



**Cátia Vanessa de
Oliveira Pinho**

**Argamassas de colagem para superfícies de
aderência difícil**



**Cátia Vanessa de
Oliveira Pinho**

**Argamassas de colagem para superfícies de
aderência difícil**

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica do Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira, Professor associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e co-orientação do Doutor Luís Miguel Cardoso da Silva, especialista na área das argamassas e Diretor de Marketing da empresa Saint-Gobain Weber Portugal.

o júri

presidente

Prof. Doutor Carlos Daniel Borges Coelho
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor José Luís Barroso de Aguiar
Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Civil da
Universidade do Minho

Prof. Doutor Vítor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira
Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil

Doutor Luís Miguel Cardoso da Silva
Especialista em argamassas e Diretor de Marketing da empresa Saint-Gobain Weber
Portugal

agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar ao Professor Victor Ferreira, meu orientador, pelo encaminhamento, disponibilidade e ensinamentos prestados.

À empresa Saint-Gobain Weber pela boa receção, oportunidade de trabalhar em contexto empresarial e por ter garantido as condições para a realização do mesmo.

Ao Doutor Luís Silva pelos conhecimentos e ensinamentos transmitidos, disponibilidade e dedicação partilhada, bem como pelo seu sempre presente otimismo e entusiasmo demonstrado durante a realização desta dissertação.

À Vera Fernandes, Pedro Sequeira, Nuno Vieira e Hélder Gonçalves pela disponibilidade e amizade demonstrada ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Ao Rui Reis, António Cardoso, Carlos Alves, Carlos Rainho e Glória Lopes pelo companheirismo e ajuda na execução dos trabalhos.

Às minhas amigas Ana Esteves e Rita Melo pelo apoio, incentivo e especialmente pela amizade demonstrada.

Um agradecimento especial ao meu namorado, Bruno Lobo, pela paciência e amor que permitiu superar alguns momentos de desânimo e frustração.

Aos meus pais, Ascensão Pires e José Pinho pela paciência, apoio e carinho sempre demonstrado.

palavras-chave

Argamassas-cola, cimentos-cola, colas de resina de reação, lâmina cerâmica, tensão de aderência, deformação transversal.

resumo

No presente trabalho, foram caracterizados diversos tipos de argamassas-cola para aderência de superfícies difíceis. Esta caracterização foi realizada em argamassas em pó, no estado fresco e após endurecimento, de modo a determinar a mais adequada para os objetivos propostos.

Posteriormente, foi caracterizada a lâmina cerâmica, com e sem rede no tardo. Esta caracterização foi realizada tendo em atenção a absorção de água, porosidade aberta, permeabilidade ao vapor de água, perda de massa por calcinação a 500° e 900°C e avaliação da aderência utilizando a seleção de argamassas realizada anteriormente.

Face às diferenças de resultados obtidos nos testes de aderência da lâmina, com e sem rede no tardo, optou-se pela reconstrução do tardo da lâmina cerâmica. Esta reconstrução foi realizada variando o tipo de rede, o tipo de cola de fixação e o tipo de agregados colados de modo a melhorar a aderência, sendo posteriormente estudada a aderência com estas novas superfícies.

Não tendo sido atingidos os resultados expectáveis, decidiu-se avaliar o processo de secagem e o efeito do pente utilizado na aplicação da argamassa, uma vez que este último influencia na quantidade de argamassa envolvida no processo. Foi ainda avaliada a compatibilidade de cimentos-cola de presa rápida com a lâmina cerâmica. Com o objetivo de avaliar efeitos do processo de hidratação na compatibilidade de materiais e interfaces.

Concluídos os primeiros ensaios laboratoriais, foram realizados ensaios '*in situ*' com lâmina cerâmica de dimensões de 1,0x1,0m e 0,4x0,4m, variando o suporte entre betonilha e lamina cerâmica.

Para concluir, realizaram-se ensaios laboratoriais para avaliar a influência da aplicação de primários de aderência, no processo de colagem de lâmina cerâmica.

keywords

Mortar adhesive, cementitious adhesive, reaction resin adhesive, thin tiles, adhesion strength, transversal deformation.

abstract

In the present study, various types of adhesive mortars were characterized for the adhesion in difficult surfaces. This characterization was performed in powder, fresh and hardened state, to determine the most suitable mortar for the proposed goals.

Later, thin ceramic tiles, with and without the backside grid, was also characterized. This characterization was performed taking into account the water absorption, porosity, water vapour permeability, weight loss on ignition at 500° and 900°C and evaluating the adhesion of mortar using the selection made previously.

Given the differences in the obtained results of adhesion tests of the ceramic blade, with and without the backside grid, it was decided to rebuild the backside of the thin tiles. This reconstruction was carried out varying the type of grid, type of adhesive and the type of aggregates bonded in order to improve the adhesion. The adhesion was subsequently studied with these new surfaces.

Although the results were not the expected ones, it was decided to assess the drying process and the effect of the comb used in the application of mortar, since this influence the amount of mortar involved in the process. The compatibility of for setting cement-based mortar with the thin tiles was also evaluated. In order to evaluate the effects of the hydration process, in the compatibility of the materials and interfaces.

To complete the initial laboratory tests, trials were conducted in situ with thin tiles of dimensions 1,0x1,0m and 0,4x0,4m, using supports like floor screed and thin tiles.

At last, laboratory tests were performed to evaluate the influence of application of adhesion primaries in the process of bonding thin tiles.

Índice geral

Índice de figuras	v
Índice de tabelas	xi
Simbologia.....	xiii
1. Enquadramento, Motivação e Objetivos	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Motivação.....	3
1.3. Objetivos.....	3
2. Aplicação de Revestimentos com Argamassas	5
2.1. Argamassas de construção.....	5
2.1.1. Composição das argamassas.....	7
2.1.1.1. Agregados	7
2.1.1.2. Ligante mineral	8
2.1.1.3. Água de amassadura	11
2.1.1.4. Adjuvantes e aditivos.....	11
2.1.2. Classificação das argamassas	12
2.1.3. Argamassas de colagem.....	13
2.1.3.1. Cimentos cola, C.....	14
2.1.3.2. Colas em dispersão aquosa, D	15
2.1.3.3. Colas de resinas de reação, R.....	15
2.1.3.4. Classificação e designação de argamassas-cola.....	16
2.1.3.5. Normas Europeias para argamassas-cola.....	17
2.2. Aderência de revestimentos cerâmicos com argamassa.....	18
2.2.1. Avaliação da aderência.....	19
2.2.2. Patologias de desprendimento dos revestimentos cerâmicos	20
2.3. Revestimentos cerâmicos de aderência difícil.....	22
2.3.1. Tipos de lâmina cerâmica	22
2.3.2. Transporte de água e propriedades de adesão em cerâmicos de grandes dimensões.....	24
3. Procedimento Experimental	27
3.1. Caracterização das argamassas-cola.....	27
3.1.1. Caracterização dos produtos em pó.....	28
3.1.1.1. Determinação da perda de massa a 70°, 500° e 900°C.....	28

3.1.2.	Caracterização dos produtos em pasta	29
3.1.2.1.	Determinação da percentagem de água do amassado	30
3.1.2.2.	Amassadura	30
3.1.2.3.	Determinação da massa volúmica aparente.....	31
3.1.2.4.	Determinação do tempo de presa do amassado.....	32
3.1.2.5.	Determinação da capacidade de retenção de água	32
3.1.2.6.	Poder molhante e transferência	33
3.1.3.	Caracterização dos produtos endurecidos	34
3.1.3.1.	Determinação da resistência à tração perpendicular (aderência)	34
3.1.3.2.	Deformação transversal	36
3.2.	Caracterização da lâmina cerâmica.....	39
3.2.1.	Determinação da massa perdida por calcinação	40
3.2.2.	Determinação da absorção de água	41
3.2.3.	Determinação da porosidade aberta	42
3.2.4.	Determinação da resistência à flexão.....	43
3.2.5.	Determinação da resistência ao choque	44
3.2.6.	Determinação da permeabilidade ao vapor de água.....	45
3.3.	Avaliação de compatibilidade entre a lâmina cerâmica e argamassas-cola.....	47
3.4.	Reconstrução do tardo do da lâmina cerâmica.....	48
3.4.1.	Preparação das novas superfícies	48
3.4.2.	Ensaio complementares	50
3.4.3.	Melhoria das novas superfícies pela execução de pontes de aderência	52
3.4.4.	Avaliação das novas superfícies	53
3.5.	Avaliação da influência de propriedades das argamassas na aderência aos cerâmicos considerados	54
3.5.1.	Avaliação de compatibilidade entre lâmina cerâmica e argamassas-cola em função da presa	57
3.6.	Avaliação do efeito do pente de aplicação.....	59
3.7.	Ensaio <i>in situ</i>	60
3.8.	Avaliação do uso de primários na aderência.....	63
3.9.	Utilização de câmara termográfica para avaliar a frente de secagem da argamassa CC.3	64
4.	Apresentação e Discussão dos Resultados.....	67
4.1.	Caracterização das argamassas-cola	67

4.1.1. Caracterização dos produtos em pó	67
4.1.2. Caracterização dos produtos em pasta.....	68
4.1.3. Caracterização dos produtos endurecidos.....	69
4.2. Caracterização da lâmina cerâmica	72
4.3. Avaliação de compatibilidade entre a lâmina cerâmica e argamassas-cola	75
4.4. Reconstrução do tardez da lâmina cerâmica	79
4.5. Avaliação da influência de propriedades das argamassas na aderência aos cerâmicos considerados.....	84
4.5.1. Avaliação de compatibilidade entre lâmina cerâmica e argamassas-cola em função da presa.....	89
4.6. Avaliação do efeito do pente de aplicação	95
4.7. Ensaio <i>in situ</i>	97
4.8. Avaliação do uso de primários na aderência	100
4.9. Utilização de câmara termográfica para avaliar a frente de secagem da argamassa CC.3.....	102
5. Conclusões e Propostas de Trabalhos Futuros	105
Referências Bibliográficas.....	107
Anexos.....	111

