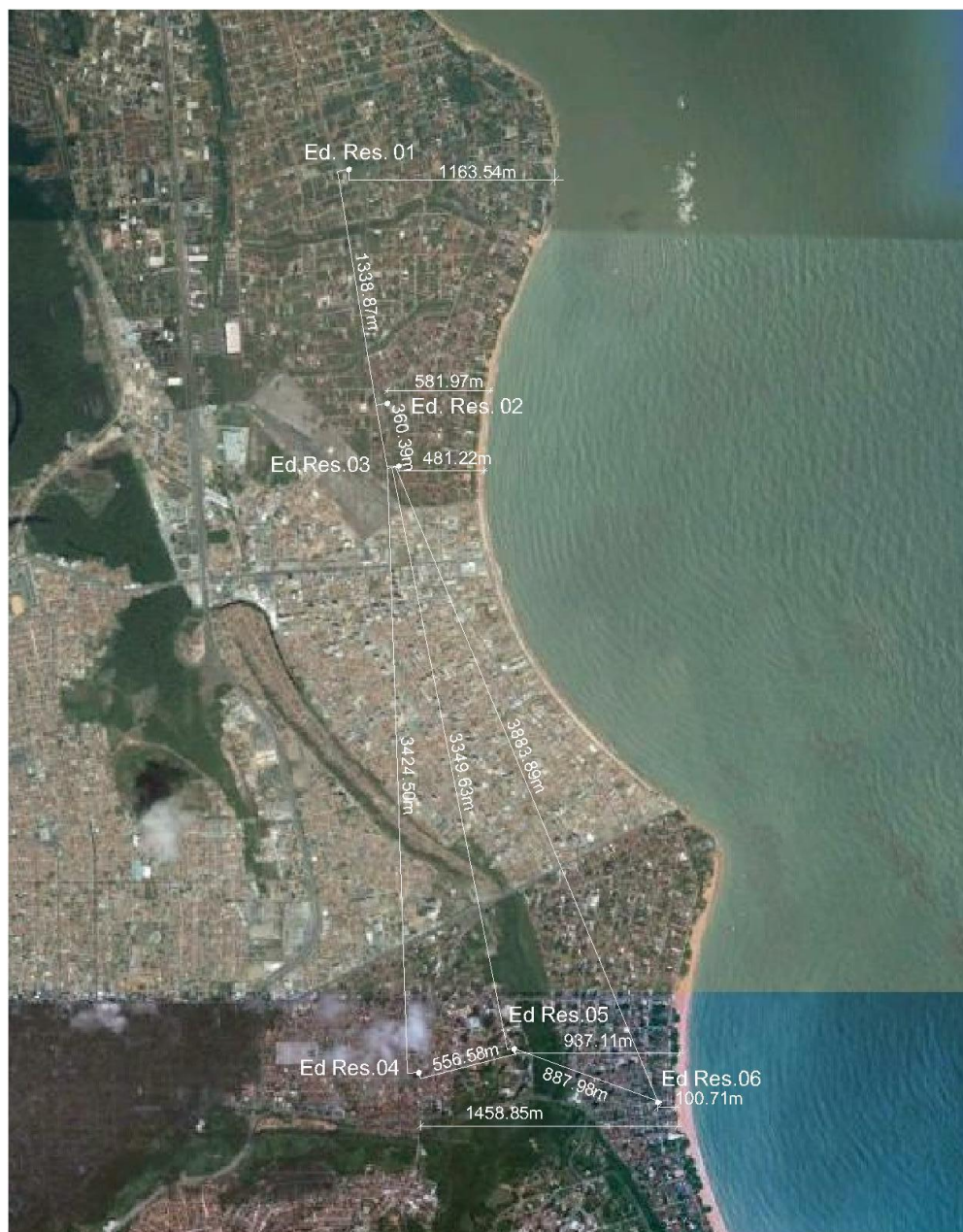


Figura 4.1: Localização georreferenciada das edificações selecionadas na pesquisa.

Como pode ser observado pela figura 4.1, as edificações possuem distâncias variadas da orla marítima entre 100m e 1460m aproximadamente. A Tabela 4.1 apresenta a distância entre as edificações e a orla, bem como a distância da edificação mais próxima.

Tabela 4.1: Distância entre as edificações e a orla marítima e entre uma edificação e sua vizinha.

<i>Nome do Edifício</i>	<i>Distância da Orla (m)</i>	<i>Distância da edificação vizinha (m)</i>	<i>Edificação Vizinha</i>
Ed. Res. 01	1.163,54	1.338,87	Ed. Res. 02
Ed. Res. 02	581,97	360,39	Ed. Res. 03
Ed. Res. 03	481,22	3.424,50	Ed. Res. 04
Ed. Res. 04	1.458,85	556,58	Ed. Res. 05
Ed. Res. 05	937,11	887,98	Ed. Res. 06
Ed. Res. 06	100,71	3.883,89	Ed. Res. 03

4.2.1 Edifício Residencial 01

O Edifício Residencial 01 localiza-se no Bairro do Bessa na cidade de João Pessoa de acordo com as coordenadas geográficas de Latitude 7°04'38,11689"S e Longitude 34°50'24,81978"O e coordenadas UTM 296.778,178m E e 9.217.351,213m N. As Figuras 4.2 a 4.4 apresentam a Fachada Oeste do edifício com Detalhes dos tipos de danos e a Localização Georreferenciada.



Figura 4.2: Queda de revestimento da Fachada do Ed. Residencial 01 até a degradação total devido a expansão por umidade e gradiente térmico.

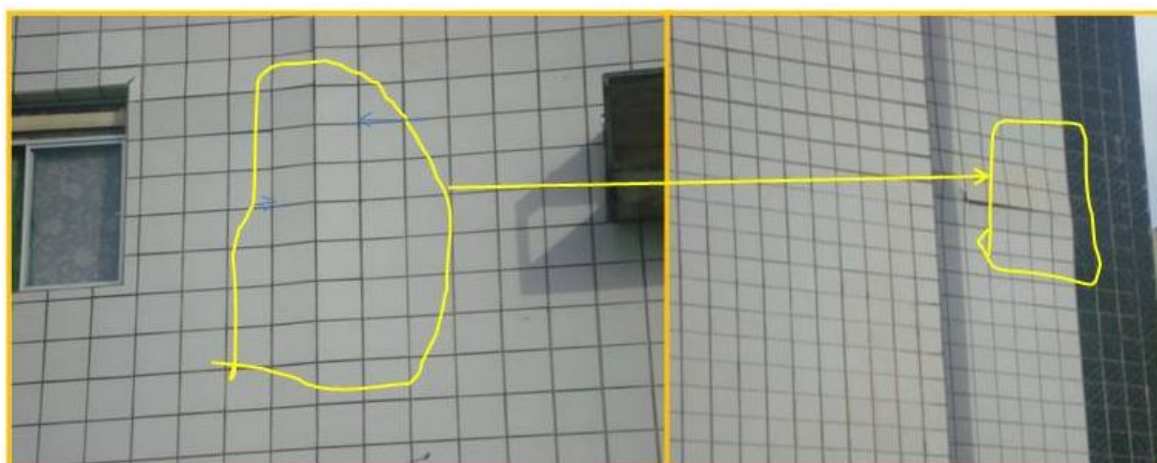


Figura 4.3: A direita: Expansão por umidade e estufamento da peça cerâmica por confinamento. A esquerda: Início da queda do revestimento cerâmico.

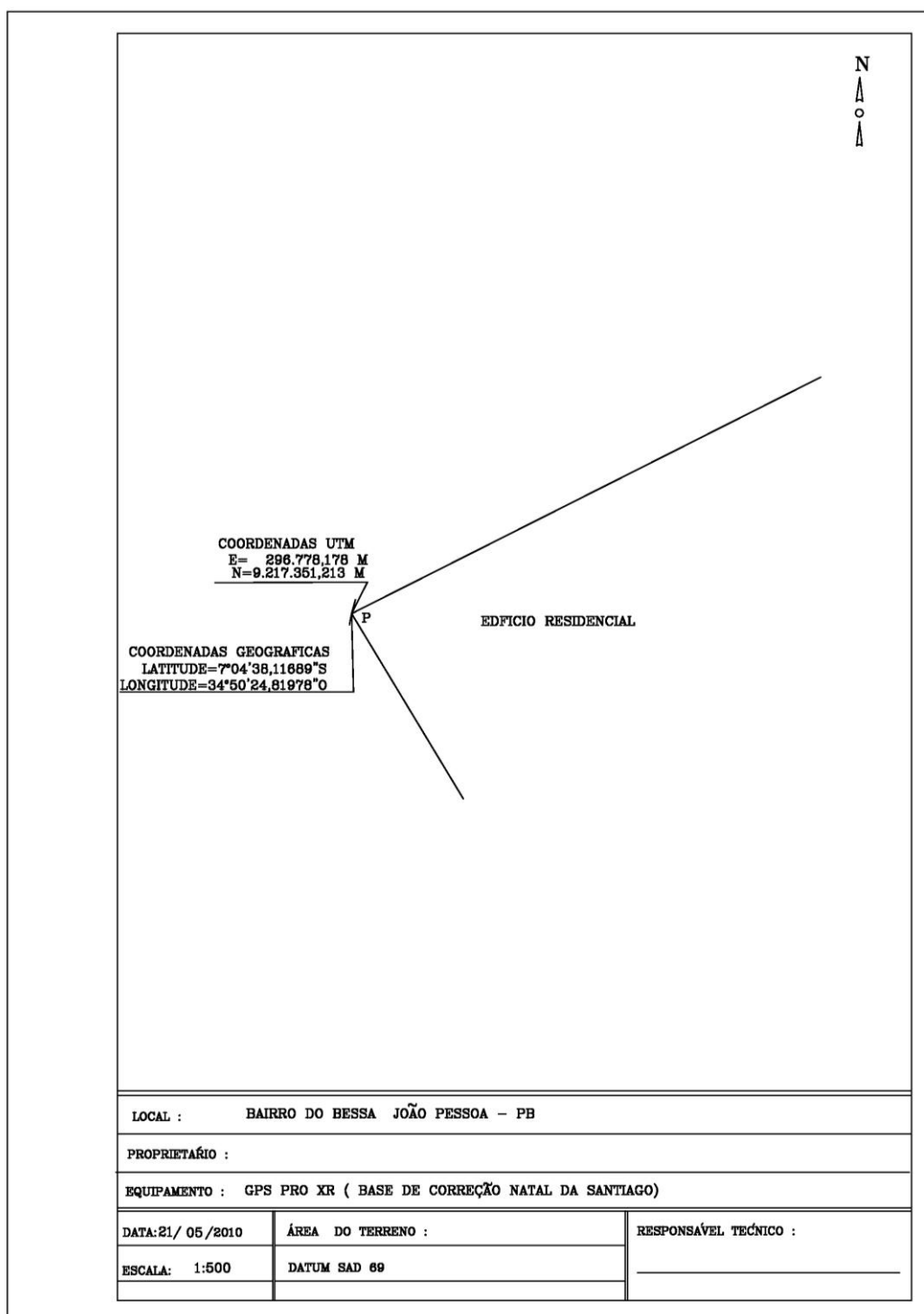


Figura 4.4: Localização georreferenciada do Edifício Residencial 01.

Como pode ser observado pelas Figuras 4.2 e 4.3 ocorreu o descolamento misto (adesivo e coesivo) das placas cerâmicas. Parte desse dano foi ocasionado pelo gradiente térmico incidente nas fachadas, a expansão por umidade e o estufamento da peça cerâmica por confinamento. O descolamento das peças ainda continua sendo um problema a ser resolvido, embora muitos edifícios utilizem este tipo de revestimento devido ao aspecto visual agradável, baixa manutenção e custo relativamente baixo.

4.2.2 Edifício Residencial 02

O Edifício Residencial 02 localiza-se no Bairro do Bessa de acordo com as coordenadas geográficas de Latitude 7°05'20,82934"S e Longitude 34°50'17,96842"O e coordenadas UTM 296.993,647m E e 9.216.039,800m N. As Figuras 4.5 a 4.7 apresentam detalhes dos danos evidenciados na fachada do Edifício e a Localização georreferenciada do mesmo.



Figura 4.5: Degradação do revestimento em pastilhas do Ed. Res. 02 (edificação de Padrão Alto)

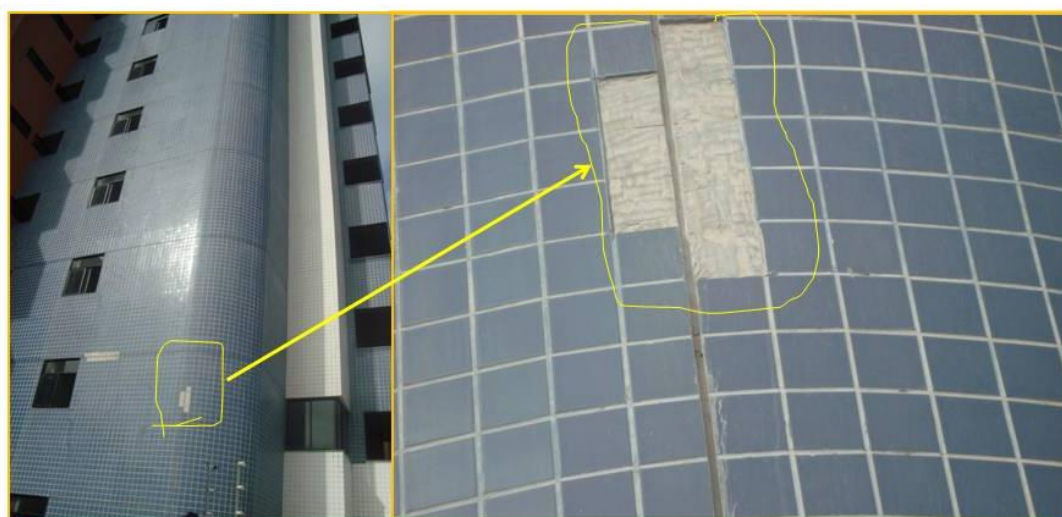


Figura 4.6: Descolamento adesivo na interface cerâmica-cola devido o efeito do gradiente térmico.

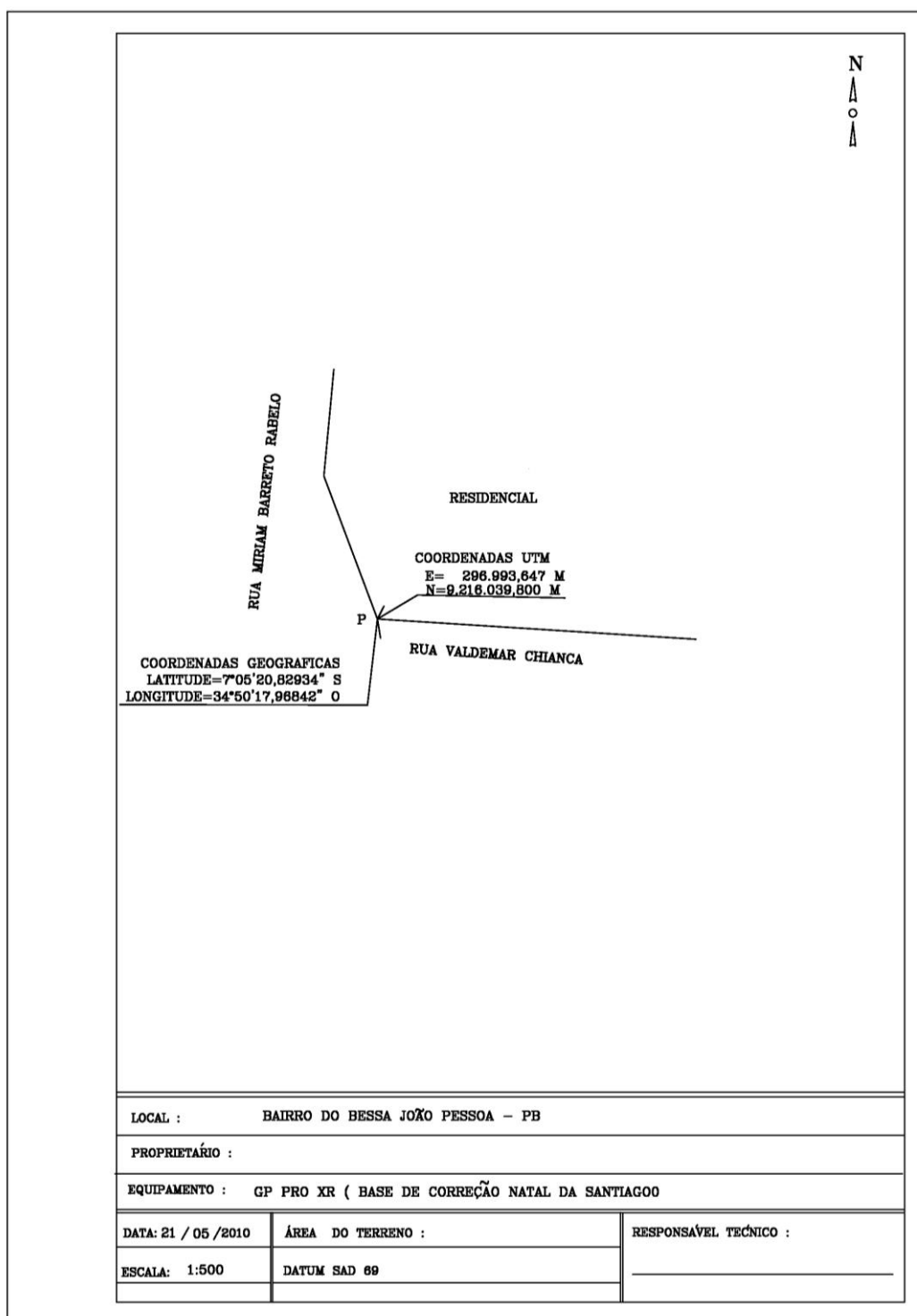


Figura 4.7: Localização georreferenciada do Edifício Residencial 02.

Como pode ser observado pelas Figuras 4.5 e 4.6 o edifício é revestido com pastilhas cerâmicas que devido a sua pequena dimensão estão sendo também muito utilizadas em fachadas de edifícios. Apesar de suas pequenas dimensões e,

conseqüentemente menor peso os edifícios com este tipo de revestimento ainda apresentam descolamento como ocorrido nas peças de dimensões maiores (cerâmica).

Pode-se observar que o descolamento foi do tipo adesivo, ou seja, que ocorre na interface do revestimento com a cola, ou seja, o revestimento descolou e a cola permaneceu aderida ao substrato. Isto ocorre predominantemente nas fachadas em que a incidência da radiação solar é mais intensa, associada à cor escura em que o gradiente de temperatura é mais elevada.

4.2.3 Edifício Residencial 03

O Edifício Residencial 03 localiza-se no Bairro do Bessa de acordo com as coordenadas geográficas de Latitude 7°05'32,052679"S e Longitude 34°50'16,14028"O e coordenadas UTM 297.051,119m E e 9.215.695,211m N. A Figura 4.8 e 4.9 apresentam a Fachada e os Detalhes do Edifício Residencial 03.

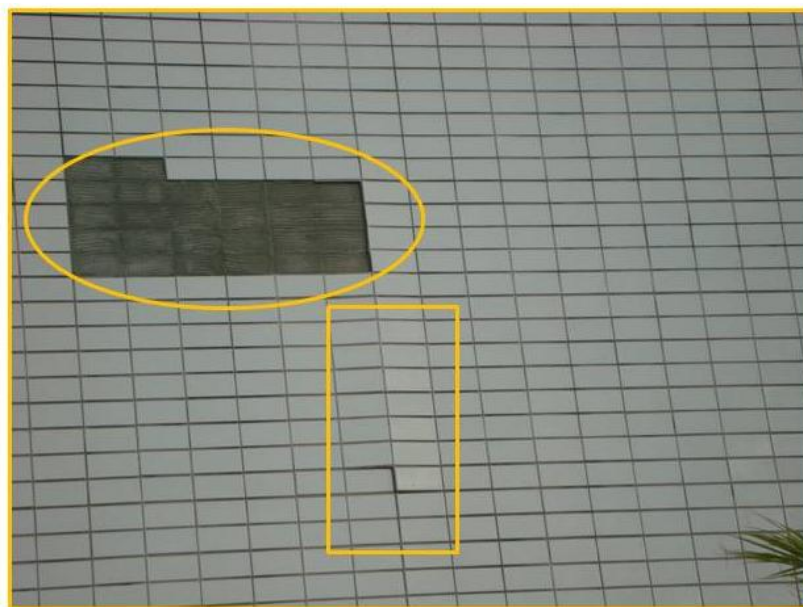


Figura 4.8: Queda da peça cerâmica por confinamento.