Índice de figuras

Figura 1: Esquema de produção industrial de argamassas de construção (APFAC).	7
Figura 2: Tipos de ligantes usados na formulação de argamassas (PAULO, 2006).	9
Figura 3: Classificação das argamassas.	13
Figura 4: Tipos de rotura adesiva: a) AF-S; b) AF-T; c) BT (NP EN 12004:2008).	20
Figura 5: Tipos de rotura coesiva: a) CF-A; b) CF-S; c) CF-T (NP EN 12004:2008).	20
Figura 6: Destacamento de cerâmicos: a) Zona corrente; b) Zona de extremidade (CHAVES, 2009).	21
Figura 7: Valores médios da tensão de adesão nas posições dadas em função do tempo para: a) Condições padrão; b) Armazenagem em água (WETZEL et al., 2010).	25
Figura 8: Equipamento utilizado na determinação da perda de massa por ação da temperatura: a) Balança com resolução de 0,0001g com cadinho contendo amostra de argamassa-cola; b) Mufla; c) Exsiccador.	29
Figura 9: Equipamento utilizado no processo de amassadura: a) Amassadora para homogeneização automática; b).Introdução de água no recipiente da amassadora; c) Adição do produto à água; d) Homogeneização manual.	31
Figura 10: Processo de determinação da massa volúmica: a) Enchimento do copo até meio; b) Compactação; c) Enchimento do copo na totalidade; d) Compactação; e) Remoção do excedente.	31
Figura 11: Processo de determinação do tempo de presa: a) Introdução da argamassa no molde do Vicat; b) Remoção do excesso; c) Colocação do molde no Aparelho de Vicat; d) Pormenor da picagem.	32
Figura 12: Processo de determinação da capacidade de retenção de água: a) Humidificação do papel de filtro; b) Pesagem de P0; c) Ação da bomba de vácuo; d) Secagem do fundo do recipiente.	33
Figura 13: Processo de preparação das placas para ensaios de resistência à tração: a) Espalhamento da argamassa na área de ensaio; b) Execução do “penteador”; c) Colocação das peças cerâmicas; d) Pesos de 20N a pressionar as peças cerâmicas durante 30 segundos.	35
Figura 14: Aderência inicial: a) Câmara climatizada; b) Placa após colagem das peças metálicas; c) Execução da aderência.	35
Figura 15: Deformação transversal: a) Suporte rígido, película de polietileno e fita adesiva; b) Preenchimento dos orifícios dos moldes; c) Aplicação das 70 pancadas; d) Remoção dos moldes.	37
Figura 16: Deformação transversal: a) Aplicação de óleo descofrante nos moldes; b) Colocação dos pesos; c).Tiras após remoção do material das laterais dos moldes em excesso.	38
Figura 17: Deformação transversal: a) Remoção dos moldes; b) Colocação das tiras no recipiente plástico; c) Colocação das amostras na câmara climatizada.	38
Figura 18: Deformação transversal: a) Medição dos provetes usando o paquímetro; b) Colocação e ajuste da amostra na máquina; c) Amostra após rotura.	39
Figura 19: Lâmina cerâmica: a) Vista frontal; b) Tardoz sem rede; c) Tardoz com rede irregular.	39

Figura 20: Dimensões usuais da lâmina cerâmica em centímetros.	39
Figura 21: Amostras dos cerâmicos antes de serem sujeitas a queima: a) Lâmina cerâmica sem rede no tardoz; b) Ladrilho cerâmico do tipo V1; c) Lâmina cerâmica com rede irregular no tardoz.	40
Figura 22: Processo de determinação da percentagem de absorção de água para o caso dos cerâmicos do tipo V1: a) Tina contendo a grelha com as amostras; b) Aquecimento; c) Amostras, sobre a grade, em água fria.	41
Figura 23: Processo de determinação da porosidade aberta: a) Medição da pressão hidrostática; b) Equipamento para medição sob pressão.	43
Figura 24: Prensa automática de flexão e compressão: a) Visão geral da máquina; b) Pormenor da colocação do provete sobre os cilindros.	44
Figura 25: Colagem das peças cerâmicas sobre: a) Placa de betão; b) Placa de EPS 100.	45
Figura 26: Cerâmicos em análise: a) Cerâmica não porosa; b) LCSR; c) LCCRI; d) Cerâmica mono-porosa.	45
Figura 27: Preparação do ensaio de permeabilidade ao vapor: a) Tina contendo a solução de nitrato de potássio; b) Aplicação da parafina; c) As quatro tinas após aplicação da parafina.	46
Figura 28: Ensaio de permeabilidade ao vapor: a) Aplicação da argamassa-cola; b) Tina após colocação da cerâmica; c) Pesagem da tina.	46
Figura 29: Exemplificação do processo de preparação das novas superfícies: a) Tardoz da LCSR; b) Aplicação da 1ª camada de cola; c) Colocação da rede; d) Aplicação da 2ª camada de cola.	49
Figura 30: Novas superfícies: a) LCSR + rede de fibra de vidro normal fixada com PAD.1; b) LCSR + rede de fibra de vidro reforçada fixada com PAD.1; c) LCSR + rede de fibra de vidro normal fixada com RE.1; d) LCSR + rede de fibra de vidro reforçada fixada com RE.1; e) LCSR + rede de fibra de vidro normal fixada com CE; f) LCSR + rede de fibra de vidro reforçada fixada com CE.	50
Figura 31: Provetes da cola: a) PAD.1; b) RE.1; c) CE.	51
Figura 32: Ensaio para avaliação de ações de ligação entre colas: a) Placa de betão após aplicação de RE.1 e CE; b) Após aplicação de PAD.1; c) Após colagem dos discos de tração.	51
Figura 33: Agregados usados na melhoria das superfícies: a) Granulado F; b) Granulado G.	52
Figura 34: Melhoria das novas superfícies: a) LCSR; b) Aplicação de PAD.1; c) Colocação da rede de fibra de vidro reforçada; d) Aplicação de PAD.1; e) Distribuição do granulado G; f) Fixação do granulado G.	53
Figura 35: Novas superfícies após melhoria: a) LCSR + rede de fibra de vidro reforçada fixada com PAD.1 + granulado F; b) LCSR + rede de fibra de vidro reforçada fixada com PAD.1 + granulado G; c) LCSR + rede de fibra de vidro reforçada fixada com RE.1 + granulado G.	53
Figura 36: Placas preparadas com as lâminas cerâmicas com tardoz modificado, para ensaios de resistência à tração: a) e b) Placas para execução de aderências aos 7 dias e após imersão em água; c) e d) Placas para execução de aderências aos 14 dias e após envelhecimento por ação de calor.	54

Figura 37: Preparação das amostras: a) e b) Os dois tipos de suporte: Placa de betão e placa de betão + cerâmica vidrada, respetivamente; b) Aplicação da argamassa CC.3; c) Aplicação de pressão homogénea; d) Aplicação do silicone.	55
Figura 38: Preparação das aderências: a) Marcação das zonas de adesão; b) Colagem dos discos de tração; c) Execução do ensaio de resistência à tração (adesão); d) Recolha da amostra para o ensaio de determinação da perda de massa a 70°C.	56
Figura 39: a) Identificação dos locais onde se realizam as aderências; b) Identificação dos locais onde se realizam as recolhas de material.	56
Figura 40: Esquema de aplicação da pressão: a) Pontos onde vão ser colocados os pesos prismáticos; b) Aplicação de pressão.	57
Figura 41: Exemplo de uma amostra.	58
Figura 42: Pontos de ensaio: a) 7 dias e após imersão em água; b) 14 dias e após envelhecimento por calor.	59
Figura 43: Exemplificação do modo de aplicação da massa usada para as cerâmicas: a) Lâmina de 1000x1000mm; b) Lâminas 400x400mm.	60
Figura 44: Locais de ensaio: a) lâmina 1000x1000mm; b) lâmina 400x400mm.	61
Figura 45: Procedimento após realização do primeiro ensaio: a) Preenchimento com silicone dos locais onde se realizaram as aderências; b) Marcação dos novos locais para realização de posteriores aderências.	61
Figura 46: Aplicação de lâmina sobre lâmina: a) Aplicação da argamassa-cola e execução do penteado; b) Colocação das lâminas.	62
Figura 47: a) Amostra A; b) Amostra B; c) Amostra C.	62
Figura 48: a) Lâmina cerâmica; b) Lâmina cerâmica após aplicação de PAD.1; c) Lâmina cerâmica após aplicação de PAD.2.	63
Figura 49: Tipos de suportes: a) Placa de betão; b) Lâmina; c) Lâmina após aplicação dos primários.	63
Figura 50: Exemplar das amostras preparadas.	64
Figura 51: Lâmina cerâmica aplicada sobre vidro.	65
Figura 52: Evolução temporal da tensão de aderência das argamassas-cola (7, 14 e 28 dias).	70
Figura 53: Evolução da tensão de aderência das argamassas-cola.	70
Figura 54: Resultados da deformação transversal.	72
Figura 55: Aspeto após queima: a) Cerâmico tipo V1 após 500°C; b) LCSR após 500°C; c) LCCRI após 500°C; d) Cerâmico tipo V1 após 900°C; e) LCSR após 900°C; f) LCCRI após 900°C.	73
Figura 56: Aspeto da lâmina após realização do ensaio de resistência à flexão: a) LCSR; b) LCCRI.	74
Figura 57: Tensões de aderência da argamassa-cola CC.2 para os vários cerâmicos.	76
Figura 58: Tensões de aderência da argamassa-cola CC.3 para os vários cerâmicos.	76

Figura 59: Tensões de aderência da argamassa-cola RE.1 para os vários cerâmicos.	77
Figura 60: Tensões de aderência da argamassa-cola RE.2 para os vários cerâmicos.	78
Figura 61: Tensões de aderência obtidas com a LCCRI para as várias argamassas.	78
Figura 62: Deformação transversal das amostras preparadas com colas CE e RE.1, simples, com rede normal e com rede reforçada.	81
Figura 63: Tensões de aderência das lâminas com as novas superfícies em comparação com o produto comercial (LCCRI).	83
Figura 64: Tensões de aderência das lâminas com as novas superfícies em comparação com o produto comercial (LCCRI).	83
Figura 65: Modo de rotura: a) Lâmina com rede fixa com PAD.1; b) Lâmina com rede fixa com PAD.1 mais granulado F; c) Lâmina com rede fixa com PAD.1 mais granulado G; d) Lâmina com rede fixa com RE.1; e) Lâmina com rede fixa com RE.1 mais granulado G.	83
Figura 66: Possível causa dos resultados das preparações com granulado G.	84
Figura 67: Tensões de aderência da LCCRI sobre betão e sobre cerâmica quando se usa a lâmina 400x400mm e silicone.	85
Figura 68: Tipo de rotura quando o suporte é o betão: a) Às 24 horas; b) Aos 7 dias.	85
Figura 69: Tipo de rotura quando o suporte é a cerâmica vidrada: a) Às 24 horas; b) Aos 7 dias.	86
Figura 70: Perda de massa a 70°C da argamassa-cola CC.3, quando se usa a lâmina 400x400mm e silicone, sobre betão e sobre cerâmica.	86
Figura 71: Tensão de aderência às 24 horas, quando se usa a lâmina 400x400mm sobre betão e sobre cerâmica, com e sem silicone.	87
Figura 72: Perda de massa a 70°C da argamassa-cola CC.3, quando se usa a lâmina 400x400mm sobre betão e sobre cerâmica, com e sem silicone.	87
Figura 73: Tensão de aderência às 24 horas para LCCRI, sobre betão e sobre cerâmica, com lâmina de dimensão 400x400mm e para lâmina 50x50mm.	88
Figura 74: Perda de massa a 70°C da argamassa-cola CC.3, sobre betão e sobre cerâmica para lâminas de dimensão 400x400mm e 50x50mm.	88
Figura 75: Evolução temporal da tensão de aderência da argamassa CC.3, quando o suporte é a lâmina cerâmica.	89
Figura 76: Evolução temporal da tensão de aderência da argamassa CC.4, quando o suporte é a lâmina cerâmica.	90
Figura 77: Evolução temporal da tensão de aderência da argamassa CC.5, quando o suporte é a lâmina cerâmica.	90

Figura 78: Avaliação da perda de massa a 70°C da argamassa CC.3, ao longo do tempo, quando o suporte é a lâmina cerâmica.....	91
Figura 79: Avaliação da perda de massa a 70°C da argamassa CC.4, ao longo do tempo, quando o suporte é a lâmina cerâmica.....	91
Figura 80: Avaliação da perda de massa a 70°C da argamassa CC.5, ao longo do tempo, quando o suporte é a lâmina cerâmica.....	91
Figura 81: Tensão de aderência às 6, 24 horas e 7 dias, nas posições A e B, para a argamassa CC.3, quando se usa a lâmina com dimensões 400x400mm e o suporte é o betão.....	92
Figura 82: Tensão de aderência às 6, 24 horas e 7 dias, nas posições A e B, para a argamassa CC.3, quando se usa a lâmina com dimensões 400x400mm e o suporte é a lâmina cerâmica.	92
Figura 83: Perda de massa a 70°C, da argamassa CC.3, às 6, 24 horas e 7 dias, nas posições A e B, quando se usa a lâmina com dimensões 400x400mm e o suporte é o betão.....	93
Figura 84: Perda de massa a 70°C, da argamassa CC.3, às 6, 24 horas e 7 dias, nas posições A e B, quando se usa a lâmina com dimensões 400x400mm e o suporte é a lâmina cerâmica.	93
Figura 85: Tensão de aderência das colas CC.3, CC.4 e CC.5, para as várias condições de cura, quando se usa a lâmina cerâmica de dimensões 50x50mm e betão como suporte.....	94
Figura 86: Perda de massa das colas CC.3, CC.4 e CC.5, para as várias condições de cura, quando se usa a lâmina cerâmica de dimensões 50x50mm e betão como suporte.	94
Figura 87: Comparação da argamassa CC.5 com a mesma com um tempo de presa mais alongado.	95
Figura 88: Tensão de aderência aos 7 dias, quando se aplica a lâmina de dimensões 400x400mm com a argamassa-cola CC.3 sobre betão usando diferentes tipos de pente e colagem.	95
Figura 89: Modos de rotura aos 7 dias: a) Pente 6x6; b) Pente 8x8; c) Colagem dupla.	96
Figura 90: Tensão de aderência após imersão, quando se aplica a lâmina de dimensões 400x400mm com a argamassa-cola CC.3 sobre betão usando diferentes tipos de pente e colagem.	96
Figura 91: Modos de rotura após imersão em água: a) Pente 6x6; b) Pente 8x8; c) Colagem dupla.....	96
Figura 92: Tensão de aderência na posição central (A), quando se aplica a lâmina de dimensões 400x400mm com a argamassa-cola CC.3 sobre betão para diferentes tipos de colagem.	97
Figura 93: Tensão de aderência na periferia (B), quando se aplica a lâmina de dimensões 400x400mm com a argamassa-cola CC.3 sobre betão para diferentes tipos de colagem.....	97
Figura 94: Evolução temporal da tensão de aderência quando o suporte é uma betonilha: a) Lâmina 400x400mm; b) Lâmina 1000x1000mm.	98
Figura 95: Evolução temporal da tensão de aderência quando o suporte é a lâmina cerâmica: a) Lâmina 400x400mm; b) Lâmina 1000x1000mm.	98

Figura 96: Evolução temporal da tensão de aderência quando o suporte é a lâmina cerâmica: a) *In situ*; b) Laboratório..... 99

Figura 97: Tensão de aderência quando o suporte é betão e o primário aplicado no tardez das lâminas. 100

Figura 98: Tensão de aderência quando o suporte é a lâmina cerâmica e o primário aplicado no tardez das lâminas. 101

Figura 99: Tensão de aderência quando o suporte é a lâmina cerâmica e o primário aplicado no tardez das lâminas e no suporte..... 101

Figura 100: Tensão de aderência quando o suporte é a lâmina cerâmica e o primário aplicado no suporte. . 101

Figura 101: Aspeto visual da lâmina cerâmica aplicada sobre vidro, decorridos 75 dias da sua execução. .. 102

Índice de tabelas

Tabela 1: Especificações para cimentos-cola (NP EN 12004:2008).	14
Tabela 2: Especificações para colas em dispersão aquosa (NP EN 12004:2008).....	15
Tabela 3: Especificações para colas de resinas de reação (NP EN 12004:2008).....	16
Tabela 4: Exemplos de classificação e designação de argamassas-cola (NP EN 12004:2008).	17
Tabela 5: Normas relacionadas com as argamassas-cola (APFAC).	18
Tabela 6: Ensaio realizados para cada argamassa-cola avaliada.	28
Tabela 7: Ensaio realizados para avaliação da compatibilidade entre a lâmina cerâmica e algumas argamassas-cola (também se realiza ensaios com a peça V1, para comparação).....	48
Tabela 8: Características das redes de reforço utilizadas.....	49
Tabela 9: Ensaio realizados para avaliação do efeito do pente de aplicação na aderência.....	60
Tabela 10: Características das argamassas analisadas.	67
Tabela 11: Apresentação dos valores de perda de massa [%] obtidos a partir do ensaio de perda de massa por calcinação a 500°C.	68
Tabela 12: Apresentação das propriedades em pasta (água de amassadura, massa volúmica aparente, tempo de presa e retenção de água).....	68
Tabela 13: Apresentação da capacidade [%] de poder molhante e transferência ao longo do tempo.	69
Tabela 14: Apresentação dos parâmetros força [N] e deformação [mm] obtidos a partir do ensaio de deformação transversal.....	71
Tabela 15: Apresentação das propriedades dos cerâmicos do tipo V1 e da lâmina cerâmica com e sem rede no tardez.....	72
Tabela 16: Resultados obtidos, relativamente ao ensaio de resistência ao choque (3J e 10J).	75
Tabela 17: Resistência à flexão [MPa], para as várias preparações de reconstrução do tardez da lâmina cerâmica.	79
Tabela 18: Resistência ao choque (3J e 10J), para as várias preparações de reconstrução do tardez da lâmina cerâmica.	80
Tabela 19: Apresentação dos parâmetros força [N] e deformação [mm], obtidos a partir do ensaio de deformação transversal para as várias preparações das colas CE, RE.1 e PAD.1.	81
Tabela 20: Avaliação da compatibilidade entre RE.1/ CE e PAD.1, pela determinação da tensão de aderência [N/mm ²]......	82

Simbologia

CC.1 – Cimento cola branco, de presa normal com tempo aberto alongado e deslizamento reduzido.

CC.2 – Cimento cola branco melhorado, deformável com tempo aberto alongado e deslizamento reduzido.

CC.3 – Cimento cola branco melhorado, altamente deformável com tempo aberto alongado e deslizamento reduzido.

CC.4 – Cimento cola branco melhorado, de presa rápida com tempo aberto alongado.

CC.5 – Cimento cola cinzento melhorado, de presa rápida altamente deformável com tempo aberto alongado e deslizamento reduzido.

CE – Cola epoxi bi-componente com um tempo de endurecimento muito curto.

LCCRI – Lâmina cerâmica com rede irregular no tardo.

LCSR – Lâmina cerâmica sem rede no tardo.

P1 – Ladrilho cerâmico vitrificado, poroso, com absorção de água de $15\pm 3\%$ em massa (Classe BIII de acordo com a EN 14411:2006), com uma espessura entre 7 e 10mm, com tardo com menos de 0,25mm de relevo, cortado com dimensões faciais de 50 ± 1 mm por 50 ± 1 mm.

PAD.1 – Primário de aderência e impermeabilização mono-componente.

PAD.2 – Primário de aderência e impermeabilização mono-componente.

RE.1 – Argamassa-cola de base epóxi (reativa)

RE.2 – Argamassa-cola de base epóxi (reativa)

V1 – Ladrilho cerâmico totalmente vitrificado com uma absorção de água $\leq 0,5\%$ em massa (Classe BI_a de acordo com a EN 14411:2006), e com uma superfície de aderência plana, com dimensões faciais de 50 ± 1 mm por 50 ± 1 mm.

1. ENQUADRAMENTO, MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

1.1. Enquadramento

A utilização do azulejo como material ornamental de revestimento e de proteção, de paredes e pavimentos, observa-se a partir do período do Antigo Egipto sendo, por isso, uma técnica com vários séculos de história. A partir do século XIV surgem aplicações desta técnica na Península Ibérica, nomeadamente em Espanha, trazidas anteriormente pelos Árabes. Em território nacional, esta técnica surge no final do século XV pelas mãos de D. Manuel I, rei de Portugal, após visita ao país vizinho.

Esta técnica de revestimento ganha dimensões de imediato, podendo ser encontrados ainda no século XV palácios reais revestidos, no seu interior, com azulejos. No século XVI, devido a uma produção regular em Portugal, esta técnica surge como revestimento e material ornamental em pináculos e cúpulas de igrejas.

A partir do século XVIII, surgem as primeiras fábricas de cerâmicos em Portugal, com um projeto de industrialização conduzido pelo Marquês de Pombal. Estas fábricas, simplificam os padrões da época, até então muito elaborados, com o intuito de aumentar a produção e, conseqüentemente, diminuir o custo. Com esta medida, o revestimento cerâmico começa a ganhar projeção e a ser utilizado em espaços menos nobres.

No século XVIII, após o terramoto de 1755, surge uma azulejaria utilitária, sendo as escadas e fachadas da baixa lisboeta revestidas com azulejos. Surge ainda, a par dos temas religiosos nas igrejas, um grande número de pequenos painéis de devoção, colocados nas fachadas dos edifícios como proteção contra as grandes catástrofes. No final do século, devido às influências da Europa, surge o estilo neoclássico, exprimindo-se como alizares de enquadramentos retilíneos e elementos decorativos policromáticos.