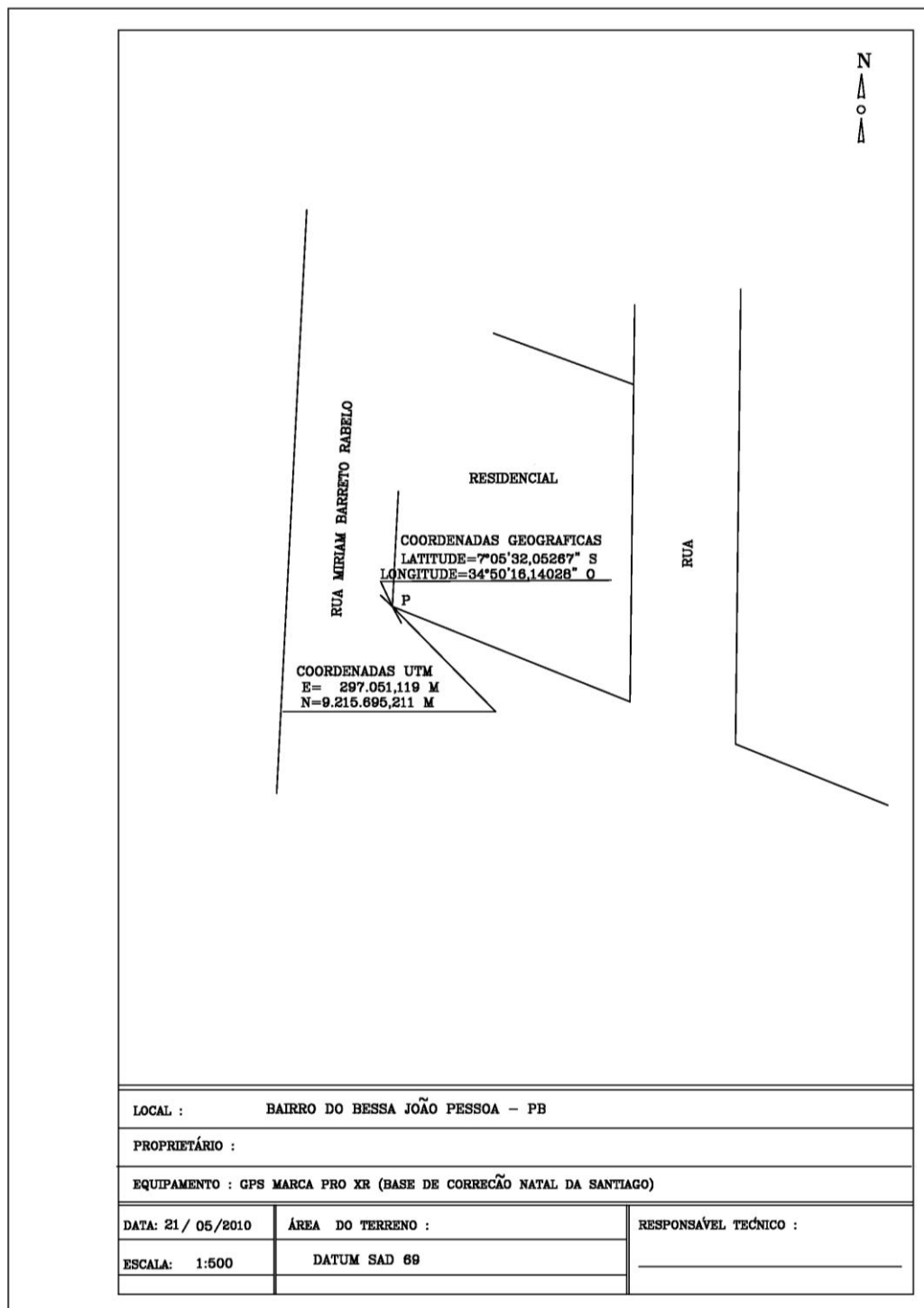


Figura 4.9: Localização georreferenciada do Edifício Residencial 03.

Como pode ser observado pela Figura 4.8 ocorreu o descolamento das placas cerâmicas do edifício em virtude de movimentação diferencial da estrutura e o confinamento das placas, acarretando assim a queda das placas.

4.2.4 Edifício Residencial 04

O Edifício Residencial 04 localiza-se no Bairro Miramar de acordo com as coordenadas geográficas de Latitude 7°07'24,31772"S e Longitude 34°50'12,02887"O e coordenadas UTM 297.190,983m E e 9.212.246,617m N. As Figuras 4.10 a 4.13 apresentam detalhes dos danos da fachada e a localização georreferenciada do edifício.



Figura 4.10: Queda do revestimento cerâmico devido a movimentação estrutural.



Figura 4.11: Descolamento de revestimento cerâmico em função da expansão por umidade devido ao gradiente de temperatura.

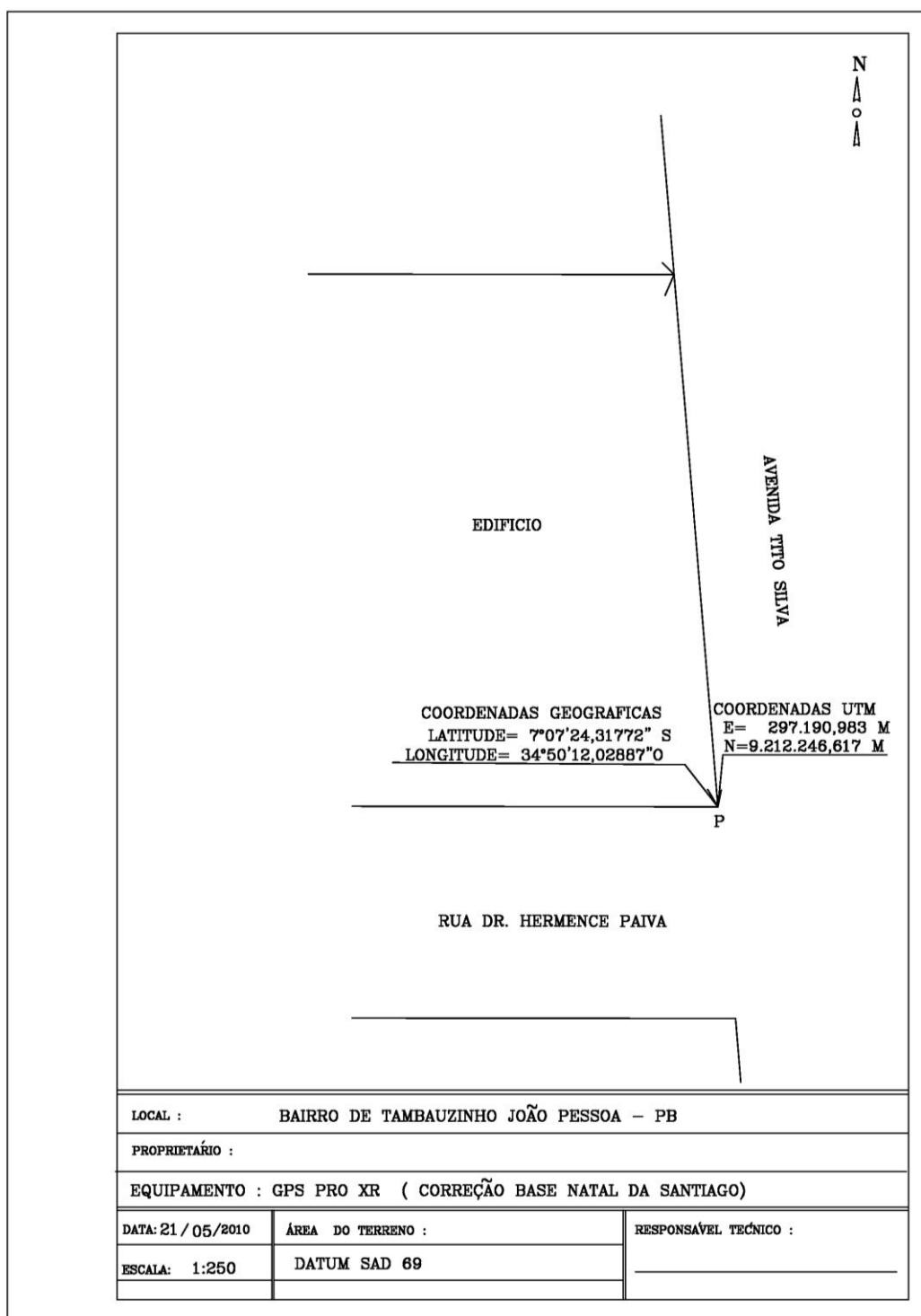


Figura 4.12: Localização georreferenciada do Edifício Residencial 04.

Como pode ser observado pelas Figuras 4.10 e 4.11 ocorreu os mesmos tipos de danos nas fachadas de outros prédios, tanto de padrões populares quanto alto, decorrente do descolamento das placas cerâmicas em função da expansão por umidade devido ao gradiente de temperatura e da movimentação estrutural do prédio.

4.2.5 Edifício Residencial 05

O Edifício Residencial 05 localiza-se no Bairro do Cabo Branco, bairro nobre da cidade, de acordo com as coordenadas geográficas de Latitude $7^{\circ}74'18,63787''\text{S}$ e Longitude $34^{\circ}49'54,90516''\text{O}$ e coordenadas UTM 297.715,781m E e 9.212.423,205m N. A Figura 4.13 apresenta os detalhes da Fachada do Edifício.

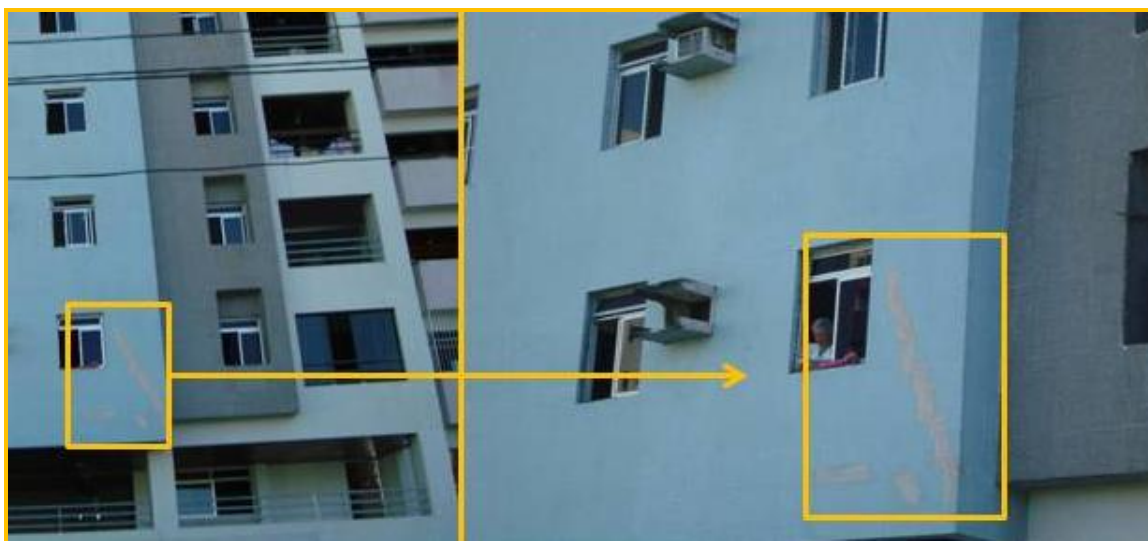


Figura 4.13: Vista da fachada do edifício com detalhe do dano oriundo de movimentação do prédio.

Pela Figura 4.13 pode-se observar que o prédio apresenta-se em bom estado de conservação. Contudo, ainda assim, ocorreu o descolamento das placas cerâmicas. Este descolamento pode ser originado da movimentação estrutural do prédio ocorrida de forma diferencial, acarretando o descolamento das placas cerâmicas.

A Figura 4.14 apresenta a localização georreferenciada do Edifício 05.

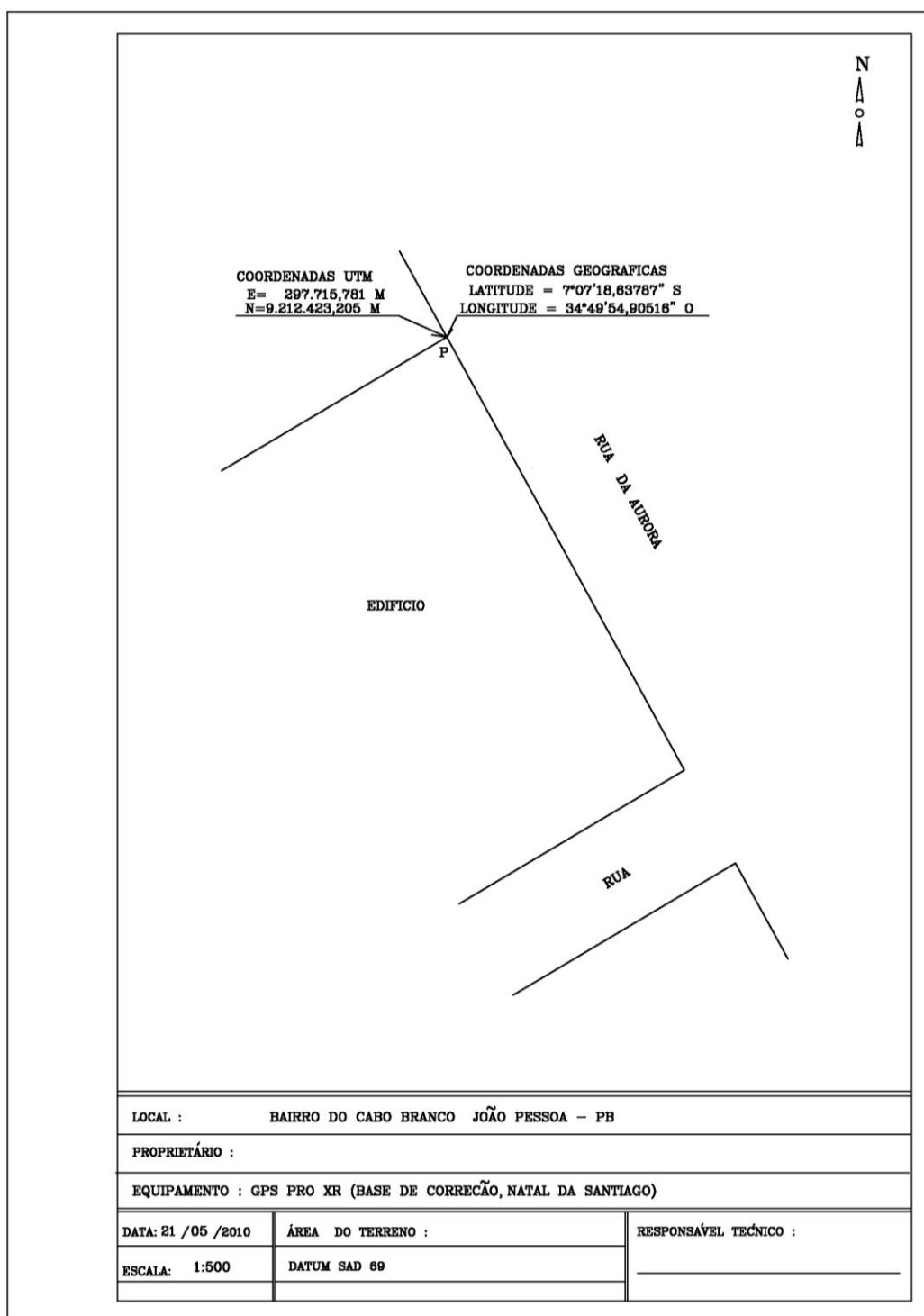


Figura 4.14: Localização georreferenciada do Edifício Residencial 05.

4.2.6 Edifício Residencial 06

O Edifício Residencial 06 localiza-se no Bairro do Cabo Branco de acordo com as coordenadas geográficas de Latitude 7°07'29,49153"S e Longitude 34°49'28,20969"O e

coordenadas UTM 298.536,321m E e 9.212.092,994m N. As Figuras 4.15 a 4.17 apresentam Detalhes da Fachada do Edifício e os danos da mesma.

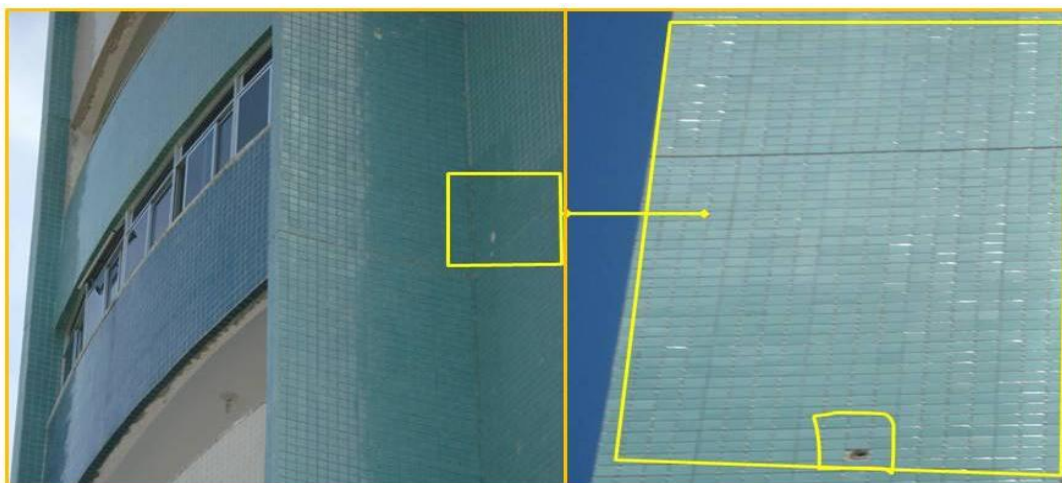


Figura 4.15: Aspectos de degradação antes da conclusão do revestimento com detalhe da queda da pastilha.



Figura 4.16: Fachada do Edifício com Detalhe para a queda do revestimento.

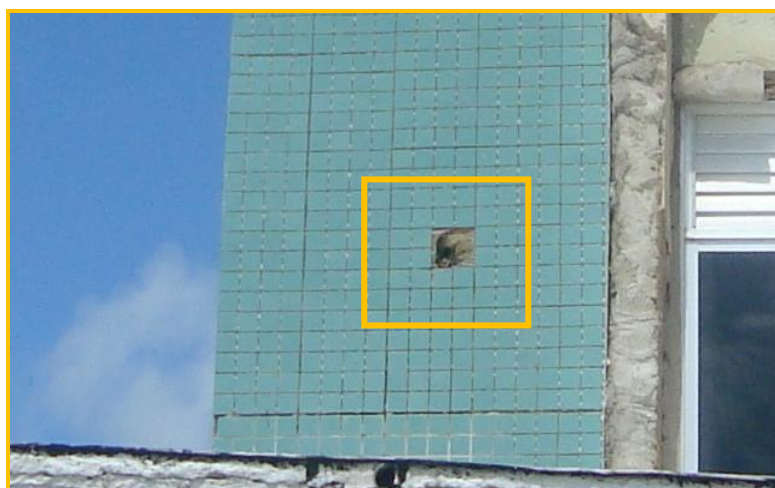


Figura 4.17: Detalhe da queda do revestimento (Prédio Novo).

Como pode ser observado pelas Figuras 4.15 a 4.17 ocorreu o descolamento das placas cerâmicas, mesmo em se tratando de uma colagem nova de revestimento. Isto pode ter sido ocasionado em virtude de problemas com o adesivo utilizado para a colagem das placas cerâmicas. A Figura 4.18 apresenta a localização georreferenciada do Edifício.

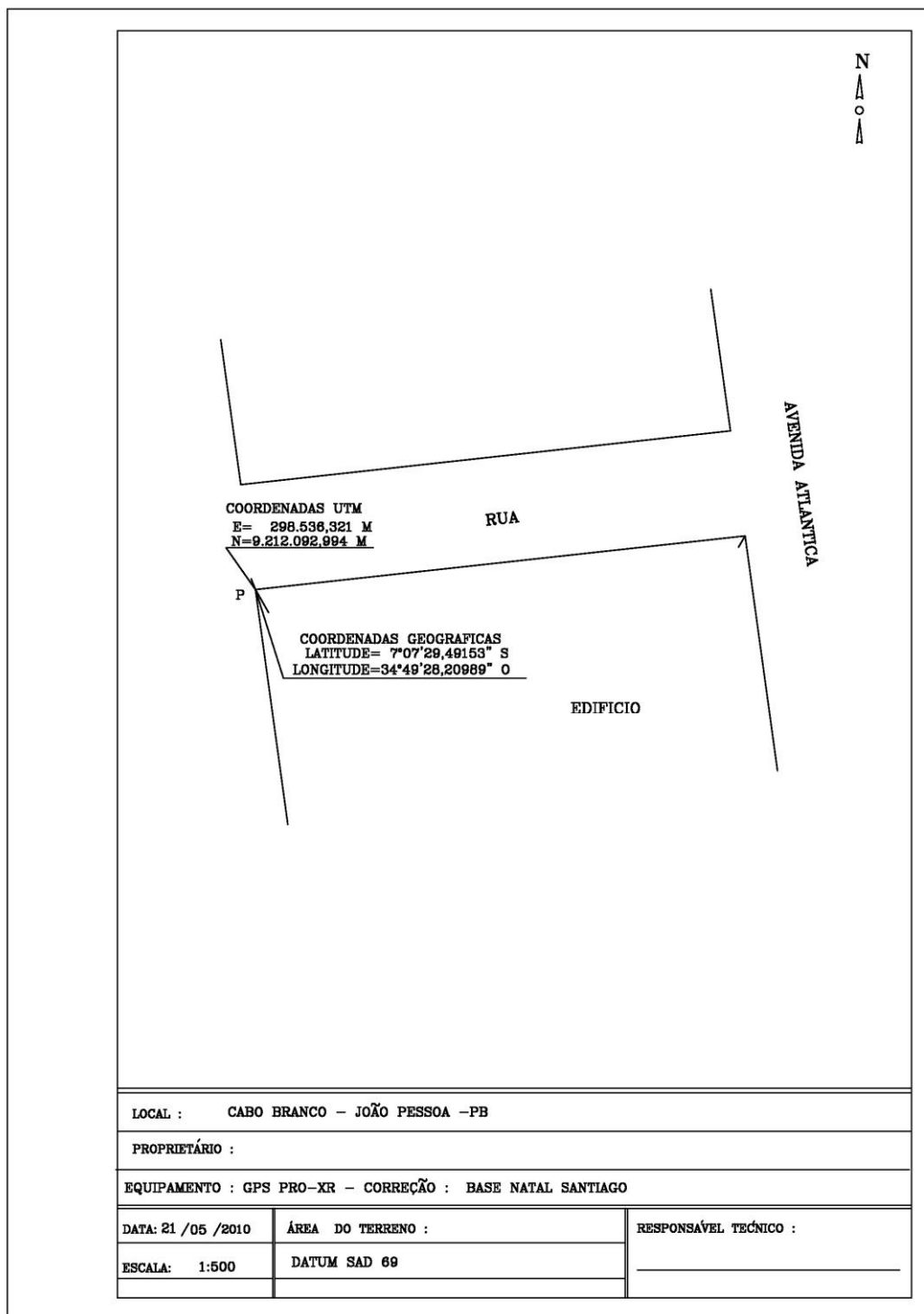


Figura 4.18: Localização georreferenciada do Edifício Residencial 06.

4.2.7 Sumário dos Tipos de Danos dos Edifícios Estudados

É possível notar, nos diversos prédios mostrados nas figuras, que os mesmos apresentaram diversos tipos de descolamentos, independente do padrão construtivo, do numero de pavimentos dos diversos padrões de revestimentos. Todos os edifícios apresentaram algum tipo de patologia, sejam por erros construtivos, falhas de projetos, materiais inadequados, etc., mas o que se nota é que a argamassa colante está presente em todos os descolamentos, sendo aderidas as interfaces das fachadas ou nas interfaces dos revestimentos em diversas formas. Este fenômeno sugere que as argamassas utilizadas necessitam de mais estudos para poderem atender as demandas da construção.

CAPITULO V

5. CARACTERIZAÇÃO DAS PLACAS CERÂMICAS, DAS MATÉRIAS PRIMAS E DOS ADESIVOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS PEÇAS CERÂMICAS E DOS SUBSTRATOS

5.1.1 Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção de Água

A Tabela 5.1 apresenta os resultados de massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água para os materiais cerâmicos utilizados na pesquisa.

Tabela 5.1: Resultados da caracterização física das peças cerâmicas.

AMOSTRA	MÉDIA		
	M.E.A. (g/cm ³)	P. A. (%)	A. A (%)
Porcelanato Branco	2,37	0,07	0,028
Porcelanato Preto	2,35	0,01	0,003

Como pode ser observado na Tabela 5.1 os porcelanatos tanto na cor branca quanto na preta apresentam massa específica aparente (M.E.A) praticamente iguais. Quanto a porosidade aparente (P.A) e a absorção de água (A.A), os porcelanatos tanto na cor branca quanto na preta apresentam valores próximos a zero, evidenciando que os mesmos são pouco porosos e de baixa absorção. Contudo, observa-se que o porcelanato branco apresenta porosidade sete vezes maior que o preto e, conseqüentemente, maior absorção, na ordem de aproximadamente nove vezes.

5.1.2 Módulo de Elasticidade

As Tabelas 5.2 e 5.3 apresentam os resultados do Módulo de Elasticidade calculado para os porcelanato (branco e preto) e para a argamassa colante ACIII-E.

Tabela 5.2: Resultados do Módulo de Elasticidade das peças cerâmicas.

Amostra Número	Dimensões(m)			Força KN	J Desl(m)	I(m ⁴) inércia	Mód. de Elast.(Gpa)	Observações	
	b	h	L(m)						
PBR-1	0,04	0,0098	0,12	0,977	0,000335	3,137E-09	33,44	Média	PBR
PBR-2	0,04	0,0098	0,12	0,874	0,000330	3,137E-09	30,39		32,39
PBR-3	0,04	0,0098	0,12	0,967	0,000333	3,137E-09	33,35		
PPR-1	0,04	0,0096	0,12	0,977	0,000318	2,949E-09	37,55	Média	PPR
PPR-2	0,04	0,0096	0,12	0,873	0,000310	2,949E-09	34,44		35,50
PPR-3	0,04	0,0096	0,12	0,902	0,000319	2,949E-09	34,51		

Onde: PBR-1,2,3 (Porcelanato branco, amostra 1,2,3) PPR-1,2,3(Porcelanato preto, amostra 1,2,3)

Tabela 5.3: Resultados do Módulo de Elasticidade da argamassa colante.

Amostra Número	Dimensões(m)			Força KN	J Desl(m)	I(m ⁴) inércia	Mód. de Elast.(Gpa)	Observações	
	b	h	L(m)						
ACIIIE-1	0,04	0,04	0,10	10,839	0,00074	2,133E-07	1,42	25°C	ACIIIE 1,70
ACIIIE-2	0,04	0,04	0,10	16,787	0,00063	2,133E-07	2,61	25°C	
ACIIIE-3	0,04	0,04	0,10	7,520	0,00069	2,133E-07	1,07	25°C	
ACIIIE-1	0,04	0,04	0,10	1,5428	0,000542	2,133E-07	0,28	55°C	ACIIIE 0,22
ACIIIE-2	0,04	0,04	0,10	1,323	0,000582	2,133E-07	0,22	55°C	
ACIIIE-3	0,04	0,04	0,10	1,528	0,000861	2,133E-07	0,17	55°C	

Onde: ACIIIE- 1,2,3 (Argamassa Colante Tipo ACIII-E, amostra 1,2,3)

Como podem ser observados pela Tabela 5.2 os porcelanatos brancos apresentam um Módulo de Elasticidade em torno de 10% maior que as peças pretas. Quanto ao Módulo de Elasticidade da argamassa colante, pode-se observar que o mesmo sofre influencia da temperatura (ver Tabela 5.3), evidenciado pela diminuição de 87% do seu valor com o incremento de 30°C na temperatura (de 25°C para 55°C).

5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PRECURSORES GEOPOLIMÉRCOS E DOS ADESIVOS (COLA)

5.2.1 Caracterização Química da Argamassa ACIII-E, dos Precursores e dos Adesivos Geopoliméricos

A Tabela 5.4 apresenta os resultados da caracterização química da Argamassa Colante e dos precursores geopoliméricos e a Tabela 5.5 apresenta a caracterização química dos adesivos geopoliméricos de metacaulinita e solo intemperizados (Traço I).

Tabela 5.4: Caracterização Química da Argamassa ACIII-E dos Precursores Geopoliméricos

Óxidos	ACIII-E	MK	SI
SiO ₂	23,49	64,80	35,58
Al ₂ O ₃	7,22	29,74	6,09
Fe ₂ O ₃	2,48	1,72	56,67
CaO total	55,85	-	-
CaO	1,19	0,12	0,06
SO ₃	1,17	0,01	0,01
Na ₂ O	0,17	0,08	0,19
K ₂ O	0,79	3,23	0,03
CO ₂	4,87	-	-
TiO ₂	-	0,08	0,81
MgO	2,76	0,03	0,02

Tabela 5.5: Caracterização Química dos adesivos geopoliméricos (Traço I)

Óxidos	MK	SI
SiO ₂	75,73	32,50
Al ₂ O ₃	13,22	6,16
Fe ₂ O ₃	2,86	59,84
CaO	1,43	0,04
SO ₃	0,01	0,01
Na ₂ O	1,64	0,25
K ₂ O	3,92	0,03
TiO ₂	0,25	0,82
MgO	0,01	0,01

Como pode ser observado pela Tabela 5.4 os precursores geopoliméricos são fontes representativas de silício e alumínio e de pozolana, visto a soma dos compostos SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ serem superiores a 70%, como preconiza a norma de material pozolânico norma NBR 12653.

Pode-se observar ainda que a Argamassa Colante ACIII-E apresenta um mecanismo baseado na reação da cal, enquanto os geopolímeros apresentam um mecanismo baseado nas reações dos aluminossilicatos, mais próximos dos porcelanatos cuja composição química é oriunda de aluminossilicatos. Desta forma, surge o questionamento sobre qual dos dois mecanismos seriam mais compatíveis com os mecanismos de adesão para os sistemas substratos-adesivos-placas cerâmicas e possibilitariam melhores resultados frente a resistência de aderência a tração.

5.2.2 Caracterização Mineralógica dos Precursores e dos Adesivos Geopoliméricos

As Figuras 5.1 e 5.2 apresentam os padrões difratométricos dos precursores geopoliméricos utilizados na pesquisa e dos materiais ativados com silicato de sódio e a

Tabela 5.6 sumariza as fases encontradas tanto nas matérias primas precursoras quanto nos adesivos.

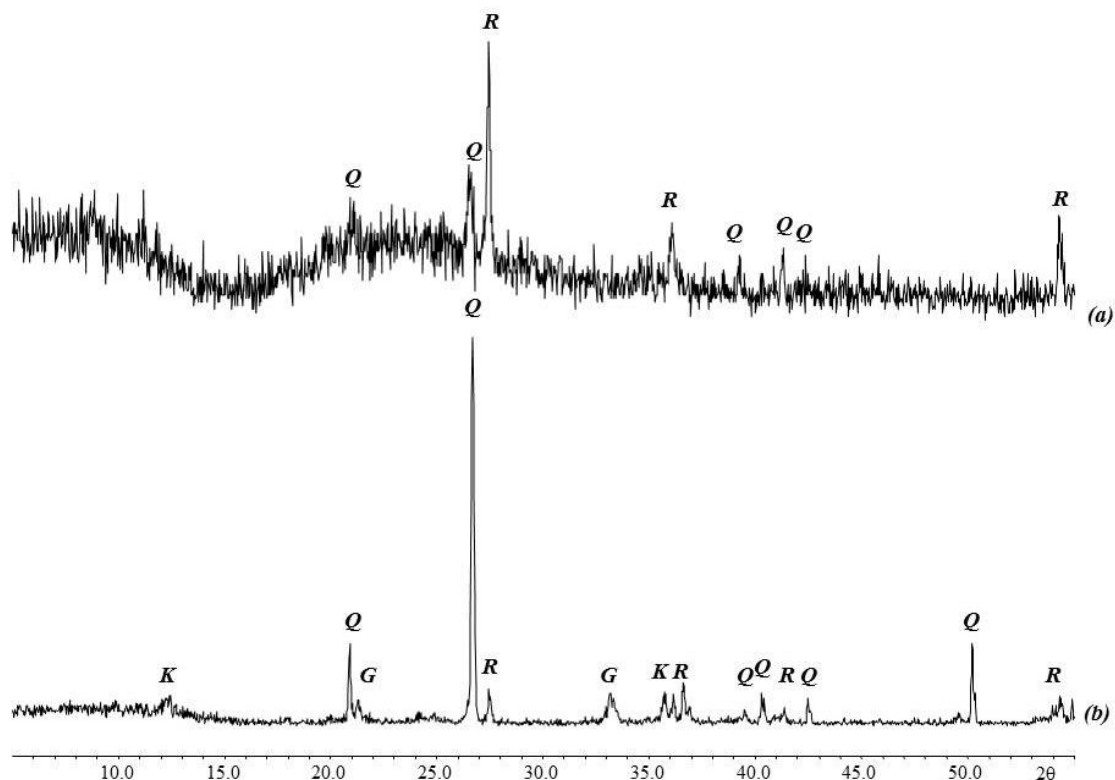


Figura 5.1: Difratomogramas dos precursores geopoliméricos utilizados na pesquisa. (a) MK e (b) SI

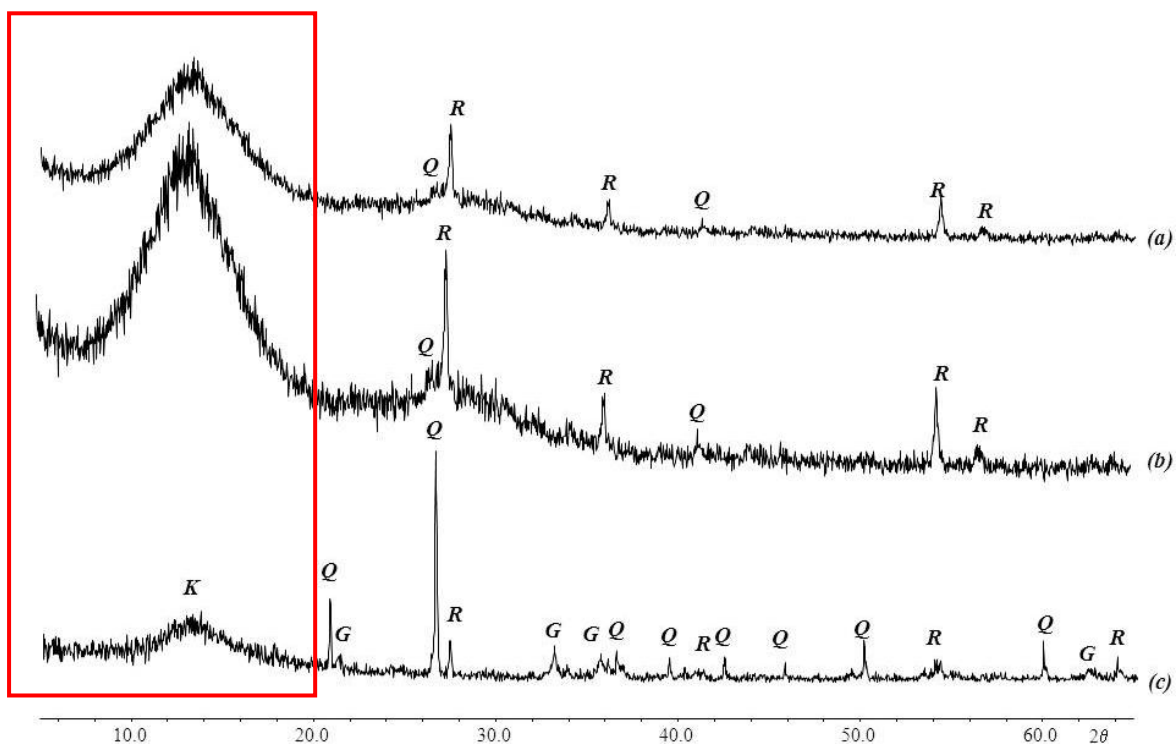


Figura 5.2: Difratomogramas dos adesivos geopoliméricos ativados com silicato de sódio: (a) GP-MK.N1, (b) GP-MK.N2, e (c) GP-SI

Tabela 5.6: Fases encontradas nos precursores geopoliméricos.

Material Precursor	Fases
MK	Quartzo, Metacaulinita*
GP-MK.N1	Quartzo, Metacaulinita*
GP-MK.N2	Quartzo, Metacaulinita*
SI	Quartzo, Caulinita, Goetita
GP-SI	Quartzo, Caulinita, Goetita

(*) a presença desta fase foi inferida pelo mecanismo da desidroxilação da fase caulinita do material in natura quando calcinada em temperaturas superiores a 700°C.

Nos difratogramas as letras significam respectivamente: (Q) Quartzo, (K) Caulinita, (G) Goetita e (R) Titânio utilizado como referência.

Pelos difratogramas podemos observar que as fases cristalinas encontradas no solo residual intemperizados (SI) são caulinita, goetita e quartzo e que a metacaulinita (MK) é constituída basicamente de quartzo.

A presença das fases cristalinas observadas nos adesivos geopoliméricos é, na sua vasta maioria, oriunda dos materiais precursores, o que sugerem que estas estejam atuando, predominantemente, como agregados nestas matrizes. Pode-se observar ainda que a ativação alcalina favoreceu a amorfização da amostra como evidenciado pelo halo entre 10° e 20° (2θ).

Observa-se que maiores teores de água (N2) no adesivo favoreceram a liberação de mais álcalis da estrutura, uma vez que o balanceamento da matriz geopolimérica também pode ser realizado pela presença de H_3O^+ na cadeia. Isto pode possibilitar a interação destes álcalis que, ao ficar em excesso na estrutura, com o CO_2 atmosférico, dando origem a carbonatos, o que pode ser o responsável pela diminuição da resistência a compressão dos adesivos.

5.2.3 Tempo em Aberto dos Adesivos Geopoliméricos e da Argamassa Colante

O tempo em aberto diz respeito à argamassa colante, que por sua vez é definida como um produto industrializado no estado seco, composto de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos que, misturados com água forma uma massa viscosa plástica e aderente empregado no assentamento de placas cerâmicas para revestimento (NBR 14081/1998). Essa argamassa colante tem como parâmetros principais

dentre outros o tempo de maturação, o tempo em aberto teórico, o tempo de formação de película e o tempo útil.

O tempo em aberto é um parâmetro indicativo do tempo em que a argamassa colante permanece com suas propriedades adesivas após sua mistura e aplicação no substrato. Depende diretamente da temperatura, da umidade relativa e da velocidade do vento (KRISTELLER 1997), e é determinado pelo maior intervalo de tempo em que obtiver a resistência de aderência a tração maior ou igual 0,5 MPa, mensurada após 28 dias de cura ao ar (NBR 14081). Também se deve enfatizar que o erro experimental associado nesta norma é de 20%. A norma britânica (BS 5980) preconiza que este fator seja obtido em metodologia semelhante, porém no nível de resistência superior a 0,17 MPa, com erro experimental de 15%. No entanto, não há referência a estudos científicos a cerca deste nível de resistência mínimo em ambas as normas.

A UEAtc (1990) faz distinção entre o tempo em aberto teórico (NBR 14081), realizado em laboratório e o tempo em aberto real observado na prática que é o toque pelos dedos em que a argamassa ao perder a aderência não adere mais aos dedos e é chamado de tempo em aberto real.