Nas primeiras décadas do século XX, o azulejo foi influenciado pela Arte Nova, surgindo nos trabalhos de Rafael Bordalo Pinheiro, assim como na decoração de frontões e faixas decorativas de fachadas.

Após a II Guerra Mundial, devido à industrialização, a produção de cerâmica apresentou um desenvolvimento considerável. A possibilidade de produzir em escala industrial baixou os

preços e tornou acessíveis estes revestimentos à maioria da população. Numa primeira fase, os revestimentos cerâmicos foram usados principalmente para satisfazer necessidades funcionais, tais como a higiene e facilidade de limpeza e, desse modo, empregados em casas de banho e cozinhas.

A indústria cerâmica evoluiu com rapidez, desenvolvendo novos materiais que ampliaram consideravelmente as opções e tipos de revestimento disponíveis.

Assim, a cerâmica de revestimentos tem uma história de cinco séculos em Portugal, tendo-se desenvolvido e tornado muito versátil, em termos de riqueza cromática, de dimensão e de tipos de aplicação.

Nos dias de hoje, surgem novos desafios relacionados com a atividade de aplicação de ladrilhos, devido às suas variadas dimensões, às suas propriedades físicas e químicas, e devido a suportes de aderência difícil.

Devido a impulsos arquitetónicos, os ladrilhos tem vindo a desenvolver uma grande variação nas suas dimensões, sendo a tendência do mercado o desenvolvimento de grandes dimensões, até 3x1m, muito densos e de reduzida espessura (3 a 4 milímetros).

Estes novos cerâmicos, denominados por lâmina cerâmica, têm a vantagem de serem mais leves e necessitarem de menor consumo de materiais, o que leva a um trabalho mais rápido, sendo uma boa solução para trabalhos de reabilitação. No entanto, devido à sua reduzida espessura e elevada dimensão, para reduzir o risco de fratura no transporte e facilitar o manuseamento em obra, surge a necessidade de reforçar o seu tardoz com uma rede de fibra de vidro fixada com uma resina de base epóxi. A introdução deste reforço origina um tardoz vitrificado, muito denso, sem rugosidade, com baixa absorção de água e com superfícies quimicamente difíceis, dificultando a aderência da argamassa-cola ao tardoz da lâmina.

Também o tipo de suporte tem vindo a modificar-se, com tendência de abandono dos suportes clássicos como a parede de alvenaria ou o piso de betão, surgindo novos de aderência mais difícil, como o caso de reabilitações de construções existentes, nas quais o ladrilho vidrado existente funciona como suporte ao novo revestimento. Esta dificuldade de aderência, surge também no caso de revestimento de superfícies metálicas, que devido à sua superfície lisa e não porosa proporciona uma aderência muito complicada.

As condições climatéricas é mais um dos fatores a tornar a aderência dos ladrilhos uma questão complexa, a médio e longo prazo. A incidência de raios solares em peças de dimensões consideráveis, provoca expansão considerável do ladrilho devido à sua dilatação térmica. Também o surgimento de sais na interface suporte-ladrilho pode levar ao destacamento do revestimento, sendo esta questão mais problemática em zonas costeiras, devido ao elevado teor em sais na atmosfera, podendo também surgir na água de amassadura das argamassas e nas areias das mesmas. Outra questão relacionada com o destacamento são os ciclos gelo-degelo, embora menos problemáticos em Portugal devido ao clima temperado que este apresenta.

1.2.Motivação

Os revestimentos cerâmicos, enquanto material de proteção e de decoração no sector da construção civil em Portugal apresentam um potencial enorme pelas vantagens que possuem, nomeadamente a sua resistência e duração. São também uma arte de enorme tradição em Portugal, pelo que é necessário preservar o património existente e melhorar as técnicas para que a mesma não se perca.

Surge assim a necessidade de estudar materiais que melhorem o seu comportamento, à medida que novos produtos vão surgindo no mercado, como é o caso das fachadas ventiladas com revestimentos em madeira ou metal. Do mesmo modo, como referido anteriormente, têm surgido no mercado novos revestimentos cerâmicos, entre os quais ladrilhos de grandes dimensões, usados quer como revestimento interior, quer exterior. Anexo a este tipo de revestimentos cerâmicos, surge a dificuldade de obter uma boa aderência dos mesmos ao suporte. Portanto, este trabalho pretende apresentar uma solução que proporcione uma boa aderência dos ladrilhos aos mais variados suportes, proporcionando um revestimento resistente, durável e agradável visualmente.

1.3.Objetivos

O objetivo deste trabalho prende-se com a necessidade de melhorar a aderência, em diferentes condições, do tardo de lâminas cerâmicas de densidade elevada em superfícies de aderência difícil.

2. APLICAÇÃO DE REVESTIMENTOS COM ARGAMASSAS

2.1. Argamassas de construção

Uma argamassa de construção define-se como sendo um produto resultante da mistura de uma agregado de determinada granulometria com um agente ligante (EMO, 2001).

As argamassas surgem na construção desde a pré-história, à cerca de 10000 anos atrás, uma vez que nas construções de então surgiu a necessidade de um produto que realizasse a ligação entre os elementos construtivos usados para a realização de abrigos. Assim sendo, a argamassa foi, desde sempre, um produto de construção muito usado até à atualidade (SANTOS, 2009).

Até aos nossos dias, as argamassas sofreram diversos estágios evolutivos, acompanhando os conhecimentos, quer na capacidade de trabalhar, quer na descoberta de novas matérias-primas. Com a descoberta do fogo foi possível apurar as melhores características dos materiais, nomeadamente as suas características aglutinantes, com especial incidência nas argilas e calcários e a sua hidratação. Com o aparecimento dos primeiros fornos foi possível obter produtos como a cal viva e posteriormente a cal hidratada (SANTOS, 2009).

A Civilização Romana surge na história das argamassas como um marco incontornável. Nesta época surge um eficaz aproveitamento das capacidades pozolânicas das cinzas vulcânicas ricas em sílica e alumina e a introdução de areias, cerâmicos moídos, cal hidratada e materiais orgânicos, como modo de aumentar as características resistentes e condições de hidráulidade das argamassas (ALVAREZ et al., 2005).

A partir de meados do século XVIII começou a ser desenvolvido o cimento Portland pelo engenheiro inglês John Smeaton (1724-1792), sendo mais tarde patenteado pelo também inglês Joseph Aspdin em 1824 a patentear o fabrico do cimento Portland (SANTOS, 2009).

No século XIX com a expansão da revolução industrial inglesa surge, como noutras indústrias, uma expansão muito expressiva da industrialização, até que no final do século surge em Portugal a primeira fábrica de ligantes hidráulicos. A partir do início do século XX, com o aparecimento do betão e, posteriormente, do betão armado, o cimento Portland passa a

dominar o mercado dos ligantes, incluindo no fabrico de argamassas (ALVAREZ et al., 2005).

Apesar de no final do século XIX ter sido registada na Europa a primeira patente do fabrico de argamassas secas, ainda em meados do século XX o cimento era enviado para as obras separado dos agregados, sendo os materiais armazenados em obra até ao momento da utilização, sendo então produzidas com a mistura de água de modo a hidratar o ligante. Este modo de construir obriga à necessidade de garantir em estaleiro espaço e mão-de-obra para dosear e preparar as argamassas, não sendo garantida minimamente uma uniformidade nas argamassas produzidas pela Europa (PAULO, 2006).

A partir de meados do século XIX, na Europa, e nos Estados Unidos, surge a necessidade de maior exigência de qualidade na construção e a necessidade de utilização de argamassas secas prontas a aplicar. Começam também a surgir sistemas de mistura mecanizados e sistemas de transporte a granel (PAULO, 2006).

Para fazer frente a estes novos desafios surge na construção civil a indústria das argamassas industriais. Estas argamassas passam assim a ser produzidas em fábrica, permitindo uma maior uniformidade e qualidade nas argamassas utilizadas (COUTINHO, 1997, PAULO, 2006).

Neste novo processo, a mistura e doseamento das argamassas é efetuado num ambiente completamente controlado, sendo posteriormente enviada ao destinatário final pronta a ser misturada com água, no caso das argamassas secas, ou prontas a aplicar, no caso das argamassas estabilizadas. Neste último caso o processo é similar ao do betão pronto. No caso das argamassas secas, a expedição é feita em saco ou a granel no caso de obras de alguma envergadura que justifiquem a implementação de silos de armazenagem (figura 1). Deste modo ganha-se em custos de mão-de-obra, de qualidade das argamassas e de limpeza e arrumação do estaleiro. Este processo de fabrico permite também a produção de argamassa com características muito particulares para um determinado tipo de utilização, com um rigoroso controlo. Estas argamassas são realizadas com aditivos e adjuvantes que podem ser introduzidos numa mistura de 1000kg em quantidades de apenas alguns gramas, sendo esta precisão completamente impossível de controlar em obra (APFAC).

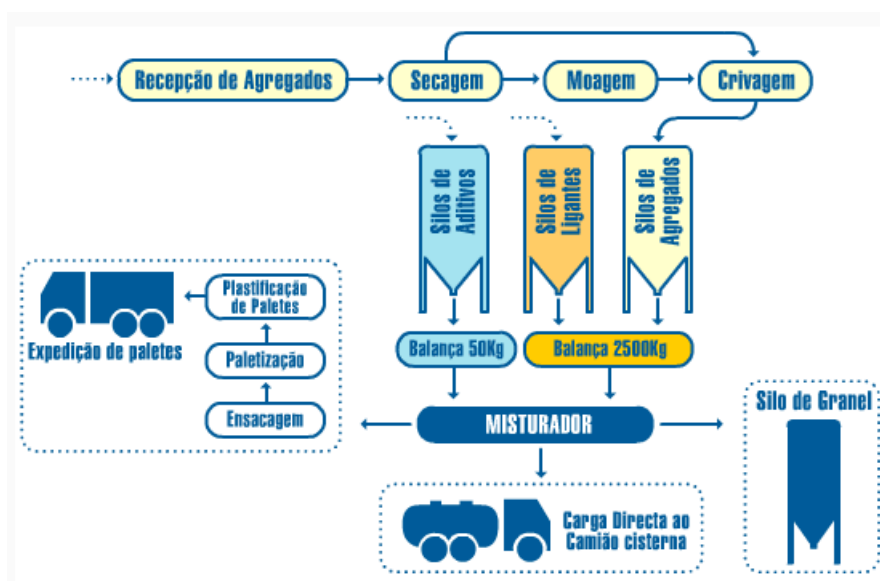


Figura 1: Esquema de produção industrial de argamassas de construção (APFAC).