As Figuras 5.3 a 5.5 apresentam o tempo em aberto dos adesivos utilizados na colagem dos porcelanatos (Argamassa ACIII-E e os Adesivos Geopoliméricos GP-MK e GP-SI). No tempo em aberto foi utilizado apenas o Traço I para os geopolímeros GP-MK, pois foi o que obteve maior resistência a compressão.

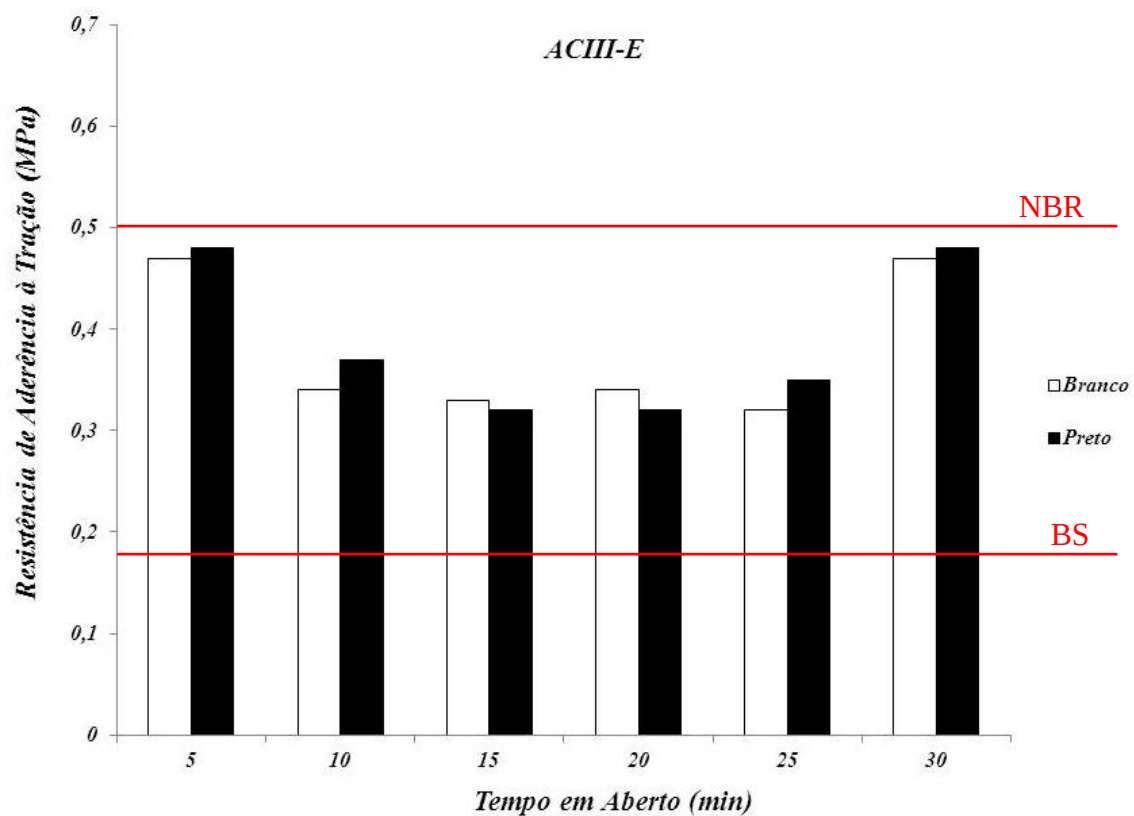


Figura 5.3: Tempo em Aberto da Argamassa Colante ACIII-E.

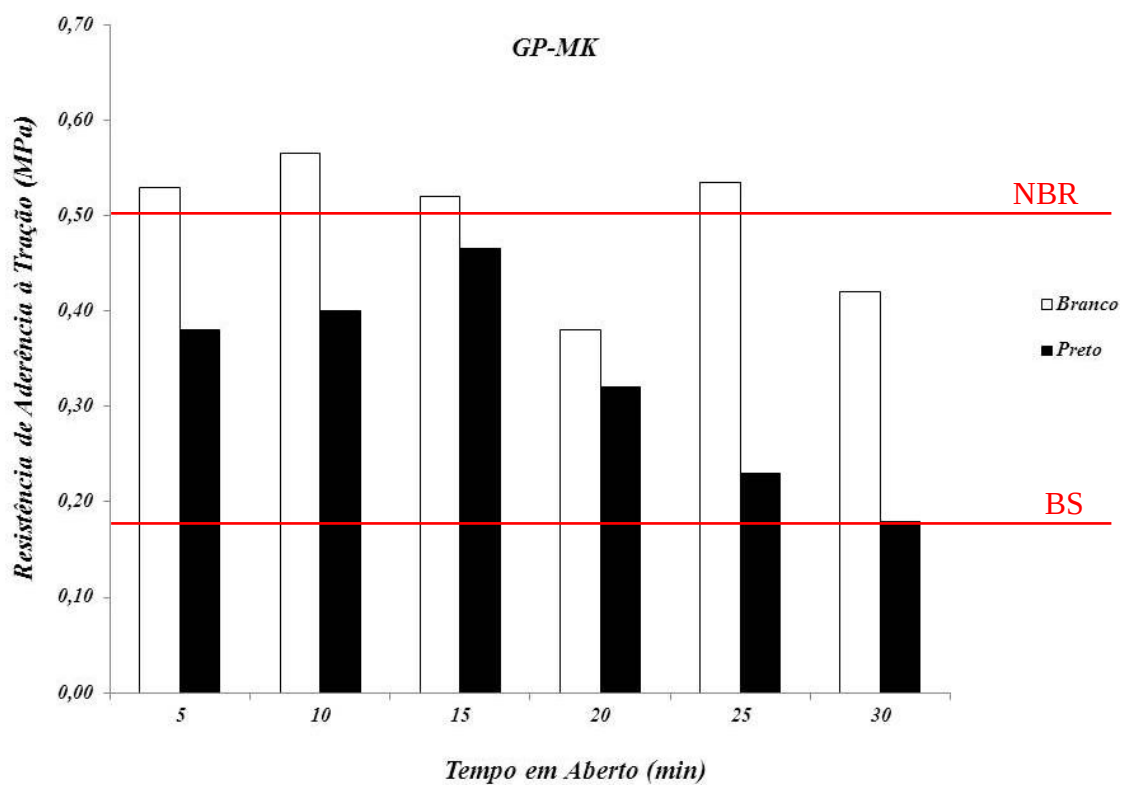


Figura 5.4: Tempo em Aberto do Adesivo Geopolimérico GP-MK.

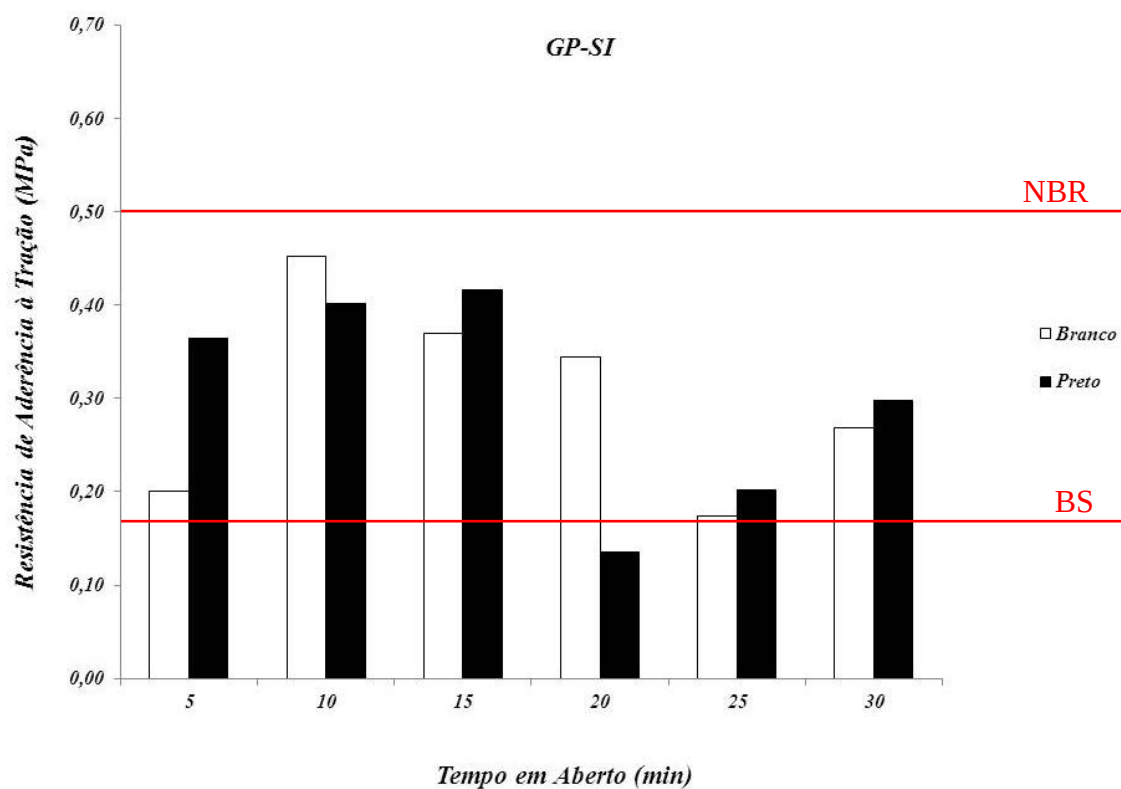


Figura 5.5: Tempo em Aberto do Adesivo Geopolimérico GP-SI.

Como pode ser observado pelas Figuras 5.3 a 5.5 a maior resistência de aderência a tração no tempo em aberto foi alcançada pelo adesivo geopolimérico a base de metacaulinita (GP-MK) aplicado em porcelanatos brancos, com aproximadamente 0,55MPa. Já para as placas pretas o adesivo que se mostrou mais eficiente com relação ao tempo em aberto foi o da Argamassa colante ACIII-E.

As Figuras 5.6 e 5.7 apresentam uma comparação do tempo em aberto para os três tipos de adesivos utilizados para as placas de porcelanatos brancos e pretos.

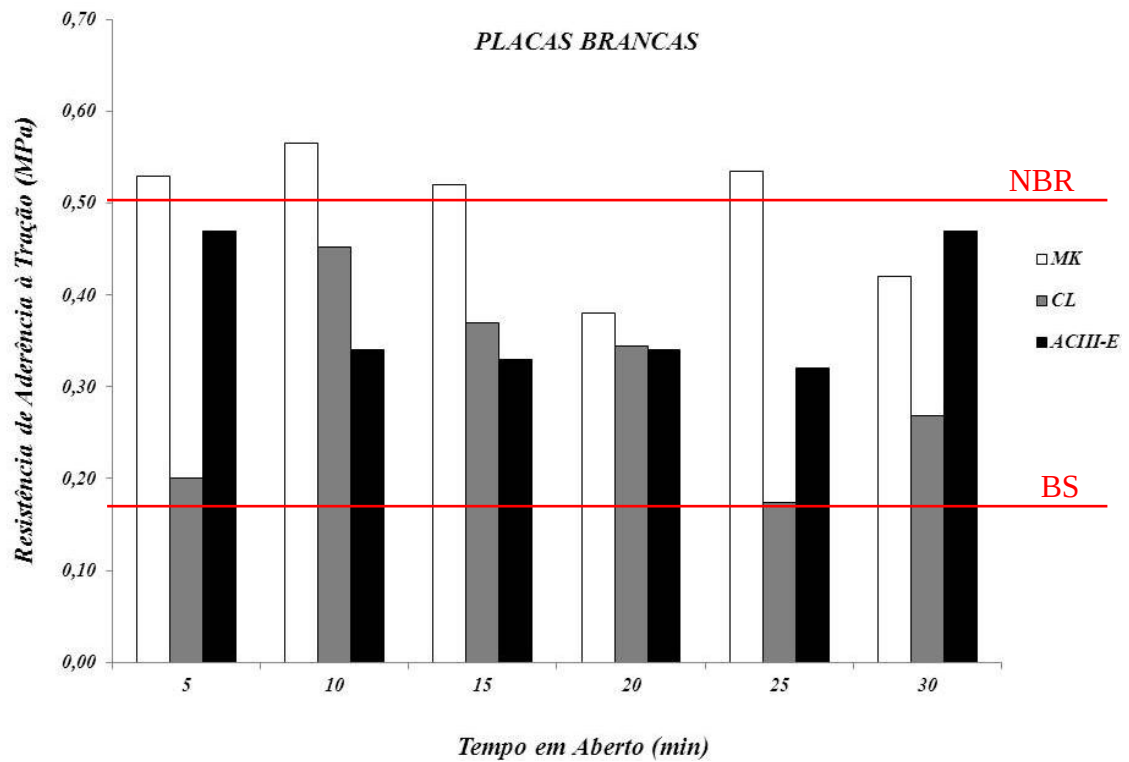


Figura 5.6: Tempo em Aberto dos Três Adesivos utilizados nas placas de porcelanatos brancas.

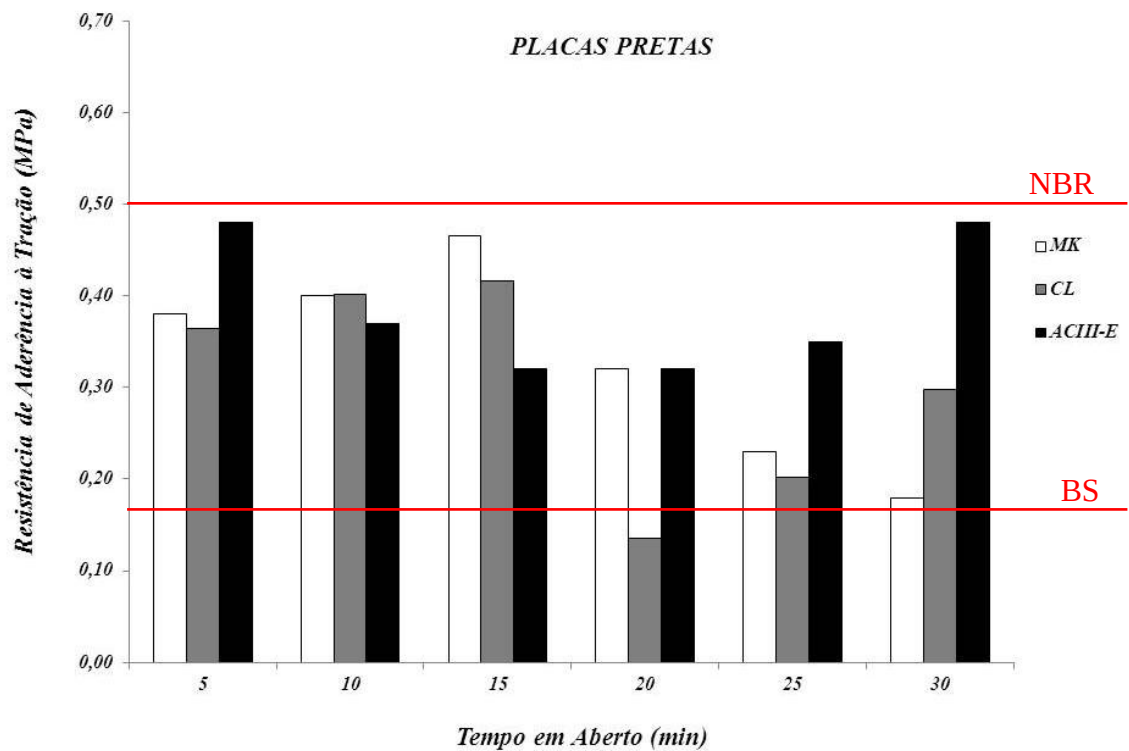


Figura 5.7: Tempo em Aberto dos Três Adesivos utilizados nas placas de porcelanatos pretas.

Como pode ser observado pelas figuras 5.6 e 5.7 ocorre uma variação no tempo em aberto para as placas de porcelanato branca e preta em função do tipo de adesivo utilizado na colagem das mesmas.

Para as placas brancas, em geral o adesivo geopolimérico GP-MK foi o que apresentou o melhor comportamento em função dos valores de resistência a aderência à tração. No tempo de 10, 15 e 20 minutos o adesivo GP-SI apresentou melhores resultados que a argamassa colante ACIII-E. Contudo no final (25 e 30 minutos) a argamassa industrializada superou o adesivo GP-SI na ordem de 50% superior.

As placas pretas apresentaram um comportamento diferente, onde os melhores resultados foram obtidos para a argamassa colante ACIII-E em quase todos os tempos, seguida pelo adesivo geopolimérico GP-MK e GP-SI, respectivamente.

Deve ser levado em consideração que os ensaios de Tempo em Aberto são realizados em temperatura ambiente em torno de 22°C, onde os adesivos geopoliméricos não estão com suas propriedades potencializadas.

CAPITULO VI

6. DESEMPENHO MECÂNICO

6.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES DOS ADESIVOS GEOPOLIMÉRICOS.

A Figura 6.1 apresenta o desempenho mecânico dos adesivos geopoliméricos referente à resistência a compressão simples aos 07 (sete) dias em função da sua matéria prima precursora, bem como do sistema de ativação alcalina utilizada (ativadores alcalinos a base de silicato de sódio ou potássio) e a presença ou não de água na sua composição e do regime de cura (22°C e 55°C).

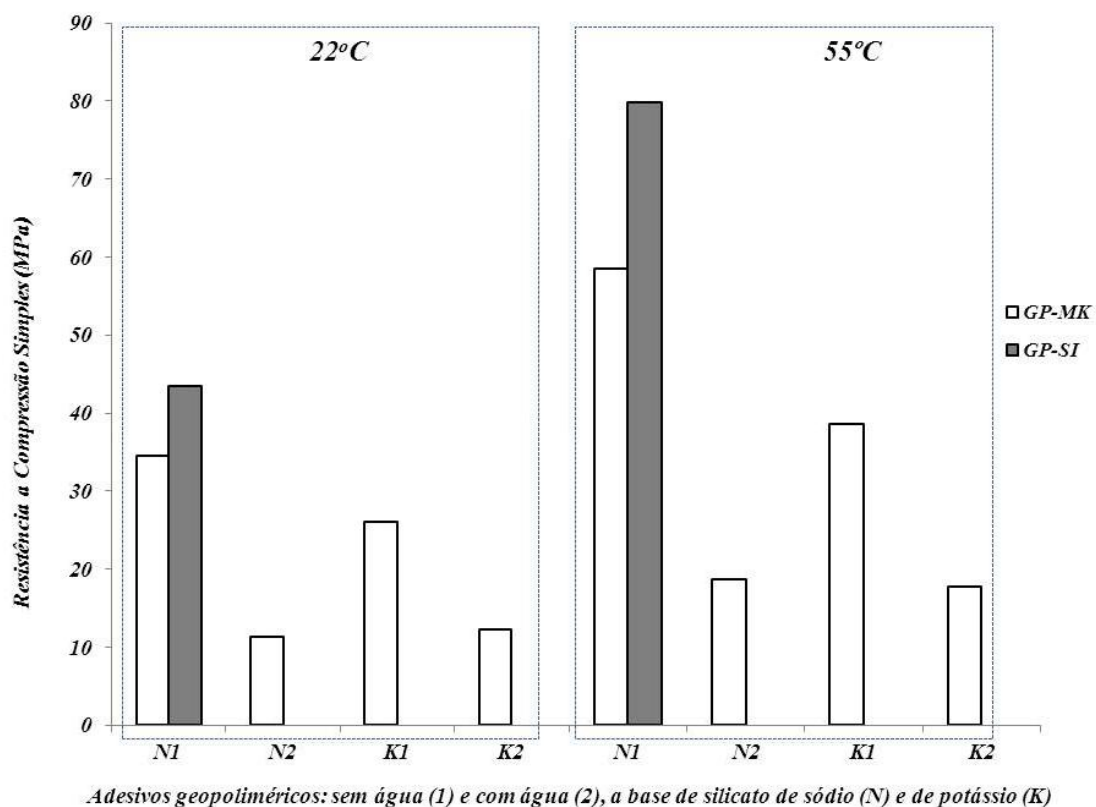


Figura 6.1: Resistência a Compressão Simples dos Adesivos Geopoliméricos curados a 22°C e 55°C.

Com pode ser observado pela Figura 6.1 e corroborado pela literatura, o tratamento térmico é um dos parâmetros importantes que influencia na síntese de geopolímeros (BAKAREV, 2005; BARBOSA e MACKENZIE, 2003a; DUXTON *et al.*, 2007) e, conseqüentemente, no seu desempenho mecânico. O efeito deste parâmetro pode ser observado nas figuras acima, onde se apresenta as correlações entre o tratamento térmico e a resistência à compressão simples dos adesivos geopoliméricos.

No regime de cura de 55°C, todos os adesivos apresentaram resistências superiores de quando curados a temperatura ambiente. Tanto nos adesivos sintetizados com e sem água, bem com qualquer um dos ativadores alcalinos (Silicato de Sódio – N, ou Silicato de Potássio – K).

Observa-se ainda que independente da temperatura (22°C ou 55°C) o adesivo geopolimérico GP-SI, apresentou as maiores resistências à compressão simples encontradas.

Quanto ao efeito da água na síntese dos adesivos geopoliméricos, pode-se observar que independente do regime de cura, o acréscimo de água na composição acarretou um decréscimo na resistência a compressão simples dos adesivos.

Quanto ao tipo de ativador alcalino utilizado nas sínteses, observa-se que o Silicato Sódio apresenta propriedades mais satisfatórias quando relacionadas à Resistência a Compressão Simples, quando comparado ao ativador Silicato de Potássio. Este efeito foi observado tanto no regime de cura a 22°C quanto a 55°C. Este fenômeno já foi observado na literatura para estudos com o precursor metacaulinita (DUXTON, 2007; DELLONX, 2009).

6.2 RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO - ENSAIO ABNT (NBR 14084)

6.2.1 Aspecto Visual

As Figuras 6.3 e 6.5 apresentam as peças antes do ensaio de arrancamento, segundo a ABNT, e após os mesmos para a argamassa colante e os adesivos geopoliméricos.



Figura 6.2: Porcelanatos Branco e Preto antes (superior) após ensaio da ABNT (inferior).



Figura 6.3: Porcelanatos colados com adesivo geopolimérico antes (superior esquerdo) e após ensaio da ABNT (superior direito e inferior esquerdo e direito).



Figura 6.4: Porcelanatos colados com argamassa colante.

Como pode ser observado pela Figura 6.3, o descolamento nas placas cerâmicas, tanto na cor branca quanto na preta, foi predominantemente adesivo, ou seja, o revestimento descolou e a cola permaneceu aderida ao substrato. Este tipo de descolamento ocorreu, principalmente, nos substratos submetidos à temperatura de 55°C. Rego (2008) em seus estudos observou que este fenômeno ocorre predominantemente nas fachadas em que a incidência da radiação solar é mais intensa, associada à cor escura em que o gradiente de temperatura é mais elevada.

Contudo, em alguns casos (ver figuras 6.4 inferior direita e esquerda e 6.5 esquerda) ocorreu o descolamento misto (adesivo /coesivo).

6.2.2 Resistência de Aderência à Tração

a) Resistência de Aderência à Tração com Argamassa Colante ACIII-E

A Resistência ao Arrancamento dos porcelanatos ensaiados aos 07 (sete) dias pode ser observada na Figura 6.6.

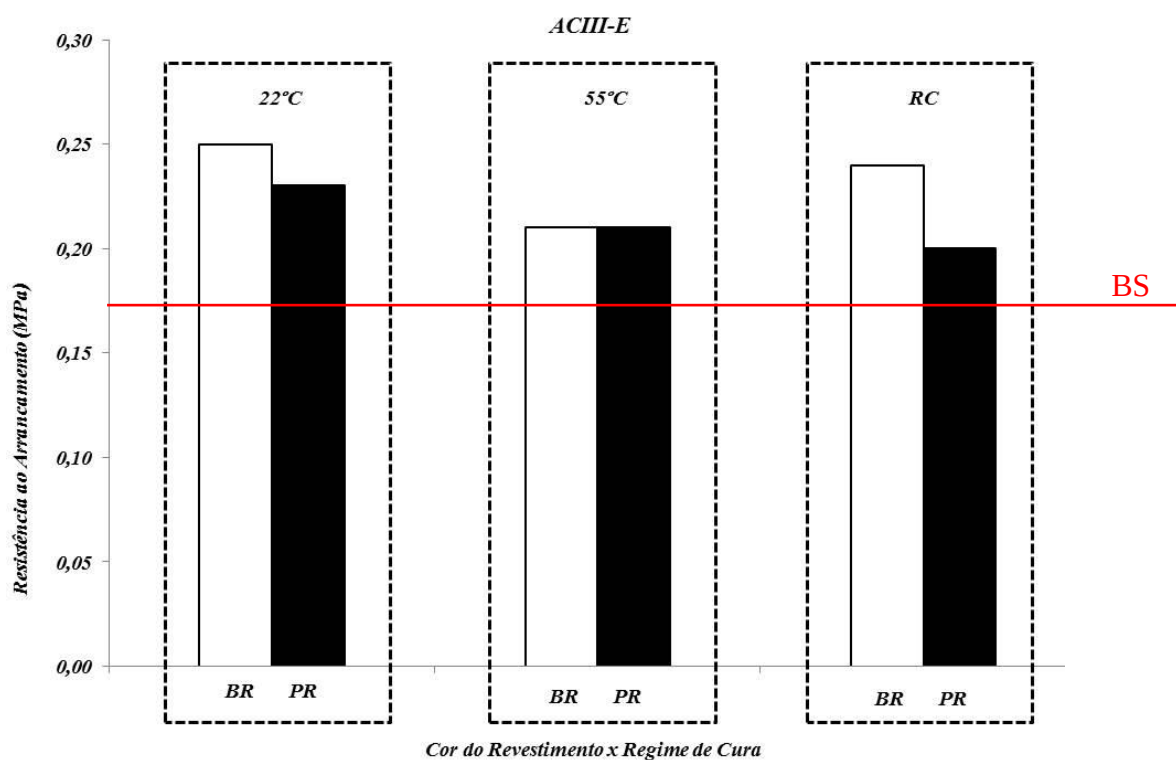


Figura 6.5: Resistência à Aderência dos Porcelanatos em função da cor do revestimento e do regime de cura submetido.

Como pode ser observado na Figura 6.6, o aumento de temperatura (de 22°C para 55°C) tem um efeito negativo na resistência à aderência dos porcelanatos. Pode-se observar ainda que a temperatura de 55°C o comportamento dos porcelanatos branco e preto são semelhantes. Contudo, quando submetidos ao regime cíclico (55°C/4hs + Chuva/5min) o porcelanato preto apresentou um efeito negativo mais acentuado quando comparado ao porcelanato branco.

Pode-se observar ainda que em nenhuma das condições o adesivo obteve resistências compatíveis com o preconizado pela norma brasileira (NBR 18081).

b) Resistência de Aderência à Tração com Adesivo Geopolimérico GP-MK

Como os geopolímeros são materiais que apresentam resistências consideráveis logo após as primeiras horas, foram ensaiados os porcelanatos aderidos aos substratos colados com os adesivos geopoliméricos sintetizados (GP-MK.N1, GP-MK.N2, GP-MK.K1 e GP-MK.K2) a 1, 3 e 7 dias. Em virtude de suas boas propriedades, os mesmos foram, ainda, submetidos a regime cíclico mais rigoroso (Chuva/4hs + 55°C/20hs).

As Resistências de Aderência à Tração dos porcelanatos colados com Silicato de Sódio (GP-MK.N1) ensaiados a 1, 3 e 7 dias submetidos aos regimes de cura de 22°C, 55°C e Cíclico (RC) podem ser observadas na Figura 6.6.

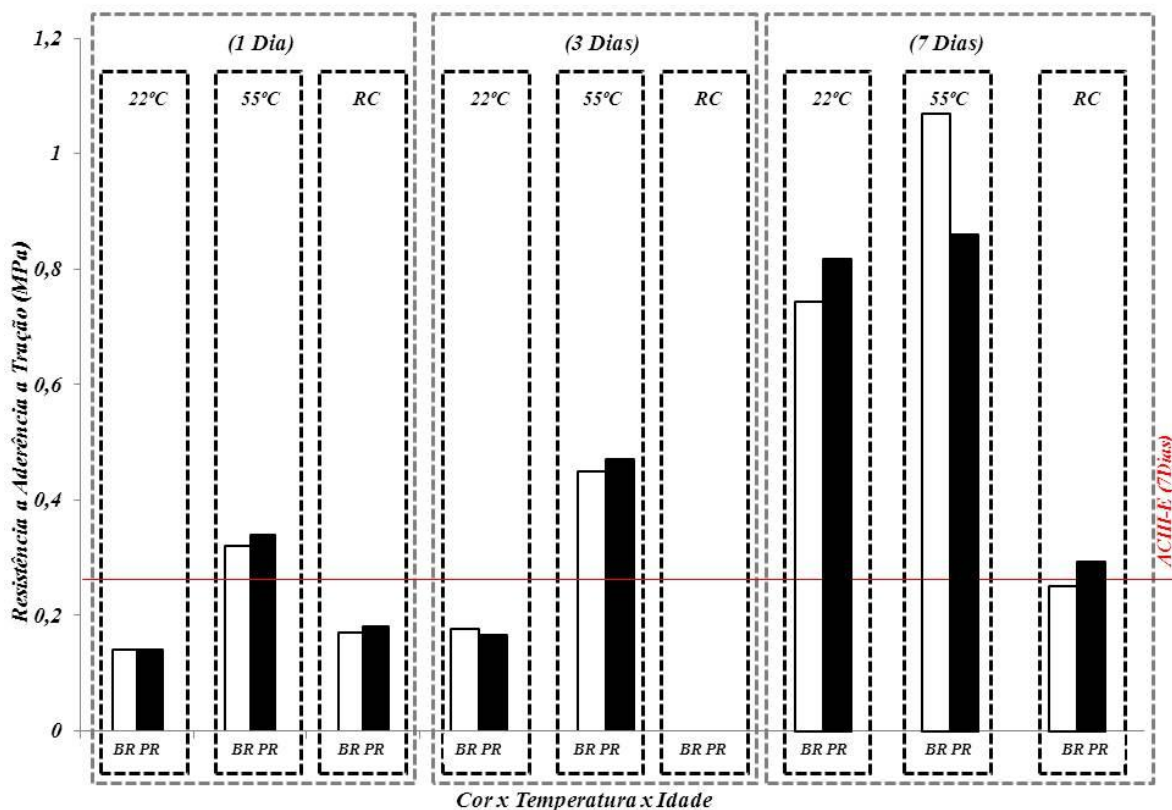


Figura 6.6: Resistência à Aderência à Tração dos Porcelanatos em função da cor do revestimento, do regime de cura e da Idade dos Sistemas colados com GP-MK.N1.

Como pode ser observado pela Figura 6.6 com o aumento do tempo todas as peças apresentaram maior resistência a aderência a tração, com exceção das peças ensaiadas no regime cíclico a 3 dias, onde todas descolaram. Isto pode ter ocorrido em função de colagem ineficiente.

Pode-se observar ainda que tanto em 1 quanto em 3 e 7 dias, o aumento da temperatura de 22°C para 55°C acarretou em aumento da resistência, tanto para as peças brancas quanto pretas.

Quando avaliadas de forma isoladas, de modo geral, os porcelanatos pretos coladas com GP-MK.N1 apresentaram maior resistência, quando comparadas com as peças

brancas. Isto ocorreu tanto para temperaturas mais elevadas (55°C) quanto para temperaturas mais amenas (22°C).

Quando combinados regime de cura submetido, com a quantidade de dias e a cor do porcelanato, observa-se que a maior resistência adesiva obtida foi pelo porcelanato branco submetido a 55°C a 7 dias com valores próximos de 1 MPa.

Pode-se observar ainda que para temperatura ambiente (22°C) o GP-MK.N1 aos 07 (sete) dias apresenta resistências superiores a da argamassa colante na mesma idade e com o fornecimento de temperatura (55°C) o GP-MK.N1, a partir de 01 (um) dia já, apresenta resistências superiores a da argamassa colante aos 07 (sete).

A Resistência de Aderência à Tração dos porcelanatos colados com Silicato de Sódio e água (GP-MK.N2) ensaiados a 1, 3 e 7 dias submetidos aos regimes de cura de 22°C, 55°C e Cíclico (RC) podem ser observadas nas Figura 6.7.

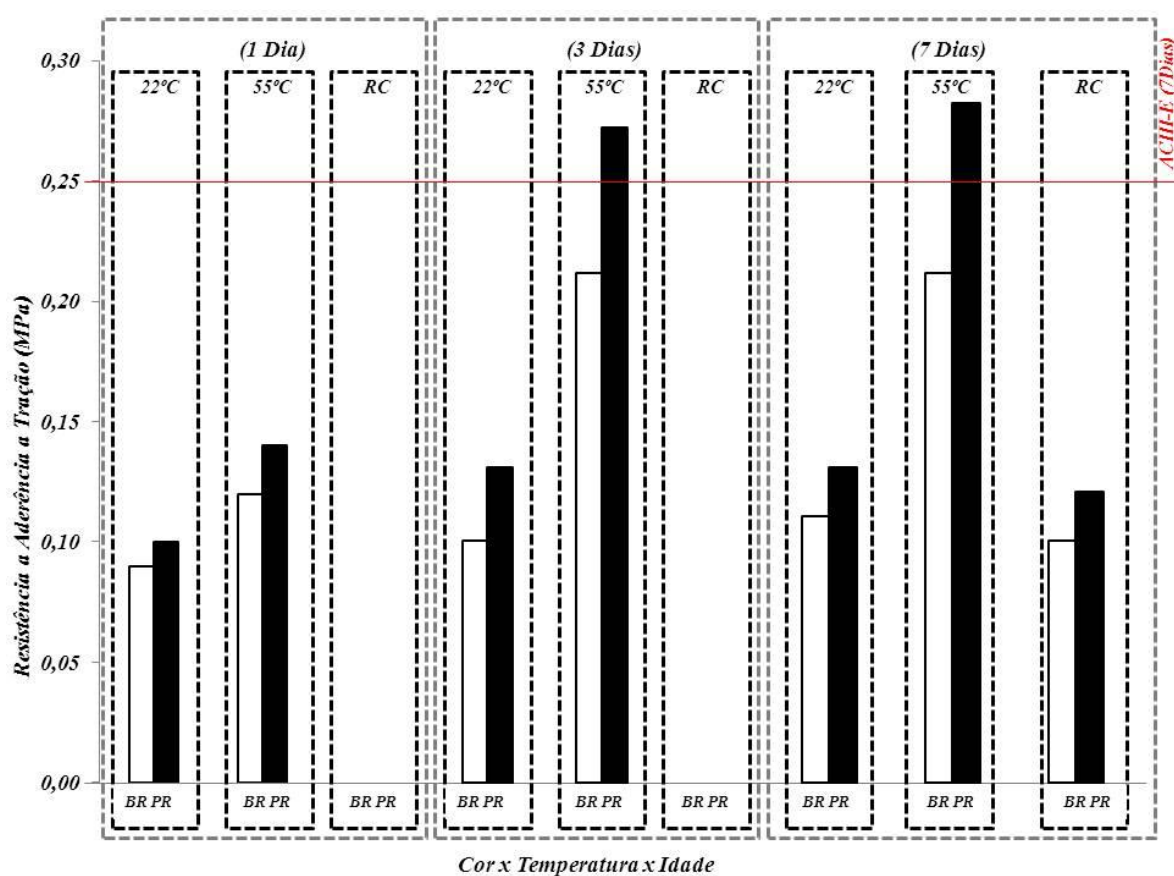


Figura 6.7: Resistência à Aderência à Tração dos Porcelanatos em função da cor do revestimento, do regime de cura e da Idade dos Sistemas colados com GP-MK.N2.

Como pode ser observado pela Figura 6.8 com o aumento do tempo todas as peças apresentaram maior resistência ao arrancamento, inclusive as peças ensaiadas no regime cíclico. Pode-se observar ainda que independente do tempo, o aumento da temperatura acarretou em aumento a resistência ao arrancamento tanto para as peças brancas quanto pretas, sendo que estas apresentaram sempre resistências superiores quando comparadas as brancas.

Pode-se observar ainda que o comportamento das peças brancas e pretas submetidas tanto a temperatura de 22°C quanto 55°C apresentaram comportamento semelhante tanto a 3 dias quanto a 7 dias.

Quando combinados regime de cura, idade e a cor do porcelanato, observa-se que a maior resistência adesiva obtida foi pelo porcelanato preto submetido a 55°C a 3 e 7 dias com valores próximos de 0,28 MPa.

Quando comparados as colagens realizadas com adesivo geopolimérico sintetizados sem (GP-MK.N1) e com (GP-MK.N2) água, observa-se que a mesma apresenta um efeito deletério na resistência ao arrancamento com uma redução de aproximadamente 70% na resistência.

Pode-se observar ainda que apenas para temperaturas mais elevadas o GP-MK.N2 aos 03 (três) e 07 (sete) dias, apresenta resistências superiores a da argamassa colante aos 07 (sete).

A Resistência de Aderência à Tração dos porcelanatos colados com Silicato de Potássio (GP-MK.K1) ensaiados a 1, 3 e 7 dias submetidos aos regimes de cura de 22°C, 55°C e Cíclico (RC) podem ser observadas na Figura 6.8.

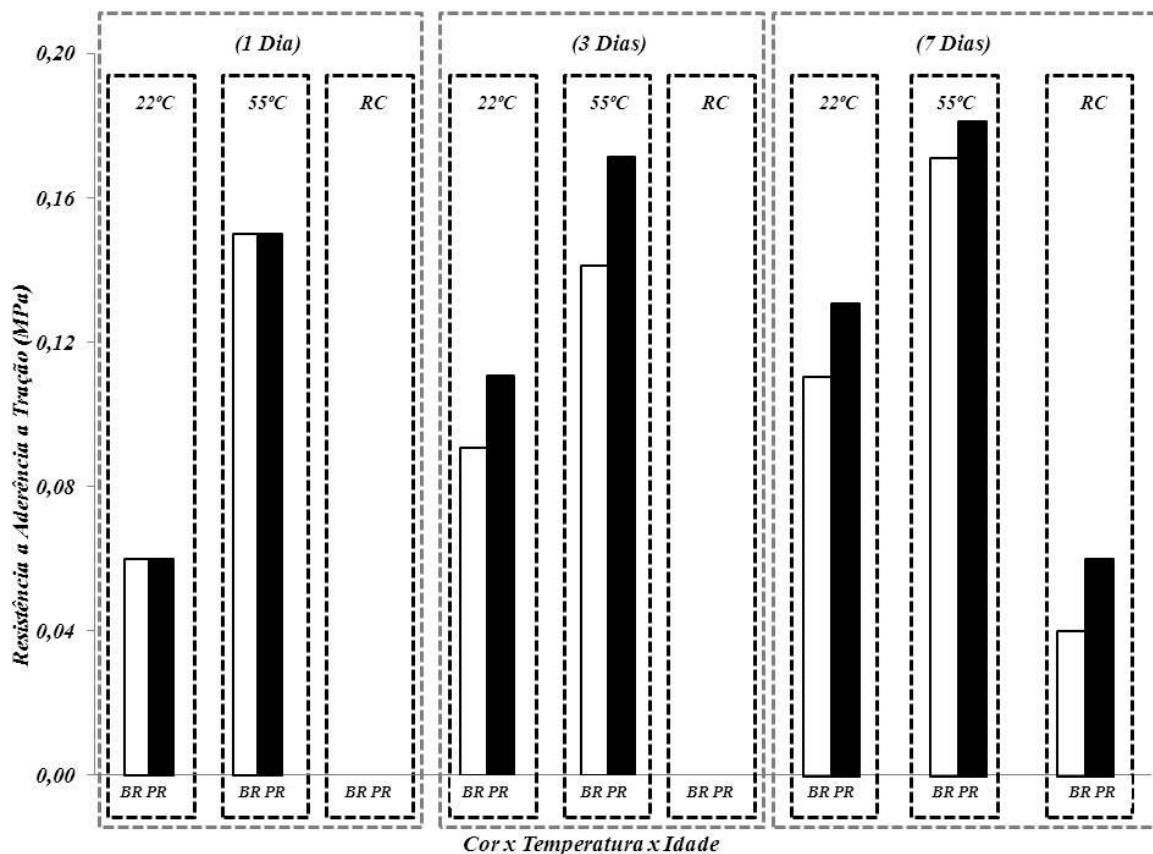


Figura 6.8: Resistência à Aderência à Tração dos Porcelanatos em função da cor do revestimento, do regime de cura e da Idade dos Sistemas colados com GP-MK.K1.