2.1.1. Composição das argamassas

Genericamente as argamassas podem-se definir como uma mistura, em proporções adequadas, de três componentes básicos, agregados, ligante e água e adição de adjuvantes e aditivos quando necessário (COUTINHO, 1997, EDMEADES et al., 2003).

Esta mistura deve ser homogénea e as proporções administradas de acordo com o tipo de argamassa pretendida. As argamassas apresentam-se como sendo um material de boa plasticidade e de fácil aplicação após mistura e como um material resistente e aderente quando endurecidas (PAULO, 2006).

2.1.1.1. Agregados

Os agregados definem-se como um material granular que, normalmente, não intervêm na reação de endurecimento da argamassa (PAULO, 2006).

Os agregados são geralmente areia, podendo conter em alguns casos algum cascalho, brita ou fragmentos cerâmicos em reduzida percentagem (COSTA, 2008).

São, na maioria das vezes, o constituinte em maior percentagem presente nas argamassas, tendo como função diminuir a retração, melhorar a compacidade, impermeabilidade e resistência mecânica da argamassa. Uma vez que são o componente inerte da argamassa, conferem estabilidade volumétrica e melhoram o comportamento, diminuindo

também os vazios presentes na mistura (BOTAS, 2009, MARQUES, 2005, MARTINS, 2008).

Devido à sua percentagem na mistura, qualquer oscilação na sua qualidade, implica numa oscilação considerável na argamassa resultante, sendo que os principais fatores que influenciam a sua qualidade é o tamanho médio das partículas e o seu teor em argila (COUTINHO, 1997, PAIVA, 2005). Estes constituintes fundamentais numa argamassa classificam-se de acordo com a sua origem, granulometria e peso específico aparente (COUTINHO, 1997, PAULO, 2006).

Segundo a sua origem os agregados podem ser classificados como naturais (são utilizados com a forma com que são extraídos), industriais (obtidos a partir de rocha britada ou subprodutos de outras indústrias) e reciclados (quando resultam do aproveitamento de materiais recuperados de outras construções) (PAULO, 2006).

Segundo a sua granulometria, o agregado é classificado como grosso ou areia, consoante fique retido ou não no peneiro com malha de 5mm de abertura (COUTINHO, 1997).

Segundo o seu peso específico aparente, o agregado é classificado como ultraleve ($<300\text{kg/m}^3$), leve (entre 300 e 950 ou 1200kg/m^3 , consoante se trate de um inerte grosso ou de uma areia, respetivamente), denso (de 950 ou 1200 a 1700kg/m^3) e ultradenso ($>1700\text{kg/m}^3$), de acordo com a densidade do material que constitui as suas partículas (PAULO, 2006, COUTINHO, 1997).

2.1.1.2. Ligante mineral

Ligante mineral é a designação dada ao material, finamente moído, que promove a ligação entre os diversos materiais que são adicionados à mistura que resultará em argamassa. Esta ligação é promovida à custa de reações de hidratação e / ou carbonatação entre o pó ligante e a água, ganhando presa e promovendo o endurecimento da mistura (PAULO, 2006).

Tendo em consideração o tipo de ligante as argamassas são classificadas como sendo de cal, gesso ou cimento (figura 2), sendo que dentro das argamassas de cal estas podem ser ainda distinguidas em argamassas de cal aérea ou hidráulica (PAULO, 2006).

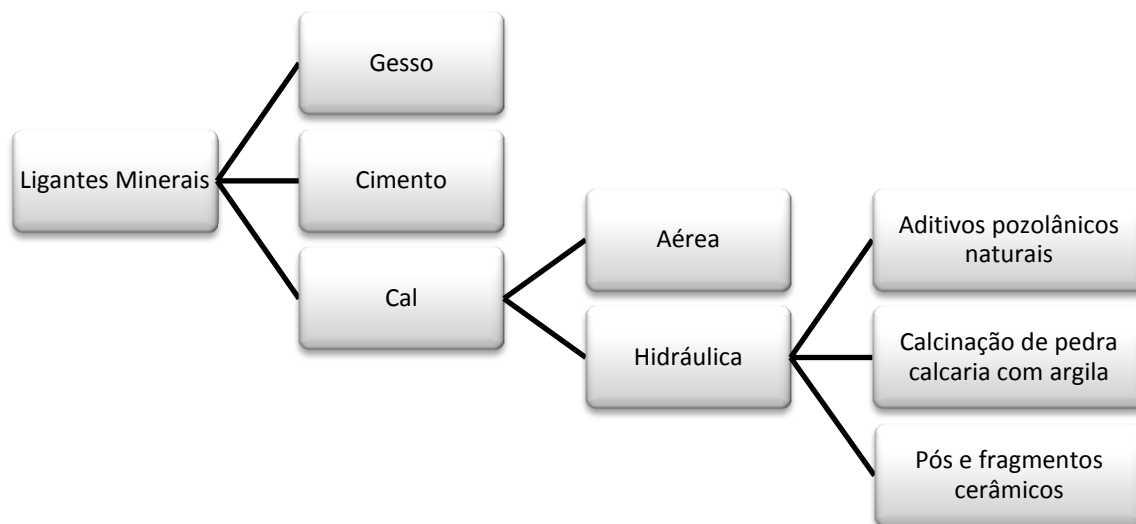


Figura 2: Tipos de ligantes usados na formulação de argamassas (PAULO, 2006).

Ligante de gesso

O gesso é um material que se apresenta na natureza como sulfato de cálcio, CaSO_4 , na forma hidratada. Apresenta-se como um material de presa rápida, de fácil obtenção e com um dispêndio energético reduzido na sua produção uma vez que não necessita de altas temperaturas. No entanto apresenta uma baixa resistência e solubilidade elevada (MARQUES, 2005).

Ligante de cimento

O cimento é o ligante mais comum na construção civil. Apresenta-se como um ligante hidráulico de cura rápida e de fácil trabalhabilidade. Permite a produção de argamassas de elevada resistência, baixa permeabilidade e com boa resistência à cristalização de sais no interior dos poros. No entanto é um ligante que confere maior introdução de sais no sistema, podendo originar patologias (OLIVEIRA et al., 2007, OLIVEIRA, 2008).

De acordo com a EN 197-1:2011 os cimentos correntes encontram-se organizados em 5 tipos principais, estando definidos 27 tipos de cimento distintos e seis classes de resistência. Este documento normativo tem como objetivo definir e apresentar as especificações dos cimentos correntes, os seus constituintes, composição e os critérios de conformidade.

O uso deste ligante para o fabrico de argamassas, varia consoante a aplicação do produto a fabricar. Assim, no caso dos cimentos-cola, utilizam-se os cimentos de resistência em compressão mais elevada. Outros aspetos, como a finura e sulfatos, são igualmente considerados (VARELA, 2005).

A resistência à compressão é um aspeto importante particularmente para os cimentos-cola mais técnicos, com maiores exigências ao nível da aderência. A finura tem particular interesse na fabricação de produtos que sejam aplicados através de equipamentos de projeção, de forma a facilitar esta operação (VARELA, 2005).

O teor de sulfatos indica a quantidade de gesso adicionada ao cimento. No entanto, sendo útil para o controlo do tempo de presa, em excesso pode dar origem à formação de sais expansivos que colocam em risco a estrutura do cimento hidratado (VARELA, 2005).

Uma gama de cimento muito utilizada no fabrico de argamassas-cola, é o cimento branco. Este distingue-se do cimento cinzento, essencialmente ao nível da cor, sendo a seleção de matérias-primas de qualidade, o calcário branco e o caulino, determinante para a brancura final do produto. As matérias-primas têm de possuir baixos teores em óxidos ferrosos, responsáveis pela pigmentação cinzenta (MARTINS, 2010).

Ligante de cal

A cal foi até ao início do século XX o ligante mais usado na construção, altura em que surge o cimento Portland com maior utilização no país. No entanto devido a necessidades de reabilitação do património edificado, surgem cada vez mais argamassas de cal, uma vez que não apresenta problemas de incompatibilidade neste tipo de obras (SEABRA et al., 2007).

Segundo a norma NP EN 459-1:2002 os ligantes de cal são separados em vários tipos, dos quais se destacam a cal aérea e a cal hidráulica (COSTA, 2008).

O ligante de cal aérea é essencialmente constituído por óxido ou hidróxido de cálcio. Este tipo de ligante endurece muito lentamente quando expostos ao ar por reação com o dióxido de carbono presente na atmosfera. Este ligante proporciona argamassas muito macias e de plasticidade muito elevada o que as torna perfeitas em obras de reabilitação de edifícios antigos. No entanto apresenta um tempo de presa e de endurecimento extremamente lentos, o que à luz do ritmo de construção atual muitas vezes torna impossível a sua aplicação. É um

material que tem ainda de ser aplicado em camadas finas uma vez que apresenta uma contração volúmica elevada o que pode originar tensões críticas e fissuração (COSTA, 2008).

O ligante de cal hidráulica apresenta como grande diferença em relação ao anterior o fato de endurecer quando misturado com água, uma vez que hidrata rapidamente, formando uma película semipermeável, permitindo um período de trabalhabilidade ao retardar o seu endurecimento por determinado período. Após este período de trabalhabilidade o endurecimento é retomado devido à hidratação da camada protegida pela película formada. Proporciona argamassas de boa trabalhabilidade, boa aderência, redução de fissuração, boa resistência mecânica e bom acabamento final (MARQUES, 2005, PAIVA et al., 2007).

2.1.1.3. Água de amassadura

A água de amassadura é um elemento fundamental para que ocorram as reações de hidratação nas argamassas de cal hidráulica e de cimento. Nas argamassas de cal aérea, este elemento da mistura é importante para a trabalhabilidade da argamassa mas não para o endurecimento desta. Esta água deve ser introduzida na mistura na quantidade certa sob pena de criar vazios e uma retração excessiva nas argamassas. Esta água em excesso é denominada água livre. Assim sendo, a água introduzida na mistura deve corresponder à água de molhagem do agregado, somada com a água necessária à hidratação do ligante (COUTINHO, 1997, PAIVA, 2005).

A água de amassadura deve ser de boa qualidade, não apresentando partículas dissolvidas, em suspensão ou cheiros anormais. Em geral, recomenda-se água potável de modo a não alterar os requisitos exigidos às argamassas (PAIVA, 2005).

2.1.1.4. Adjuvantes e aditivos

Os adjuvantes e os aditivos são componentes adicionados às argamassas em reduzidas quantidades com o objetivo que estas adquiram determinadas características (COSTA, 2008).

Segundo A. Coutinho (COUTINHO, 1997), designa-se por adjuvante a substância utilizada em percentagem inferior a 5% da massa de ligante, adicionada durante a amassadura aos componentes normais das argamassas com o fim de modificar certas propriedades destes materiais, quer no estado fluido, quer no estado sólido, quer ainda no momento da passagem de um estado a outro.

As substâncias adicionadas em quantidades superiores a 5% da massa de ligante ou que não tenha qualquer ação em qualquer estado físico denominam-se adições (PAULO, 2006).

De modo a classificar os adjuvantes foi adotada pelo RILEM na conferência de Paris em 1967, a seguinte classificação (PAULO, 2006):

- Modificadores da reologia da massa fresca:
 - Plastificantes / redutores de presa;
 - Introdutores de ar;
 - Plastificantes / introdutores de ar;
 - Retentores de água;
 - Promotores de aderência / coesivos (em vários contextos industriais, estes agentes também são designados por ligantes de origem orgânica (ou ligantes orgânicos));
- Modificadores do tempo de presa:
 - Ativadores de endurecimento;
 - Aceleradores de presa;
 - Retardadores de presa;
- Impermeabilizantes e hidrofugantes;
- Expansivos.

2.1.2. Classificação das argamassas

As argamassas podem ser classificadas de acordo com o organograma da figura 3 (COSTA, 2008, PAULO, 2006):

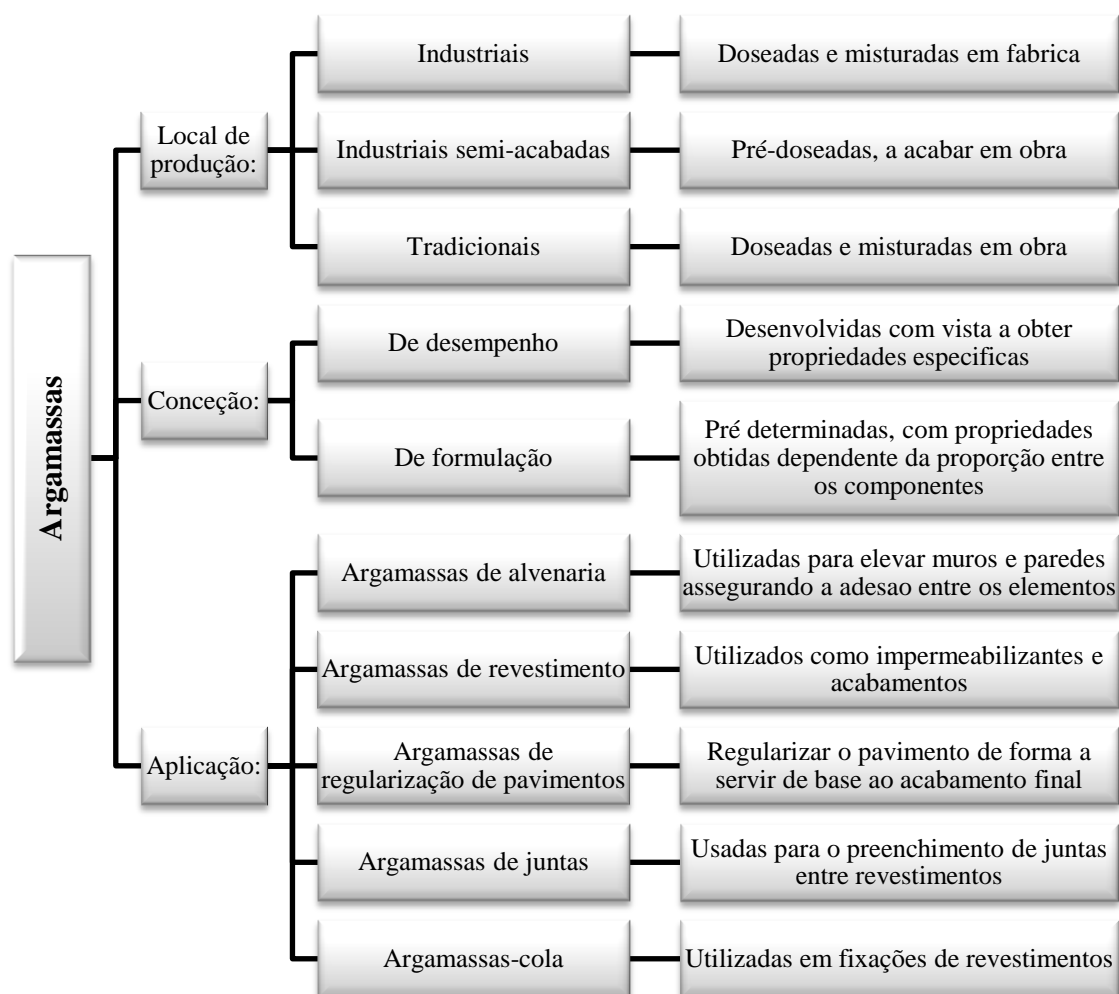


Figura 3: Classificação das argamassas.

No presente trabalho, serão consideradas em particular “argamassas-cola”.

2.1.3. Argamassas de colagem

As argamassas para assentamentos de ladrilhos são denominadas por argamassas-cola ou argamassas adesivas. Estas argamassas caracterizam-se pela sua espessura fina e pela formação de cordões. São produzidas industrialmente e fornecidas na forma de mistura pré-doseada em pó, dependendo a sua composição do tipo de suporte, de revestimento e de ambiente em que se encontra inserido (ALMEIDA et al., 2006, NP EN 12004:2008).

As propriedades destas argamassas de colagem para aplicação de ladrilhos são determinadas principalmente pelo tipo de ligantes utilizados, sendo definidas pela natureza química dos mesmos. Estas variações alteram as propriedades de aplicação e desempenho final (ALMEIDA et al., 2006, NP EN 12004:2008).

Ainda segundo a NP EN 12004:2008, entre esta grande variedade de argamassas-cola existentes à disposição no mercado, destacam-se três tipos: cimento-cola, adesivo em dispersão e cola reativa.

2.1.3.1. Cimentos cola, C

Cimentos-cola definem-se como sendo uma mistura de ligante hidráulico, agregados e aditivos orgânicos. A esta mistura é adicionada água ou líquido de adição imediatamente antes da sua utilização (NP EN 12004:2008). Os cimentos-cola devem cumprir os requisitos da tabela 1.

Tabela 1: Especificações para cimentos-cola (NP EN 12004:2008).

<u>CARACTERISTICAS FUNDAMENTAIS</u>		
1a	CIMENTOS-COLA DE PRESA NORMAL	
<u>Característica</u>	<u>Requisito</u>	<u>Método de ensaio</u>
Tensão de aderência inicial à tração	$\geq 0,5\text{N/mm}^2$	8.2 da EN 1348:2007
Tensão de aderência à tração após imersa em água	$\geq 0,5\text{N/mm}^2$	8.3 da EN 1348:2007
Tensão de aderência à tração após ação do calor	$\geq 0,5\text{N/mm}^2$	8.4 da EN 1348:2007
Tensão de aderência à tração após ciclos de gelo-degelo	$\geq 0,5\text{N/mm}^2$	8.5 da EN 1348:2007
Tempo aberto: tensão de aderência à tração	$\geq 0,5\text{N/mm}^2$ após não menos de 20 min.	EN 1346
1b	CIMENTOS-COLA DE PRESA RÁPIDA	
<u>Característica</u>	<u>Requisito</u>	<u>Método de ensaio</u>
Tensão de aderência rápida à tração	$\geq 0,5\text{N/mm}^2$ após não mais de 6h	8.2 da EN 1348:2007
Tempo aberto: tensão de aderência à tração	$\geq 0,5\text{N/mm}^2$ após não menos de 10 min	EN 1346
Todos os outros requisitos da tabela 1a		EN 1348
<u>CARACTERISTICAS OPCIONAIS</u>		
1c	CARACTERISTICAS ESPECIAIS	
<u>Característica</u>	<u>Requisito</u>	<u>Método de ensaio</u>
Deslizamento	$\leq 0,5\text{mm}$	EN 1308
Tempo aberto prolongado: tensão de aderência à tração	$\geq 0,5\text{N/mm}^2$ após não menos de 30 min	EN 1346
Cimento-cola deformável: deformação transversal	$\geq 0,5\text{N/mm}^2$ e $< 5\text{mm}$	EN 12002
Cimento-cola altamente deformável: deformação transversal	$\geq 5\text{mm}$	EN 12002
1d	CARACTERISTICAS ADICIONAIS	
<u>Característica</u>	<u>Requisito</u>	<u>Método de ensaio</u>
Elevada tensão de aderência inicial à tração	$\geq 1\text{N/mm}^2$	8.2 da EN 1348:2007
Elevada tensão de aderência à tração após imersão em água	$\geq 1\text{N/mm}^2$	8.3 da EN 1348:2007
Elevada tensão de aderência à tração após ação do calor	$\geq 1\text{N/mm}^2$	8.4 da EN 1348:2007
Elevada aderência à tração após ciclos de gelo-degelo	$\geq 1\text{N/mm}^2$	8.5 da EN 1348:2007

2.1.3.2. Colas em dispersão aquosa, D

As colas em dispersão aquosa definem-se como sendo uma mistura de ligantes sob a forma de polímeros em dispersão aquosa, de aditivos orgânicos e de cargas minerais. Esta mistura é comercializada pronta a aplicar (NP EN 12004:2008).

As colas em dispersão aquosa devem apresentar as características listadas na tabela 2 (2a) e, para condições especiais de utilização podem ser requeridas as características opcionais (2b e 2c).

Tabela 2: Especificações para colas em dispersão aquosa (NP EN 12004:2008).

2a	<u>CARACTERISTICAS FUNDAMENTAIS</u>		
<u>Característica</u>	<u>Requisito</u>	<u>Método de ensaio</u>	
Tensão de aderência inicial ao corte	$\geq 1\text{N/mm}^2$	7.2 da EN 1324:2007	
Tensão de aderência ao corte após ação do calor	$\geq 1\text{N/mm}^2$	7.4 da EN 1324:2007	
Tempo aberto: tensão de aderência à tração	$\geq 0,5\text{N/mm}^2$ após não menos de 20 min	EN 1346	
<u>CARACTERISTICAS OPCIONAIS</u>			
2b	<u>CARACTERISTICAS ESPECIAIS</u>		
<u>Característica</u>	<u>Requisito</u>	<u>Método de ensaio</u>	
Deslizamento	$\leq 0,5\text{mm}$	EN 1308	
Tempo aberto prolongado: tensão de aderência à tração	$\geq 0,5\text{N/mm}^2$ após não menos de 30 min	EN 1346	
2c	<u>CARACTERISTICAS ADICIONAIS</u>		
<u>Característica</u>	<u>Requisito</u>	<u>Método de ensaio</u>	
Tensão de aderência após imersão em água	$\geq 0,5\text{N/mm}^2$	7.3 da EN 1324:2007	
Tensão de aderência a alta temperatura	$\geq 1\text{N/mm}^2$	7.5 da EN 1324:2007	

2.1.3.3. Colas de resinas de reação, R

As colas de resinas de reação definem-se como sendo uma mistura de resinas sintéticas, cargas minerais e aditivos orgânicos, em que o endurecimento ocorre por reação química. Estas colas são fornecidas sob a forma de um ou mais componentes (NP EN 12004:2008) e, devem estar em conformidade com as características enumeradas na tabela 3 (3a). Para condições especiais de utilização podem ser requeridas as características opcionais apresentadas na tabela 3 em 3b e 3c.