Como pode ser observado pela Figura 6.8 as peças brancas e pretas apresentaram o comportamento independente do regime de cura ao qual foram submetidas. Observa-se ainda que o aumento da temperatura acarrete um efeito positivo na resistência ao arrancamento de todas as peças.

Quando se leva em consideração a idade dos tratamentos (ver figura 6.8) observa-se que para o ativador silicato de potássio, a idade não tem um efeito tão significativo quando comparado com os adesivos sintetizados com silicato de sódio (ver figuras 6.6).

Observa-se ainda que, de modo geral, em todos os regimes de cura, bem como em todas as idades, as peças pretas apresentaram resistência ao arrancamento superiores quando comparadas com as peças brancas. Este fenômeno pode sugerir que para a colagem da peças pretas o ativador silicato de potássio apresenta resultados mais satisfatórios que para as peças brancas, podendo ainda esta síntese ser otimizada.

Quando combinados regime de cura, idade e a cor do porcelanato, observa-se que a maior resistência adesiva obtida foi pelo porcelanato preto submetido a 55°C a 3 e 7 dias com valores próximos de 0,20 MPa.

A Resistência de Aderência à Tração dos porcelanatos colados com Silicato de Potássio com água (GP-MK.K2) ensaiados a 1, 3 e 7 dias submetidos aos regimes de cura de 22°C, 55°C e Cíclico (RC) podem ser observadas na Figura 6.9.

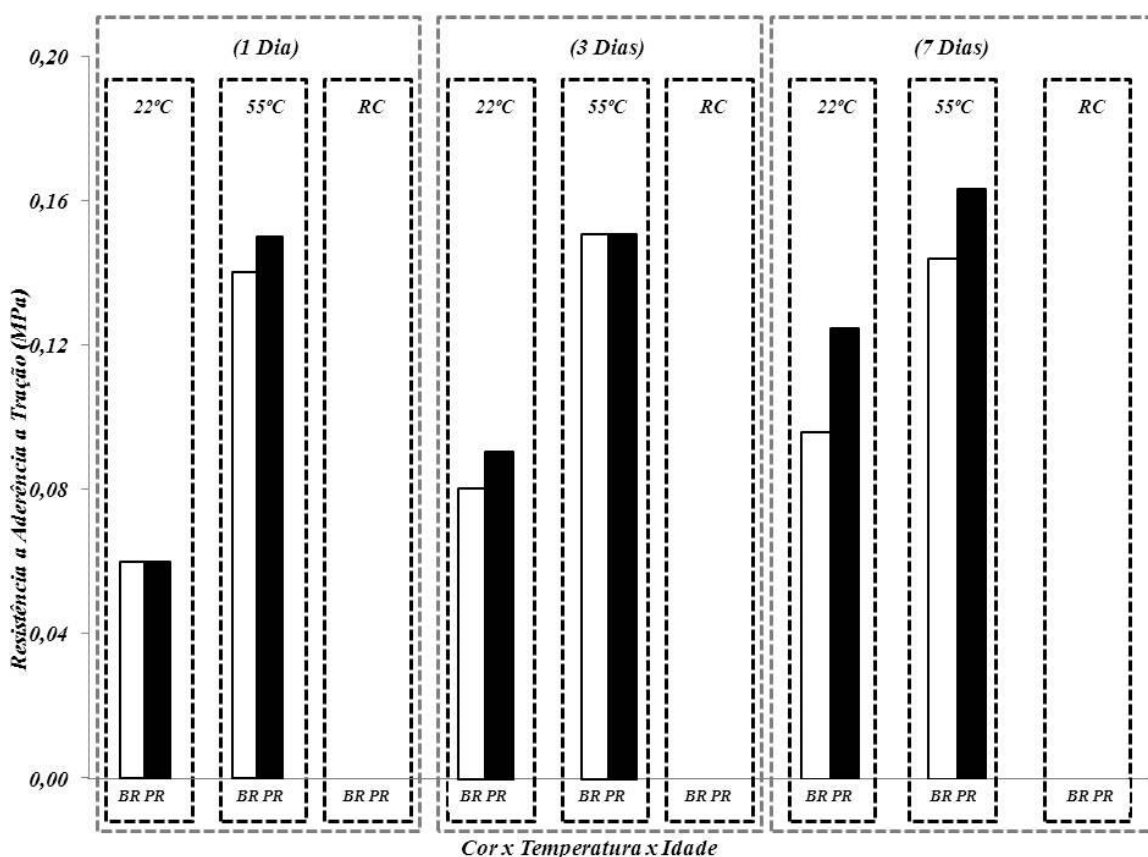


Figura 6.9: Resistência à Aderência ensaiado a 1 Dia dos Porcelanatos em função da cor do revestimento e do regime de cura submetido colados com GP-MK.K2.

Como pode ser observado pelas Figuras 6.8 (adesivo sintetizado com silicato de potássio sem água) e 6.9 (adesivo sintetizado com silicato de potássio com água) a adição de água na síntese do adesivo geopolimérico não apresentou um efeito negativo tão significativo quando comparado aos adesivos sintetizados com silicato de sódio (ver figuras de 6.6 e 6.8) independente da idade.

Quando se leva em consideração o regime cíclico de cura, observa-se que a adição de água na síntese do adesivo não favoreceu a colagem das peças, visto que todas descolaram do substrato quando submetidas a esse regime.

Pode ser observado ainda que o aumento da temperatura (de 22°C para 55°C) acarretou diretamente em aumento da resistência ao arrancamento, tanto nas peças brancas quanto pretas.

Quanto ao aumento do tempo, observa-se que o mesmo não se apresentou significante para a resistência ao arrancamento, visto que as mesmas apresentaram-se basicamente constante. Isto pode evidenciar que para a ativação com silicato de potássio e água, os mesmos apresentam sua resistência quase que total logo nas primeiras idades.

Pode-se observar ainda que as peças pretas submetidas a colagem como esse tipo de adesivo (GP-MK.K2) apresentam maior resistência quando comparados com as peças brancas.

c) Resistência de Aderência à Tração com Adesivo Geopolimérico GP-SI

Como os geopolímeros são materiais que apresentam suas propriedades mecânicas relacionadas com a matéria-prima precursora, realizou-se a síntese de adesivos geopoliméricos a base de solo intemperizado ativado com silicato de sódio (GP-SI.N1) submetido aos regimes de cura de 22°C e 55°C a 1, 3 e 7 dias, com o objetivo de avaliar o comportamento desse adesivo frente aos adesivos a base de metacaulinita (geopolímero tradicional).

A Figura 6.10 apresenta a Resistência ao Arrancamento dos porcelanatos colados com Silicato de Sódio (GP-MK.N1) ensaiados a 1, 3 e 7 dias submetidos a regimes de cura de 22°C e 55°C.

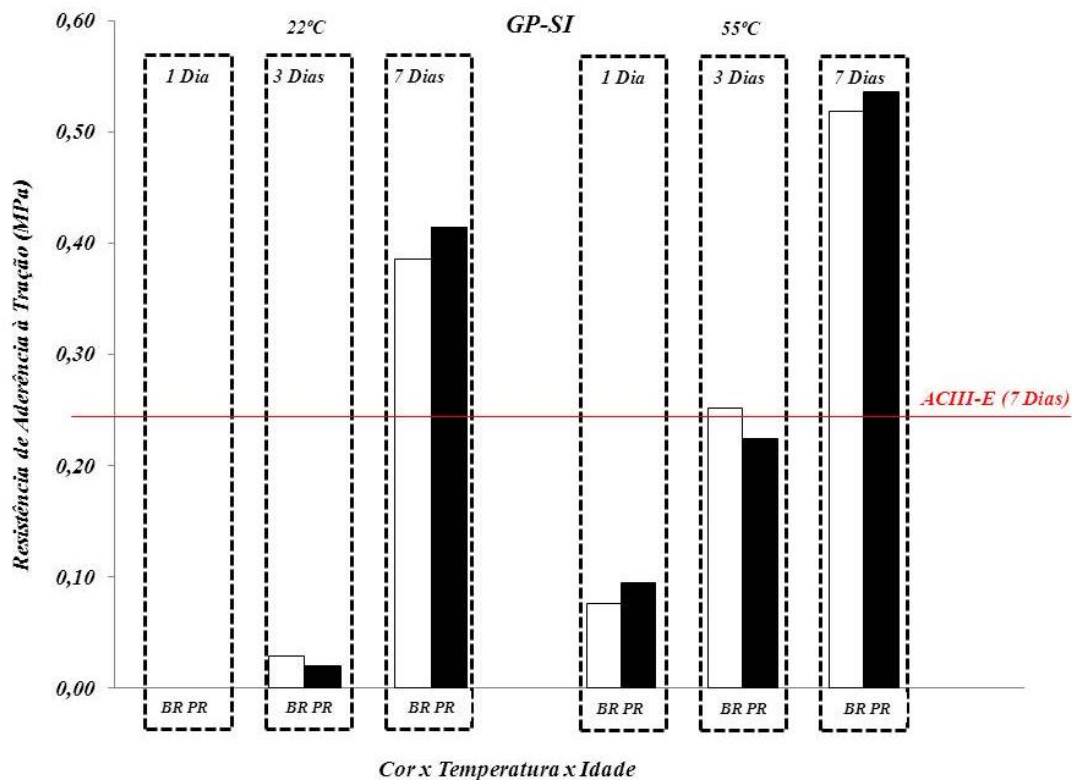


Figura 6.10: Resistência à Aderência dos Porcelanatos colados com adesivo geopolimérico a base de solo intemperizado (GP-SI.N1) em função da cor do revestimento, do regime de cura submetido e da idade.

Como pode ser observado pela Figura 6.10 com o aumento da idade bem como com o aumento da temperatura todas as peças apresentaram maior resistência ao arrancamento.

De forma semelhante ao GP-MK.N1, quando avaliadas de forma isoladas, de modo geral, os porcelanatos pretos apresentaram maior resistência, quando comparadas com as peças brancas. Isto ocorreu tanto para temperaturas mais amenas (22°C) quanto para temperaturas mais elevadas (55°C).

Quando combinados regime de cura submetido, com a quantidade de dias e a cor do porcelanato, observa-se que a maior resistência adesiva obtida foi pelo porcelanato preto submetido a 55°C a 7 dias com valores próximos de 0,55 MPa.

Quando comparado ao adesivo a base de metacaulinita (GP-MK.N1) sintetizado nas mesmas condições (com silicato de sódio sem água) o adesivo a base de solo (GP-SI.N1) submetido a temperatura ambiente (22°C) apresentou resistência ao arrancamento sempre inferiores ao GP-MK.N1. Este efeito também foi observado para o material submetido a temperaturas mais elevadas (55°C). Porém quando comparados aos resultados

obtidos pela argamassa colante ACIII-E em todos os regimes de cura (22°C e 55°C) o adesivo GP-SI.N1 apresentou resistências ao arrancamento mais elevada.

Este fenômeno pode indicar que a formulação (razões molares) utilizada na síntese do adesivo a base de solo intemperizado, ainda necessita de mais estudos para a sua otimização frente ao adesivos a base de metacaulinita e que apresentam resultados satisfatórios quando comparados as das argamassas tradicionais.

CAPITULO VII

7. EFEITO DA ENERGIA DE MISTURA (MANUAL OU MECÂNICA) NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

Um dos parâmetros importantes para as propriedades mecânicas dos geopolímeros sintetizados é o tipo de mistura utilizada na sua síntese. Com o objetivo de avaliar o efeito da mistura nos adesivos geopoliméricos aplicou-se a mistura manual e mecânica na síntese de adesivos geopoliméricos de metacaulinita sintetizados com silicato de sódio e potássio (ambos sem água).

A mistura manual foi realizada por 10 minutos. As misturas mecânicas foram realizadas em misturador industrial com velocidade controlada por 2 minutos. As Figuras 7.1 a 7.3 apresentam o efeito da mistura em função das idades para os adesivos sintetizados com silicato de sódio e as figuras 7.4 a 7.6 apresentam o efeito da mistura em função das idades para os adesivos sintetizados com silicato de potássio.

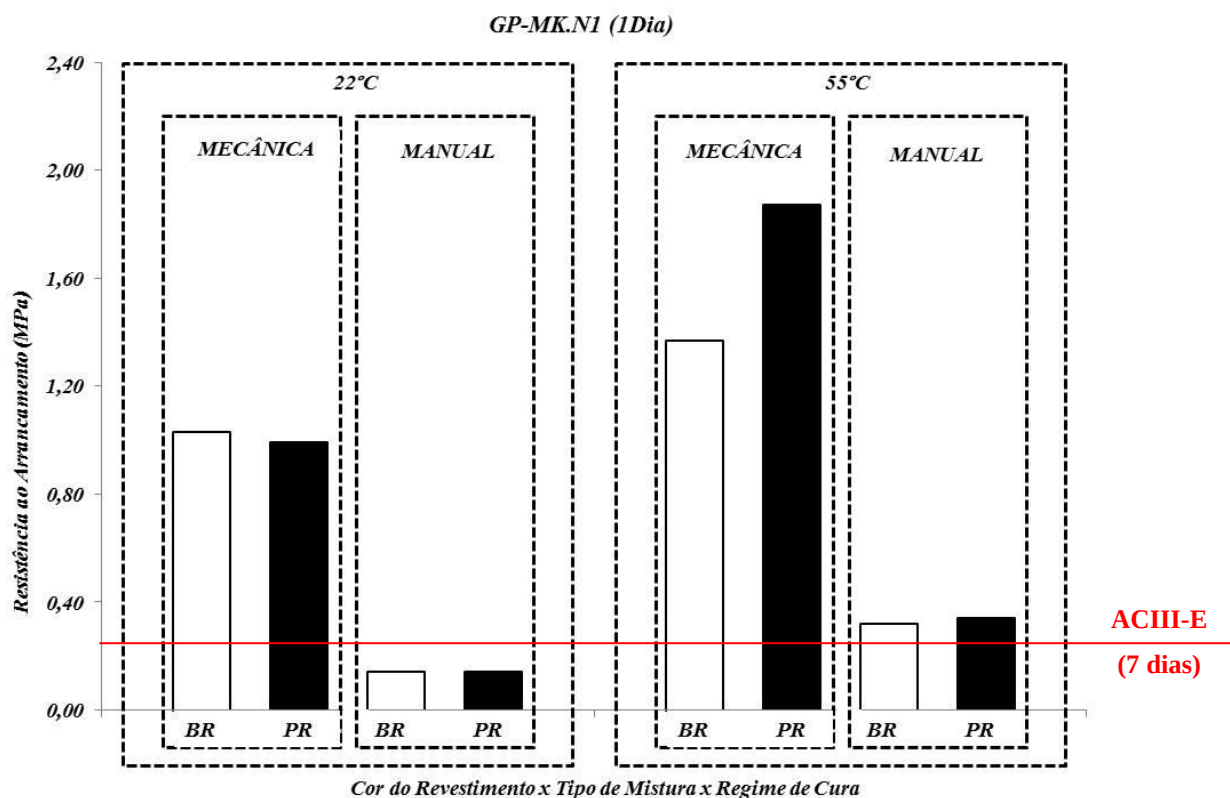


Figura 7.1: Resistência a Aderência dos Porcelanatos colados com adesivo geopolimérico a base de metacaulinita e silicato de sódio (GP-MK.N1) a 1 dia em função do tipo de mistura.

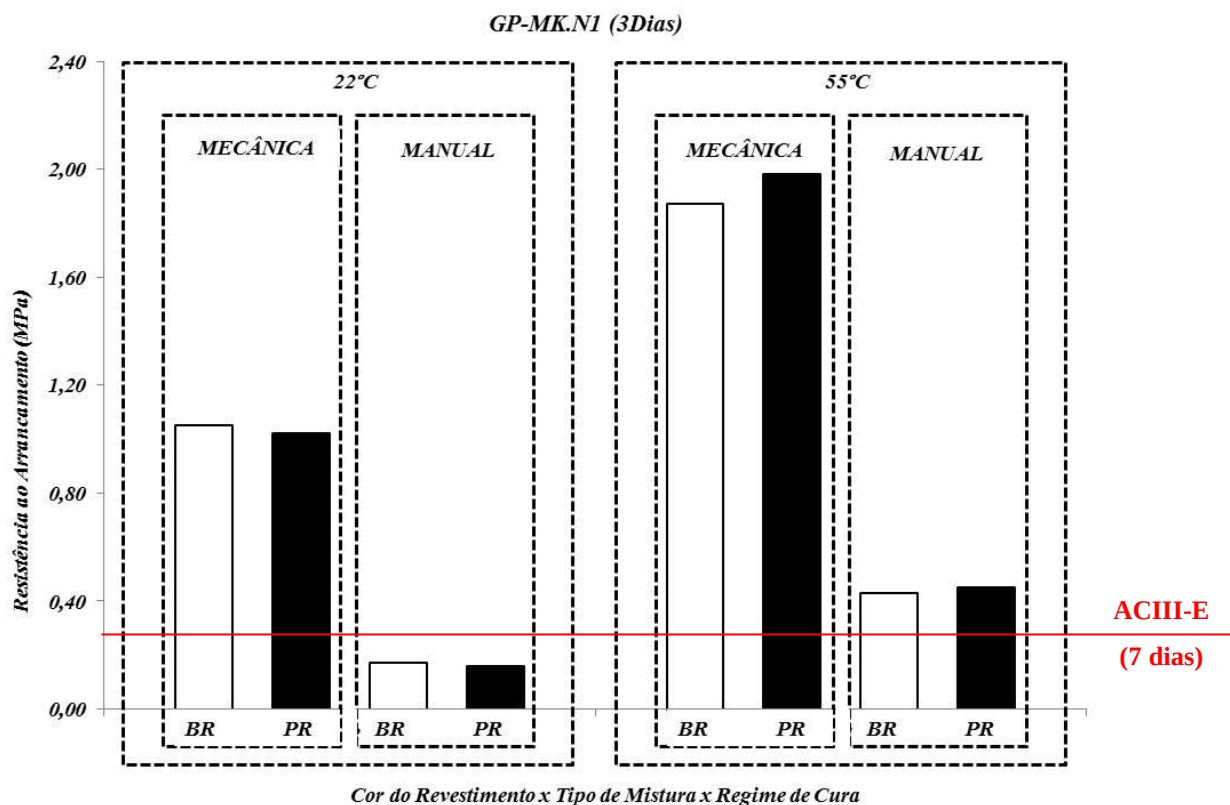


Figura 7.2: Resistência a Aderência dos Porcelanatos colados com adesivo geopolimérico a base de metacaulinita e silicato de sódio (GP-MK.N1) a 3 dias em função do tipo de mistura.