Tabela 3: Especificações para colas de resinas de reação (NP EN 12004:2008).

3a	<u>CARACTERISTICAS FUNDAMENTAIS</u>	
<u>Característica</u>	<u>Requisito</u>	<u>Método de ensaio</u>
Tensão de aderência inicial ao corte	$\geq 2\text{N/mm}^2$	7.3 da EN 12003:1997
Tensão de aderência ao corte após imersão em água	$\geq 2\text{N/mm}^2$	7.4 da EN 12003:1997
Tempo aberto: tensão de aderência à tração	$\geq 0,5\text{N/mm}^2$ após não menos de 20 min	EN 1346
<u>CARACTERISTICAS OPCIONAIS</u>		
3b	<u>CARACTERISTICAS ESPECIAIS</u>	
<u>Característica</u>	<u>Requisito</u>	<u>Método de ensaio</u>
Deslizamento	$\leq 0,5\text{mm}$	EN 1308
3c	<u>CARACTERISTICAS ADICIONAIS</u>	
<u>Característica</u>	<u>Requisito</u>	<u>Método de ensaio</u>
Tensão de aderência após choque térmico	$\geq 2\text{N/mm}^2$	7.5 da EN 12003:1997

2.1.3.4. Classificação e designação de argamassas-cola

Com já foi referido, as argamassas-cola para ladrilhos são definidas em três tipos, sendo que para cada tipo referido é possível considerar diferentes classes, sendo designadas de acordo com a NP EN 12004:2008 por:

- 1 – Cola normal
- 2 – Cola melhorada
- F – Cola de presa rápida
- T – Cola com deslizamento reduzido
- E – Cola com tempo aberto alongado
- S1 – Cola deformável
- S2 – Cola altamente deformável

A designação das argamassas-cola é feita com o símbolo do tipo (C, D ou R), seguido da abreviatura da classe ou classes a que pertence a cola, de acordo com a NP EN 12004:2008, conforme ilustra a tabela 4:

Tabela 4: Exemplos de classificação e designação de argamassas-cola (NP EN 12004:2008).

SÍMBOLO		DESCRIÇÃO
TIPO	CLASSE	
C	1	Cimentos-cola de presa normal
C	1E	Cimentos-cola de presa normal com tempo aberto prolongado
C	1F	Cimentos-cola de presa rápida
C	1FT	Cimentos-cola de presa rápida com deslizamento reduzido
C	2	Cimentos-cola melhorados
C	2E	Cimentos-cola melhorados com tempo aberto prolongado
C	2F	Cimentos-cola de presa rápida melhorados
C	2S1	Cimentos-cola deformáveis melhorados
C	2S2	Cimentos-cola altamente deformáveis melhorados
C	2FT	Cimentos-cola de presa rápida melhorados e com deslizamento reduzido
C	2FTS1	Cimentos-cola de presa rápida deformáveis melhorados e com deslizamento reduzido
D	1	Colas em dispersão aquosa normal
D	1E	Colas em dispersão aquosa normal com tempo aberto prolongado
D	1T	Colas em dispersão aquosa normal com deslizamento reduzido
D	2	Colas em dispersão aquosa melhorada
D	2T	Colas em dispersão aquosa melhorada e com deslizamento reduzido
D	2TE	Colas em dispersão aquosa melhorada e com deslizamento reduzido e tempo aberto alongado
R	1	Cola de resina de reação normal
R	1T	Cola de resina de reação normal com deslizamento reduzido
R	2	Cola de resina de reação melhorada
R	2T	Cola de resina de reação melhorada com deslizamento reduzido

2.1.3.5. Normas Europeias para argamassas-cola

A partir de 2004 deu-se início ao desenvolvimento de normativas europeias com o intuito de homogeneizar as normas presentes em cada país tendo em vista a apresentação da marcação CE aplicáveis às argamassas-cola. Estas normas são traduzidas na tabela 5:

Tabela 5: Normas relacionadas com as argamassas-cola (APFAC).

ARGAMASSAS-COLA	
REFERÊNCIA	TÍTULO
NP EN 12004	Colas para ladrilhos. Requisitos, avaliação da conformidade, classificação e designação.
EN 1308	Adhesives for tiles. Determination of slip resistance.
EN 1323	Adhesives for tiles. Concrete slab for tests.
EN 1324	Adhesives for tiles. Determination of shear adhesion strength of dispersion adhesives.
EN 1346	Adhesives for tiles. Determination of open time.
EN 1347	Adhesives for tiles. Determination of wetting capability.
EN 1348	Adhesives for tiles. Determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives.
EN 12002	Adhesives and grouts for tiles. Determination of transverse deformation for cementitious adhesives and grouts.
EN 12003	Adhesives for tiles. Determination of shear adhesion strength of reaction resin adhesives.
EN 12808-1	Adhesives and grouts for tiles. Determination of chemical resistance of reaction resin mortars.
EN 13888	Grouts for tiles. Definitions and specifications.
EN 12808-2	Grouts for tiles. Determination of resistance to abrasion.
EN 12808-3	Grouts for tiles. Determination of shrinkage.
EN 12808-4	Grouts for tiles. Determination of flexural and compressive strength.
EN 12808-5	Grouts for tiles. Determination of water absorption.
EN 1067	Adhesives. Examination and sampling for testing.

2.2.Aderência de revestimentos cerâmicos com argamassa

Um revestimento cerâmico aderente é constituído por um sistema complexo, do qual fazem parte essencialmente três componentes: suporte, argamassa de colagem e cerâmico.

Os revestimentos devem garantir uma adequada aderência ao suporte durante o seu tempo de vida útil, para tal é necessário escolher os materiais (ladrilho e argamassa adesiva), adequados ao suporte, e efetuar uma correta aplicação de todos os materiais envolvidos. A falta de aderência destes revestimentos conduz a destacamentos, que poderão ser agravados

pela ação dos agentes de degradação e originar situações de perigo para os utentes ou transeuntes, como por exemplo, a queda de ladrilhos (LUCAS et al., 2005).

2.2.1. Avaliação da aderência

A aderência, segundo a EMO (EMO, 2001), corresponde à força máxima de rotura, por unidade de superfície, de uma argamassa, aplicada sob um suporte, que pode ser determinada por aplicação de uma força de tração ou corte.

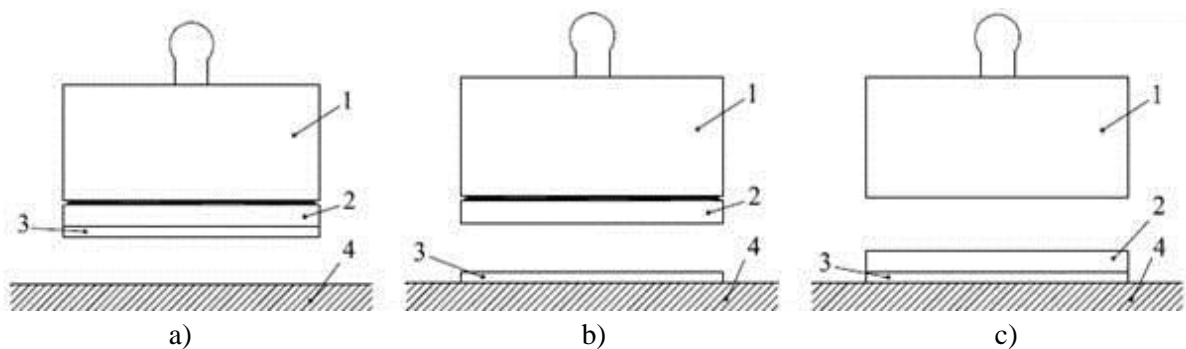
Esta tensão de aderência é avaliada segundo a EN 1348:2000, quando se trata de um cimento-cola, pela EN 1324:2007, para as colas em dispersão aquosa e pela EN 12003:2008 quando se trata de uma resina de reação.

A avaliação da tensão de aderência, para cimentos cola, é realizada por ensaios de resistência à tração perpendicular, vulgarmente designado por ensaio *pull off*. Este ensaio consiste na extração de uma pastilha metálica, com o auxílio de um mecanismo de arrancamento (dinamómetro), previamente colada ao ladrilho com uma resina epóxi. O mecanismo de arrancamento mede a força necessária para provocar o arrancamento, sendo posteriormente possível determinar a tensão máxima de arrancamento aplicável ao ladrilho (COLLEN et al., 2007).

Esta característica apresenta-se como sendo a principal propriedade de uma argamassa-cola. A sua avaliação deve ter sempre em conta o tipo de rotura de modo a compreender o local exato onde esta ocorreu. Segundo, a NP EN 12004:2008 pode existir rotura adesiva ou rotura coesiva e ainda as duas simultaneamente (NP EN 12004:2008).

- Rotura adesiva (figura 4):
 - Rotura adesiva entre a cola e o suporte, AF-S;
 - Rotura adesiva entre o ladrilho e a cola, AF-T;
 - Rotura adesiva entre o ladrilho e a peça de tração, BT.

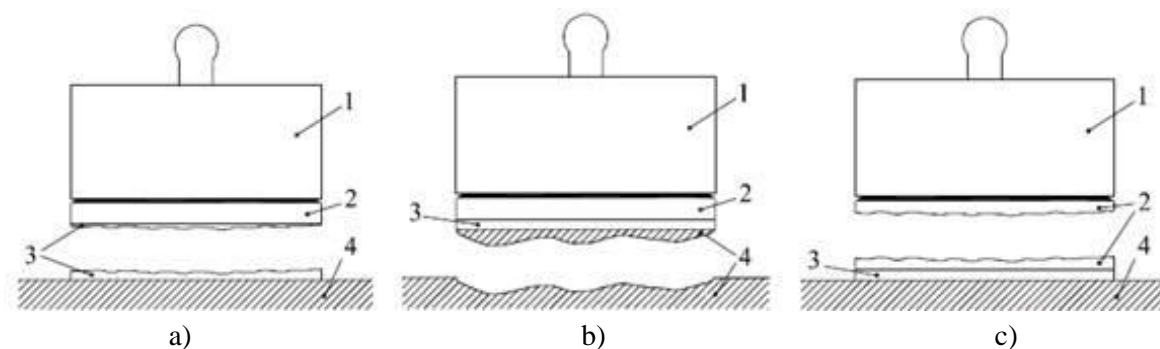
- Rotura coesiva (figura 5):
 - Rotura coesiva na cola, CF-A;
 - Rotura coesiva no suporte, CF-S;
 - Rotura coesiva no ladrilho, CF-T.



a) b) c)

1- Acessório de tração; 2- Ladrilho; 3- Argamassa-cola; 4- Suporte.