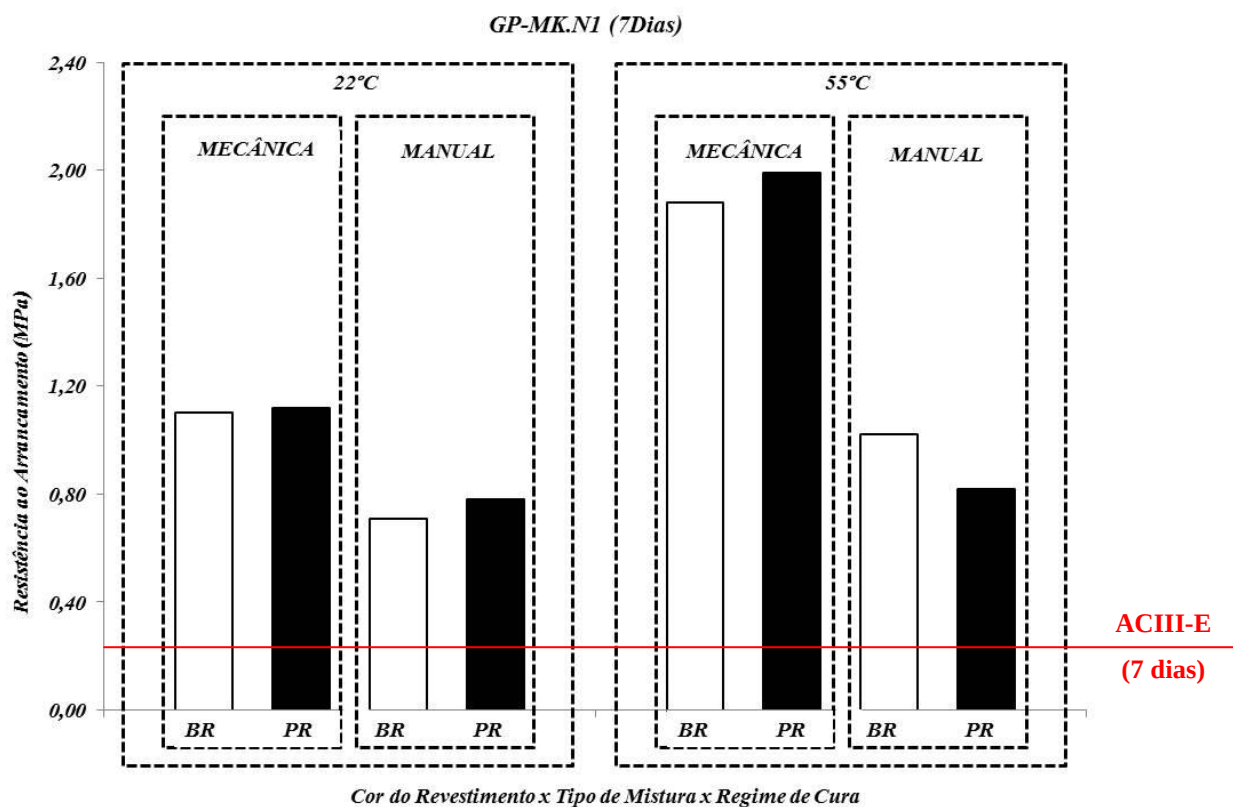


Figura 7.3: Resistência a Aderência dos Porcelanatos colados com adesivo geopolimérico a base de metacaulinita e silicato de sódio (GP-MK.N1) a 7 dias em função do tipo de mistura.

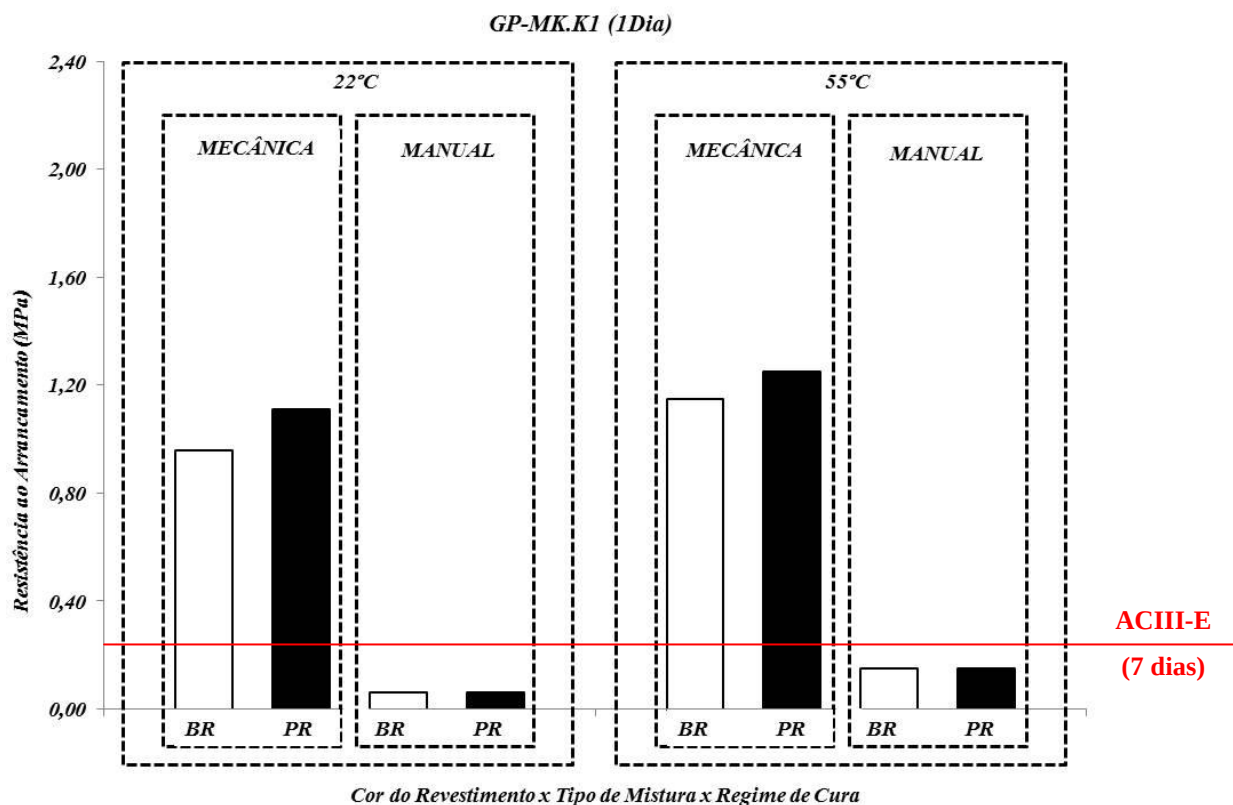


Figura 7.4: Resistência a Aderência dos Porcelanatos colados com adesivo geopolimérico a base de metacaulinita e silicato de potássio (GP-MK.K1) a 1 dia em função do tipo de mistura.

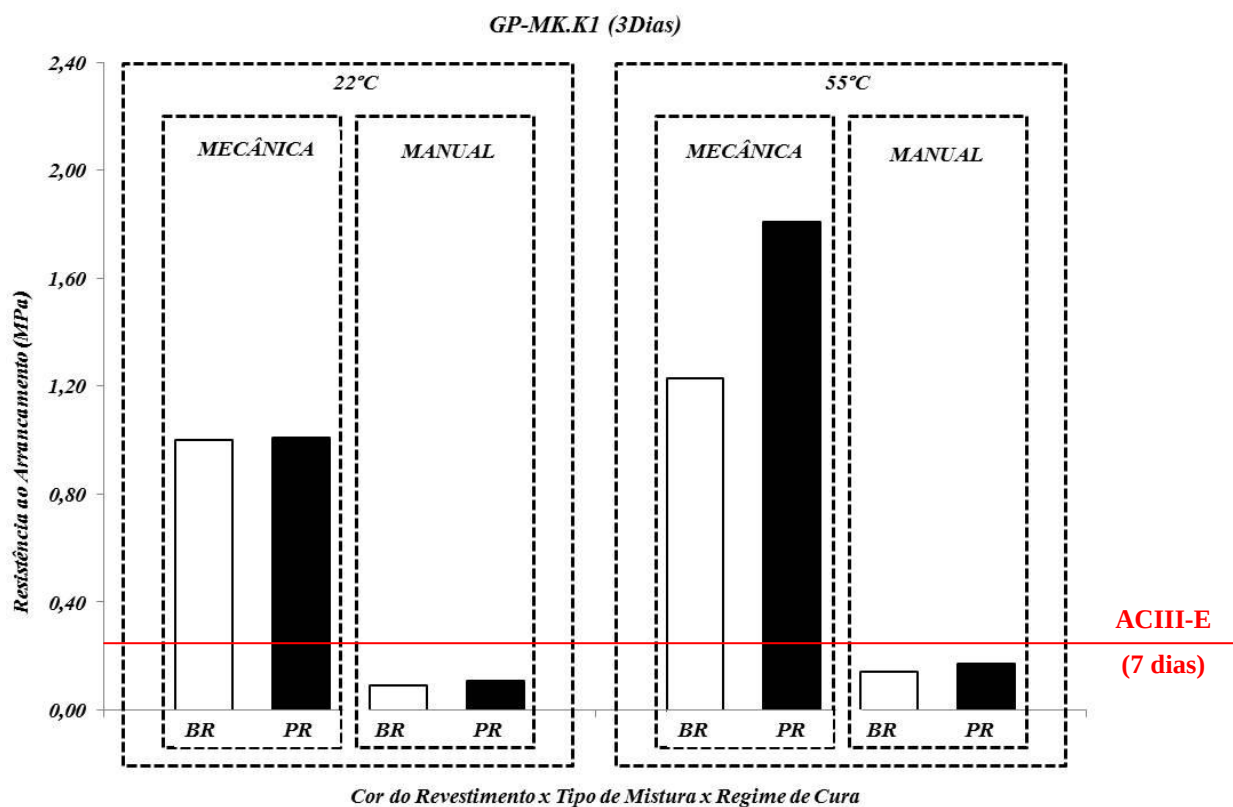


Figura 7.5: Resistência a Aderência dos Porcelanatos colados com adesivo geopolimérico a base de metacaulinita e silicato de potássio (GP-MK. K1) a 3 dias em função do tipo de mistura.

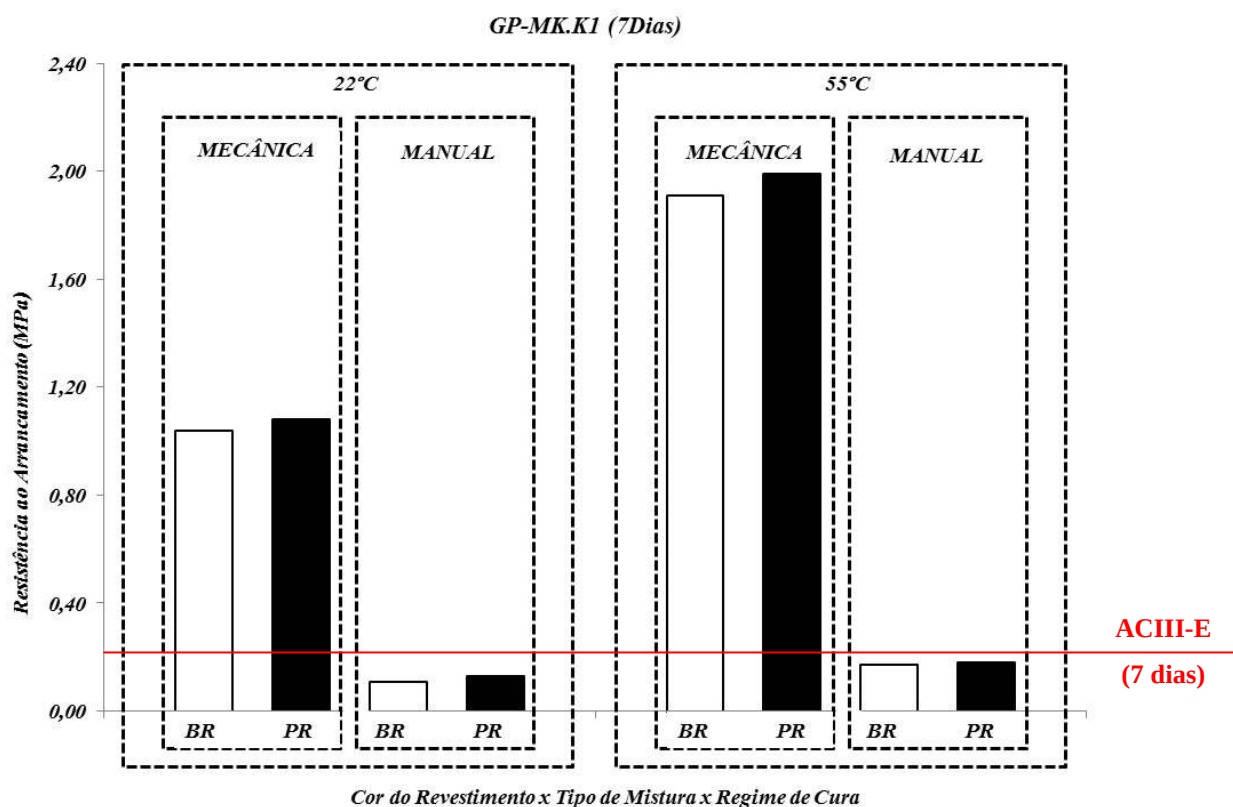


Figura 7.6: Resistência a Aderência dos Porcelanatos colados com adesivo geopolimérico a base de metacaulinita e silicato de potássio (GP-MK. K1) a 7 dias em função do tipo de mistura.

Como pode ser observado pelas figuras 7.1 a 7.6 o tipo de mistura tem um efeito importante nas propriedades mecânicas, principalmente as relacionadas à adesão. Quando comparadas as misturas mecânica e manual, observa-se que a mistura mecânica possibilitou um incremento na resistência a aderência de mais de 100% em todos os adesivos geopoliméricos sintetizados (com silicato de sódio ou potássio) em todas as idades tanto em temperaturas amenas (22°C) quanto em temperaturas elevadas (55°C).

Pode-se observar ainda que o efeito da mistura foi mais significativo nos adesivos ativados com silicato de sódio nas idades de 1 e 3 dias quando comparados a idade de 7 dias. Quando comparados o tipo de mistura em função do tipo de ativador utilizado observa-se que a mistura mecânica tem um efeito mais significativo nos adesivos sintetizados com silicato de potássio quando comparados com os a base de sódio.

CAPITULO VIII

8. INFLUÊNCIA DOS PARÂMENTROS NA RESISTÊNCIA A ADERÊNCIA: ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIÁVEL

A Tabela 8.1 mostra os parâmetros estatísticos selecionados para avaliação da Resistência à Aderência: Cor dos Porcelanatos, Regime de Cura, Tipo de Adesivo, Idade dos corpos de prova e Tipo (Energia) de mistura.

Tabela 8.1: Parâmetros estatísticos avaliados na Resistência a Aderência.

<i>Parâmetros</i>	<i>Valores</i>
Cor dos Porcelanatos	Branco (-1) e Preto (1)
Regime de Cura (°C)	22°C (-1), 55°C (0) e Cíclico (1)
Tipo de Adesivo	ACIII-E (-3), GP-MK.N1 (-2), GP-MK.N2 (-1), GP-MK.K1 (1), GP-MK.K2 (2) e GP-SI.N1 (3)
Idade (dias)	1, 3 e 7
Tipo de Mistura	Manual (-1) e Mecânica (1)

Como podem ser observados pela Tabela 8.1 os parâmetros avaliados na Resistência à Aderência não são abordados pelas normas específicas brasileiras, nem pelas internacionais. Como foi observado pelos nos capítulos 5, 6 e 7, estes parâmetros foram fundamentais para a elucidação do comportamento da resistência a aderência. Desta forma, uma análise estatística do efeito de cada parâmetro na resistência a aderência é de suma importância.

A Tabela 8.2 mostra uma análise estatística multivariável de alguns parâmetros selecionados avaliados de forma isolada e combinada 2 a 2, 3 a 3 e múltiplos parâmetros.

Tabela 8.2: Parâmetros estatísticos avaliados na Resistência a Aderência.

Parâmetros Isolados	Valor	Erro Exp.	t-Value	Prob> t 	R²
Cor	0,018	0,026	0,67	0,503	0,001
Cura	-0,127	0,034	-3,766	0,000	0,03
Adesivo	-0,075	0,014	-5,451	0,000	0,06
Idade	0,029	0,010	2,798	0,005	0,02
Mistura	0,598	0,015	39,403	0,000	0,78
Parâmetros Combinados (2 Fatores)	Valor	Erro Exp.	t-Value	Prob> t 	R²
Cor x Cura	0,018	0,026	0,680	0,497	0,03
Cura x Adesivo	0,410	0,026	16,067	0,000	0,10
Cura x Mistura	0,774	0,016	48,732	0,000	0,78
Adesivo x Mistura	0,764	0,015	51,476	0,000	0,79
Parâmetros Combinados (3 Fatores)	Valor	Erro Exp.	t-Value	Prob> t 	R²
Cura x Adesivo x Mistura	0,768	0,016	49,273	0,000	0,79
Cura x Adesivo x Cor	0,410	0,026	16,058	0,000	0,09
Cura x Adesivo x Idade	0,317	0,045	6,992	0,000	0,11
Parâmetros Combinados (Múltiplos Fatores)	Valor	Erro Exp.	t-Value	Prob> t 	R²
Força	0,648	0,023	28,685	0,000	0,81
Cor	0,018	0,012	1,527	0,127	
Cura	0,014	0,016	0,906	0,365	
Adesivo	-0,027	0,006	-4,226	0,000	
Idade	0,032	0,005	7,063	0,000	
Mistura	0,594	0,015	40,333	0,000	
<i>F(5,4)calc</i>					377,68
<i>F(5,4) tab</i>					0,00

Como pode ser observado pela Tabela 8.2 os parâmetros avaliados isoladamente não apresentam significância estatística na Resistência a Aderência, com exceção do tipo de mistura que apresentou um grau de confiabilidade de 78% ($R^2=0,78$). Quando combinados 2 a 2 observou-se que Cura x Mistura e Adesivo x Mistura apresentaram relevâncias significativas com $R^2=0,78$ e $R^2=0,79$, respectivamente. Quando avaliados uma combinação de múltiplos fatores (cor, cura, adesivo, idade e mistura) apresentaram uma maior significância estatística, quando comparados aos parâmetros isolados, com confiabilidade na ordem de 81% ($R^2=0,81$ e $F_{5,4calc}=377,68 > F_{5,4tab}=0,0$).

Contudo, de modo geral, pode-se observar que o parâmetro *mistura* (energia de mistura) é que se mostrou mais significativo, visto todos os demais parâmetros,

combinados dois a dois ou combinações múltiplas, só serem significativos quando em combinação com o parâmetro *mistura*.

Quando avaliados os parâmetros qualitativos e quantitativos, observa-se que o parâmetro *Cor* (branco (-1) e preto (1)) é um parâmetro qualitativo e os porcelanatos apresentam um parâmetro quantitativo que está relacionado com as propriedades físicas de rugosidade superficial das placas cerâmicas que são diferentes em função da cor (R_a , R_q e R_z são parâmetros específicos de rugosidade para as placas brancas e pretas).

As superfícies reais não são perfeitamente lisas, apresentando pequenas irregularidades ao longo das suas dimensões, apresentando um padrão regular ou irregular, como consequência dos processos de produção, tratamento ou equipamento utilizados. Palma (2006) define a rugosidade superficial como um conjunto de irregularidades causadas no processo de fabricação ou tratamento ou ainda pela repetição de ondas de comprimento semelhantes a sua amplitude. No Brasil os estudos de rugosidade estão definidos pela norma BNR 4287/2002.

Os principais parâmetros de rugosidade avaliados são o R_a , R_z e R_q . O R_a é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas (y_i) dos pontos do perfil em relação a uma linha média. R_z é a média aritmética dos cinco valores da rugosidade parcial (z_i). R_q é definido como a raiz quadrada da média dos quadrados das ordenadas de afastamentos z_i , ou seja, é o desvio médio quadrático. As figuras 8.1 e 8.2 apresentam o R_a e R_z .

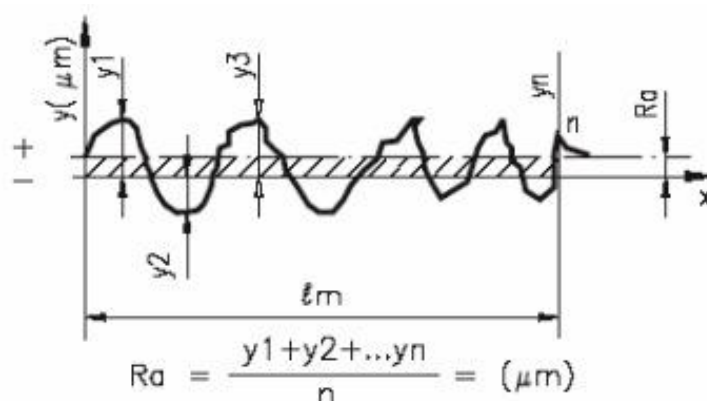


Figura 8.1: Visão esquemática do R_a .

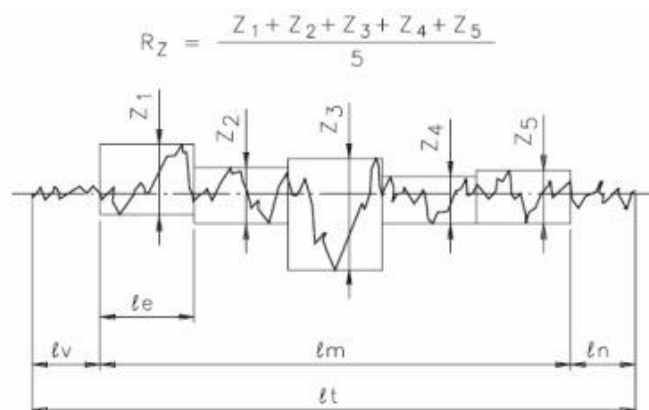


Figura 8.2: Visão esquemática do R_z .

A Tabela 8.3 mostra os parâmetros estatísticos selecionados para avaliação da Resistência à Aderência: Rugosidade dos Porcelanatos, Regime de Cura, Tipo de Adesivo, Idade dos corpos de prova e Tipo (Energia) de mistura.

Tabela 8.3: Parâmetros estatísticos avaliados na Resistência a Aderência.

<i>Parâmetros</i>	<i>Valores</i>
Rugosidades	Ra (Branco-7,66/Preto-8,15) Rz (Branco-39,23/Preto-39,67) Rq (Branco-10,97/Preto-10,47)
Regime de Cura (°C)	22°C (-1), 55°C (0) e Cíclico (1)
Tipo de Adesivo	ACIII-E (-3), GP-MK.N1 (-2), GP-MK.N2 (-1), GP-MK.K1 (1), GP-MK.K2 (2) e GP-SI.N1 (3)
Idade (dias)	1, 3 e 7
Tipo de Mistura	Manual (-1) e Mecânica (1)

A Tabela 8.4 mostra uma análise estatística multivariável de alguns parâmetros selecionados avaliados de forma isolada e combinada 2 a 2, 3 a 3 e múltiplos parâmetros, substituindo a cor pelos parâmetros de rugosidade.

Tabela 8.4: Parâmetros estatísticos avaliados na Resistência a Aderência com parâmetros de rugosidade

<i>Parâmetros Isolados</i>	<i>Valor</i>	<i>Erro Exp.</i>	<i>t-Value</i>	<i>Prob> t </i>	<i>R²</i>
Ra	0,090	0,135	0,670	0,503	0,001
Rz	0,080	0,119	0,670	0,503	0,001
Rq	-0,070	0,105	-0,670	0,503	0,001
Cura	-0,127	0,034	-3,766	0,000	0,03
Adesivo	-0,075	0,014	-5,451	0,000	0,06
Idade	0,029	0,010	2,798	0,005	0,02
Mistura	0,598	0,015	39,403	0,000	0,78

Parâmetros Combinados (2 Fatores)	Valor	Erro Exp.	t-Value	Prob> t 	R²
Ra x Cura	-0,313	1,057	-0,296	0,767	0,03
Rz x Cura	-2,751	4,644	-0,592	0,554	0,03
Rq x Cura	1,160	1,111	1,044	0,297	0,03
Ra x Adesivo	-0,286	1,039	-0,275	0,784	0,06
Rz x Adesivo	-2,723	4,568	-0,596	0,551	0,06
Rq x Adesivo	1,187	1,093	1,086	0,278	0,06
Cura x Adesivo	0,410	0,026	16,067	0,000	0,10
Cura x Mistura	0,774	0,016	48,732	0,000	0,78
Adesivo x Mistura	0,764	0,015	51,476	0,000	0,79
Parâmetros Combinados (3 Fatores)	Valor	Erro Exp.	t-Value	Prob> t 	R²
Cura x Adesivo x Mistura	0,768	0,016	49,273	0,000	0,79
Cura x Adesivo x Ra	-0,308	1,020	-0,302	0,763	0,09
Cura x Adesivo x Rz	-2,745	4,482	-0,612	0,541	0,09
Cura x Adesivo x Rq	1,165	1,072	1,087	0,278	0,09
Cura x Adesivo x Idade	0,317	0,045	6,992	0,000	0,11
Parâmetros Combinados (Múltiplos Fatores)	Valor	Erro Exp.	t-Value	Prob> t 	R²
Força	-0,070	0,471	-0,149	0,882	0,81
Ra	0,090	0,059	1,527	0,127	
Cura	0,014	0,016	0,906	0,365	
Adesivo	-0,027	0,006	-4,226	0,000	
Idade	0,032	0,005	7,063	0,000	
Mistura	0,594	0,015	40,333	0,000	
				<i>F(5,4)calc</i>	377,68
				<i>F(5,4) tab</i>	0
Parâmetros Combinados (Múltiplos Fatores)	Valor	Erro Exp.	t-Value	Prob> t 	R²
Força	-2,508	2,066	-1,214	0,225	0,81
Rz	0,080	0,052	1,527	0,127	
Cura	0,014	0,016	0,906	0,365	
Adesivo	-0,027	0,006	-4,226	0,000	
Idade	0,032	0,005	7,063	0,000	
Mistura	0,594	0,015	40,333	0,000	
				<i>F(5,4)calc</i>	377,68
				<i>F(5,4) tab</i>	0

Parâmetros Combinados (Múltiplos Fatores)	Valor	Erro Exp.	t-Value	Prob> t 	R²
Força	1,402	0,495	2,836	0,005	0,81
Rq	-0,070	0,046	-1,527	0,127	
Cura	0,014	0,016	0,906	0,365	
Adesivo	-0,027	0,006	-4,226	0,000	
Idade	0,032	0,005	7,063	0,000	
Mistura	0,594	0,015	40,333	0,000	
				<i>F(5,4)calc</i>	377,68
				<i>F(5,4) tab</i>	0

Como pode ser observado pela Tabela 8.3 os parâmetros avaliados isoladamente não apresentam significância estatística na Resistência a Aderência, com exceção do parâmetro *Mistura* que apresentou grau de confiabilidade em torno 78% ($R^2=0,78$) de forma semelhante quando se avaliou o parâmetro *Cor* (Tabela 8.2).

Quando combinados dois a dois observou-se que a rugosidade apresenta uma relação mais direta com o adesivo quando comparados com a cura. Quando avaliados uma combinação de múltiplos fatores (Ra ou Rz ou Rq, cura, adesivo, idade e mistura) apresentaram uma maior significância estatística, quando comparados aos parâmetros isolados, com confiabilidade na ordem de 81% ($R^2=0,81$ e $F_{5,4calc}=377,68 > F_{5,4tab}=0,0$).

De modo semelhante a Tabela 8.2, pode-se observar na Tabela 8.3 que o parâmetro *Mistura* é que se mostrou mais significativo, visto todos os demais parâmetros, combinados dois a dois ou combinações múltiplas, só serem significativos quando em combinação com o mesmo. Contudo, observa-se que os parâmetros quantitativos acarretam em resoluções mais satisfatórias quando comparados aos parâmetros qualitativos.

Estes resultados podem evidenciar que o mecanismo de aderência pode está mais relacionado a mecanismos físicos e químicos de adesão, visto que a maior porosidade e absorção das brancas favorecem a ancoragem mecânica, sendo afetada pela reologia do adesivo. De modo semelhante, quando se trata da viscosidade dos adesivos, o geopolímero apresenta maior viscosidade quando comparado com a ACIII-E, gerando diferenças na aderência, maior no porcelanato de cor branca do que no de cor preta.

CAPITULO IX

9. CONCLUSÃO

O presente trabalho procurou investigar o efeito da ciclagem térmica na aderência e no comportamento mecânico de sistemas constituídos de revestimento cerâmico-adesivo-substrato, contribuindo para o entendimento de condições de utilização de peças em estruturas reais sujeitas a variações térmicas cíclicas e o potencial do uso de adesivos geopoliméricos aplicados à colagem de revestimento cerâmica em fachadas de edifícios. Diante do conteúdo exposto neste trabalho, pode-se concluir:

1. Danos dos Edifícios Georreferenciados

Independente do padrão dos edifícios e da distância da orla marítima evidenciou-se que os descolamentos de placas cerâmicas das fachadas são mais acentuados naqueles voltadas para o poente e que os principais tipos de descolamentos são decorrentes do descolamento da argamassa na face das placas cerâmicas.

2. Caracterização das matérias primas e dos adesivos geopoliméricos

Os precursores dos adesivos geopoliméricos são fontes representativas de silício e alumínio e de pozolana, visto a soma dos compostos $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ serem superiores a 70%.

A presença das fases cristalinas observadas nos adesivos geopoliméricos é, na sua vasta maioria, oriunda dos materiais precursores.

No tempo em aberto o adesivo geopolimérico a base de metacaulinita (GP-MK) apresenta a maior resistência de aderência à tração para as peças brancas e para as pretas a argamassa colante ACIII-E se mostra mais eficiente. Isto pode estar relacionado com a maior porosidade, e conseqüente absorção de água, das peças brancas.

3. Resistência a Compressão Simples dos Adesivos Geopoliméricos

O aumento da temperatura apresenta um efeito positivo na resistência à compressão simples, tanto nos adesivos sintetizados com e sem água, quanto com qualquer um dos ativadores alcalinos.

O aumento do teor de água na síntese dos adesivos geopoliméricos apresenta um efeito deletério independente do regime de cura e do tipo de ativador.

O silicato de sódio apresenta resultados mais satisfatórios para a resistência a compressão quando comparados ao silicato de potássio.

O adesivo geopolimérico GP-SI apresenta maior resistência à compressão simples quando comparado ao GP-MK sintetizado nas mesmas condições (ativador e temperaturas).

4. Resistência de Aderência à Tração

O aumento da temperatura é deletério para a aderência de materiais colados com argamassas industrializadas como a ACIII-E. Este efeito é semelhante tanto para as peças brancas quanto para as pretas. Contudo, quando submetidos ao regime cíclico o porcelanato preto apresenta um efeito negativo mais acentuado quando comparado ao porcelanato branco.

Nos adesivos geopoliméricos o aumento da idade e da temperatura acarreta maior resistência à aderência, tanto para as peças brancas quanto pretas. Exceção as peças ensaiadas no regime cíclico onde ocorrem variedades de comportamento.

Os porcelanatos pretos colados com GP-MK.N1 apresenta maior resistência, quando comparados com as peças brancas, independente da temperatura avaliada.

A água apresenta um efeito deletério na resistência à aderência amento com uma redução de aproximadamente 70% na resistência à aderência.

A idade não tem um efeito tão significativo para os adesivos sintetizados a base do ativador silicato de potássio quanto para os ativados com silicato de sódio.

O adesivo GP-SI apresenta resistências de aderência à tração inferiores quando comparados ao adesivo GP-MK sintetizado nas mesmas condições, independente da idade e da temperatura e resistências superiores quando comparados aos resultados obtidos pela argamassa colante ACIII-E.

5. Efeito do Tipo (Energia) de Mistura na Resistência de Aderência à Tração

O tipo de mistura tem um efeito importante nas propriedades mecânicas, principalmente as relacionadas à adesão. A mistura mecânica propicia maiores resistências à aderência independente do tipo de ativador, da idade e das temperaturas de cura.

A mistura mecânica apresenta um efeito mais significativo nos adesivos ativados com silicato de potássio quando comparados com os a base de sódio.

6. Influência dos Parâmetros na Resistência de Aderência: Análise Estatística Multivariável

Os resultados evidenciam que a porosidade e absorção apresentam-se como parâmetros mais importantes no mecanismo de aderência, visto favorecem a ancoragem mecânica, bem como a viscosidade dos adesivos gerando diferenças na aderência, quando comparados com a rugosidade ou a cor das placas cerâmicas.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

1. Modelos numéricos de interface aplicados ao envelhecimento de colagem em substratos cerâmicos colados com materiais cimentícios; e
2. Desenvolvimento de material adesivo de alto desempenho termomecânico aplicado à aderência de material cerâmico mono-queimado em substratos sob ciclagem térmica.
3. Avaliar o potencial de outros materiais aluminosilicosos para o desenvolvimento de adesivos geopoliméricos.
4. Aperfeiçoar a síntese e misturas dos adesivos geopoliméricos.
- 5 Avaliar os efeitos sobre o adesivo quando o mesmo está em meio agressivo.

REFERÊNCIAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassas colantes industrializada para assentamento de placas cerâmicas – especificação – NBR 14081. Rio de Janeiro, 1998.
2. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassas colantes industrializada para assentamento de placas de cerâmicas – execução do substrato padrão e aplicação de argamassa para ensaio - NBR 14082. Rio de Janeiro, 1998.
3. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – determinação do tempo em aberto – NBR 14083, Rio de Janeiro, 1998.
4. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – determinação da resistência de aderência – NBR 14084. Rio de Janeiro, 1998.
5. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – determinação do deslizamento - NBR 14085. Rio de Janeiro, 1998.
6. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa e concreto – determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos - NBR 7222. Rio de Janeiro, 1994.
7. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios – NBR 13818, Rio de Janeiro, 1997.
8. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento – NBR 13755. Rio de Janeiro, 1996.

9. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Revestimento de parede e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração - NBR 13528, Rio de Janeiro, 1995.
10. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 13753, Rio de Janeiro.
11. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 13754, Rio de Janeiro.
12. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 13816, Rio de Janeiro.
13. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 15463, Rio de Janeiro, 2007.
14. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 56443, Rio de Janeiro.
15. AMERICAN NATIONAL STANDARDS SPECIFICATIONS. American national standards specifications for latex-Portland cement mortar. A118.4-99. New York, 1999.
16. AMERICAN NATIONAL STANDARDS SPECIFICATIONS. American national standards specifications for latex-Portland cement mortar. A118.4-85. New York, 1985.
17. AMERICAN NATIONAL STANDARDS SPECIFICATIONS. Standards specification for masonry cement - ASTM C 91. Philadelphia, 2002.
18. AMERICAN NATIONAL STANDARDS SPECIFICATIONS. Standards test method for time of setting of hydraulic-cement paste by Gilmore needles - ASTM C 266. Philadelphia, 1999.
19. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO. Números do Setor, 2012. <http://www.anfacer.com.br/>. Acesso em 28 Ago. 2012.
20. BAKHAREV T. *Durability of geopolymer materials in sodium and magnesium sulfate solutions*. Cement and Concrete Research 35 1233– 1246 (2005).

21. BARBOSA, V.F.F.; MACKENZIE, K.J.D. *Synthesis and thermal behaviour of potassium silicate geopolymers*. Materials Letters 57(9-10): 1477-1482 (2003a).
22. BARBOSA, V.F.F.; MACKENZIE, K.J.D. *Thermal behaviour of inorganic geopolymers and composites derived from sodium polysilicate*. Materials Research Bulletin 38(2): 319-331 (2003b).
23. BOLORINO, H.; CINCOTTO, M.A. Adequação de traços de argamassa mista conforme o tipo de cimento. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. 1999, Vitória. Anais. Vitória. PPGEC/ANTAC, 1999. P. 183-191.
24. CANDIA, M. C.; FRANCO, L. S. Contribuição ao Estudo das Técnicas de Preparo da Base no Desempenho dos Revestimentos de Argamassa. São Paulo: EPUSP, 1998. 13 p. (Boletim técnico)
25. CARASEK, H. Aderência de Argamassas à Base de Cimento Portland a Substratos Porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. 1996. 285f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
26. DAVIDOVITS, J. Synthesis of new high-temperature geo-polymers for reinforced plastics/composites. Annual Pacific Technology Conference Technical Displays, 4: 151-154 (1979).
27. DAVIDOVITS, J. Ancient and modern concretes: What is the real difference? Concrete International, v. 9, nº 12, p. 23-35, Dezembro 1987.
28. DAVIDOVITS, J. Geopolymers: inorganic polymeric new materials. Journal of Thermal Analysis 37, 1633 (1991).
29. DAVIDOVITS, J. Properties of geopolymer cements. In: Proceedings First International Conference on Alkaline Cements and Concretes, Kiev, Ukraine, 131 (1994).
30. DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG. Stoffe fur keramische bekleidung im dunnbettverfahren – dispersinsklebstoffe - DIN 18156. Berlim, 1978.
31. DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG. Stoffe fur keramische bekleidung im dunnbettverfahren – begriffe und grundlagem - DIN 18156.1. Berlim, 1977.

32. DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. Stoffe für keramische Bekleidungen im dünnbettverfahren – hydraulisch erhärtende dünnbettmörtel - DIN 18156.2. Berlin, 1978.
33. DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln – Frischmörtel – Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens nach dem Filterplattenverfahren - DIN 18155. (Teil 7). Berlin, 1987.
34. DUXSON, P.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; PROVIS, J.L.; LUKEY, G.C.; PALOMO, A.; VAN DEVENTER, J.S.J. Geopolymer technology: the current state of the art. *Journal Material Science*, 42:2917–2933 (2007).
35. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – Adhesives for tiles – Determination of transverse deformation for cementitious adhesives and grouts - EN 12002. London, 1998.
36. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – Adhesives for tiles – Definitions and specifications - EN 12004. London, 2001.
37. FIORITO, A.J.S.I. Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução. São Paulo, PINI, 1994.
38. GOMES, K.C. et al. Geopolymer Bonded Steel Plates. ETDCM8- 8th Seminar on Experimental Techniques and Design in Composite Materials. 3-6 October 2007 – Sant’Elmo Beach Hotel – Castiadas – Costa Rei – Sardinia (Italy).
39. GOMES, K.C. Potencial de Ativação Alcalina de Materiais Residuais Aluminossilicosos no Desenvolvimento de Matrizes Cimentícias. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal da Paraíba, 2008.
40. LATELLA, B.A., PERERA, D. S., ESCOTT, T. R., Cassidy, D. J. Adhesion of glass to steel using a geopolymer. *J. Mater Sci* 41 1261–1264 (2006).
41. MEDEIROS, J.S. Curso de Patologia de Revestimentos Cerâmicos – IBAPE-PB, 2002.
42. MEDEIROS, J.S.; SABBATINI, F.H. Tecnologia e Projeto de Revestimentos Cerâmicos de Fachadas de Edifícios, São Paulo, 1999.
43. MEHTA, P. K., MONTEIRO, J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo, Brasil. Editora Pini, 1994.

44. NEVILLE, A. Propriedades do concreto. São Paulo, PINI, 1997.
45. PALOMO, A.; DE LA FUENTE, J.I.L. Alkali-activated cementitious materials: Alternative matrices for the immobilisation of hazardous wastes - Part I. Stabilisation of boron. *Cement and Concrete Research* 33(2): 281-288. (2003).
46. PALOMO, A.; GLASSER, F.P. Chemically-bonded cementitious materials based on metakaolin. *British Ceramic Transactions and Journal* 91(4): 107-112. (1992).
47. PALOMO, A.; GRUTZECK, M.W.; BLANCO, M.T. Alkali-activated fly ashes: A cement for the future. *Cement and Concrete Research* 29 (1999a) 1323–1329.
48. PALOMO, A.; VARELA, M.T.B.; GRANIZO, M.T.; PUERTAS, F.; VARQUEZ, T.; GRUTZECK, M.W. Chemical stability of cementitious materials based on metakaolin. *Cement and Concrete Research* 29 (7) 997–1004. (1999b).
49. PEREIRA, D.; SILVA, F.J; THAUMATURGO, C. *High-Performance Fiber Reinforced Geopolymer Concrete For Pavement*. In: Second International Airports Conference: São Paulo, 2006.
50. REGO, S. R. et al . Crack Propagation Tests in Ceramic Bonded Elements. In: 8th Seminar on Experimental Techniques and Design in Composite Materials - ETDCM8, 2007, Sardenha. 8th Seminar on Experimental Techniques and Design in Composite Materials - ETDCM8, 2007.
51. REGO, SÓSTENES RODRIGUES. Aderência de placas cerâmicas submetidas a variações térmicas cíclicas Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal da Paraíba, 2008.
52. SILVA, C.O. Análise crítica dos requisitos e critérios de qualidade da argamassa colante. São Paulo, 2003. 198p. Dissertação (Mestrado), escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
53. SOUSA SANTOS, P. Ciência e Tecnologia das Argilas. São Paulo. Ed. Edgard Blucher, 1995.
54. WANDERLEY, SICHERI. Ingrid Moura Wanderley, Eduvaldo Paulo Sichieri. Azulejo – Revestimentos em áreas externas. *Cerâmica Industrial*, 10(4) Julho/agosto, 2005.