Figura 4: Tipos de rotura adesiva: a) AF-S; b) AF-T; c) BT (NP EN 12004:2008).



a) b) c)

1- Acessório de tração; 2- Ladrilho; 3- Argamassa-cola; 4- Suporte.

Figura 5: Tipos de rotura coesiva: a) CF-A; b) CF-S; c) CF-T (NP EN 12004:2008).

A aderência é influenciada por vários fatores, nomeadamente, natureza do suporte (rugosidade superficial, teor de humidade inicial e sucção capilar), tipo de material de revestimento (natureza do material, dimensões, espessuras e porosidade), tipo de argamassa de fixação e condições gerais durante a aplicação (atmosféricas, mão-de-obra e sujeição em serviço).

2.2.2. Patologias de desprendimento dos revestimentos cerâmicos

Quando a aderência de um ladrilho cerâmico ao suporte se encontra comprometida, pode ocorrer o seu desprendimento, em qualquer zona do revestimento. No entanto existem pontos singulares onde a ocorrência desta rotura é mais incidente, nomeadamente pontos de acumulação de tensões normais ao plano de assentamento e tensões de corte. Estes pontos, encontram-se sobretudo próximos de descontinuidades ou zonas fronteiriças (figura 6).



Figura 6: Destacamento de cerâmicos: a) Zona corrente; b) Zona de extremidade (CHAVES, 2009).

As patologias associadas à falta de aderência podem apresentar diversas origens (LUCAS et al., 2005), tais como deficiências de concepção e projeto, deficiências de execução, anomalias nos suportes, erros de utilização, deficiências de manutenção e limpeza e entrada precoce do revestimento em serviço.

- Deficiências de concepção ou projeto:
 - Restrição de deformações impostas;
 - Cargas estáticas ou quase estáticas;
 - Choques mecânicos;
- Deficiências de execução:
 - Desrespeito pelo tempo de abertura da cola, ou seja, assentamento de ladrilhos sobre cola com tempo de abertura já ultrapassado;
 - Assentamento demasiado ligeiro dos ladrilhos, isto é, sem que tenha havido o cuidado de durante a sua aplicação e em simultâneo, lhes transmitir uma pequena rotação e de os pressionar sobre os cordões de cola;
 - Desrespeito pelo tempo de repouso, pelo tempo de ajustamento ou, sobretudo, pelo tempo prático de utilização da cola;
 - Desrespeito pelos intervalos de tempo que devem decorrer entre as sucessivas fases de execução duma obra e do próprio revestimento;
 - Falta de preparação adequada das superfícies a colar ou a ligar, suporte, tardo dos ladrilhos, bordos dos ladrilhos, flancos da junta de suporte, entre outros;
 - Amassadura deficiente das colas ou dos produtos de preenchimento de juntas entre ladrilhos;
 - Execução do revestimento em condições atmosféricas adversas;

- Falta de controlo da qualidade da colagem;
- Aplicação da cola em espessura fora dos limites recomendados;
- Opção por colagem simples em situações em que a colagem dupla seja imprescindível;
- Preenchimento incompleto das juntas entre ladrilhos;
- Anomalias nos suportes;
- Erros de utilização;
- Deficiências de manutenção e limpeza;
- Entrada precoce do revestimento em serviço

No caso da lâmina cerâmica é, ainda, de salientar que as patologias associadas à falta de aderência podem ter origem na escolha da argamassa-cola, escolha de argamassas não compatíveis com o tardo da lâmina e, na ocorrência de pequenas fissuras durante o seu manuseamento, devido às elevadas dimensões e reduzida espessura.

2.3.Revestimentos cerâmicos de aderência difícil

Como referido anteriormente, os ladrilhos cerâmicos utilizam-se desde longa data no revestimento de pavimentos e paredes, em interior e exterior. Estes apresentam vantagens relativamente a outros revestimentos, tais como, uma maior durabilidade, fácil limpeza e acabamentos esteticamente mais agradáveis (AGUIAR et al., 2007).

Usualmente, os cerâmicos apresentam-se com 8 a 12mm de espessura, tendo surgido recentemente no mercado cerâmicos mais finos, de grés porcelânico, denominados de lâmina cerâmica (GRIESE, 2010).Para além de sua porosidade muito baixa poderão apresentar dificuldades acrescidas ao nível do tardo modificado que dificulta particularmente a aderência ao suporte na construção.

2.3.1. Tipos de lâmina cerâmica

As lâminas cerâmicas podem ser classificadas em 3 categorias. Na primeira categoria, o processo produtivo é semelhante ao dos cerâmicos tradicionais, por prensagem, tendo no entanto espessuras mais reduzidas, entre 5 e 6mm. Na segunda categoria, os cerâmicos são produzidos em grandes folhas com 3 a 4mm de espessura, que posteriormente podem ser cortadas nas dimensões desejadas, possuindo elevada flexibilidade permitindo a instalação em

superfícies curvas. A terceira categoria de lâmina cerâmica surge com a necessidade de melhorar a resistência mecânica da lâmina, pois ao aumento de dimensões está associado um decréscimo de resistência mecânica. Esta terceira categoria é obtida por um processo semelhante à anterior, sendo no entanto reforçada com fibras de vidro tecidas numa malha de reforço, aplicada diretamente na parte de trás da lâmina, com produtos adesivos de resina epóxi, para uma melhor resistência à rotura/fratura (GRIESE, 2010, MARVÃO et al., 2012).

A elevada dimensão destes cerâmicos e o facto do seu tardo estar revestido com fibra de vidro conduz desde logo a preocupações adicionais, sendo necessário garantir a aderência da argamassa-cola ao tardo do cerâmico, não esquecendo que o material do tardo da lâmina, rede de fibra de vidro, não apresenta compatibilidade química com muitos dos materiais de fixação atuais (MARVÃO et al., 2012).

Quando se tem um substrato poroso, a aderência entre este e a argamassa dá-se pela transferência de água que ocorre entre a argamassa e o substrato, possibilitando a entrada da pasta de cimento nos poros do betão que, ao hidratar, precipita hidróxidos e silicatos que promovem a ancoragem do revestimento. No entanto, num substrato pouco poroso, a baixa absorção não permite a entrada da pasta que promove a ancoragem, prejudicando a aderência entre os materiais. No caso da lâmina cerâmica este problema é agravado pela baixa porosidade apresentada pela mesma. Esta combinação torna-se crítica para aplicações de ladrilhos de grandes dimensões, nomeadamente em aplicações em exterior (CARASEK, 1996, PEREIRA et al., 2012, WETZEL et al., 2010).

O comportamento mecânico destes materiais apresenta-se como outro problema. Segundo Bill Griese, a lâmina cerâmica tem uma menor resistência ao impacto quando comparada com os cerâmicos tradicionais, mesmo no caso das lâminas cerâmicas reforçadas com fibra de vidro (GRIESE, 2010). Assim, deve-se garantir, no momento da aplicação, que todo o tardo da lâmina está coberto de argamassa-cola, para evitar danos causados por carregamentos ou impacto. Também as áreas não apoiadas por argamassa, especialmente nas extremidades da lâmina, tornam-se suscetíveis a quebra, sendo colocada ainda a questão da rigidez da argamassa mesmo quando a cobertura do tardo é total, questionando se a argamassa tem deformabilidade suficiente.

Prevê-se que o aumento da área do tardo do da lâmina cerâmica em contato com a argamassa-cola, melhora a resistência ao deslocamento e aumenta a resistência do cerâmico, a danos de impacto (CASS, 2004).

Por outro lado, as tensões de clivagem aumentam consideravelmente nas extremidades das peças cerâmicas com o aumento da dimensão dos cerâmicos. Assim, a presença de juntas entre ladrilhos cerâmicos reduz a tensão máxima de clivagem. (FELIXBERGER, 2006). Sendo a lâmina cerâmica de grandes dimensões, as juntas são reduzidas, não sendo possível a redução das tensões de clivagem com uma maior abundância destas no painel de aplicação, uma vez que o corte em peças de menor dimensão iria alterar os pressupostos arquitetônicos destas.

A influência da espessura da argamassa-cola contribui significativamente para a redução da tensão de clivagem. A tensão de corte na argamassa de fixação aumenta exponencialmente para uma espessura de camada de adesivo inferior a 1mm, sendo apenas com a aplicação de uma camada adesiva de espessura superior a 4mm permite uma redução na tensão de clivagem (FELIXBERGER, 2006).

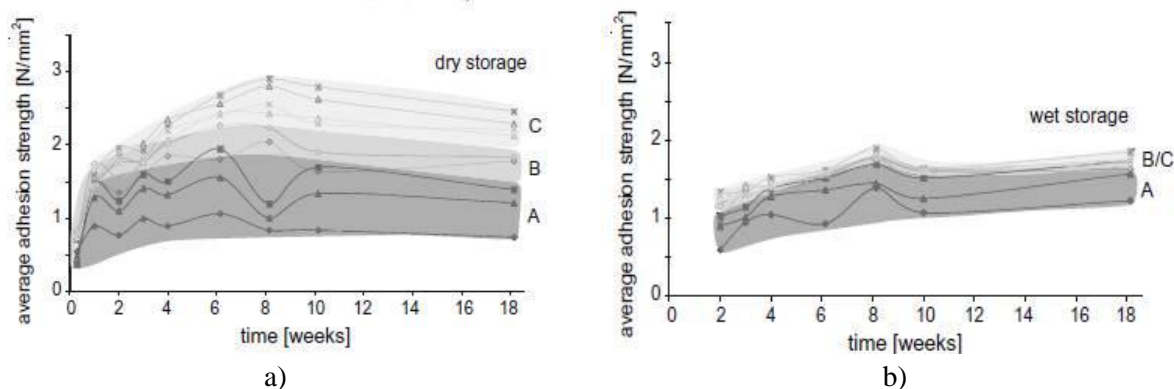
2.3.2. Transporte de água e propriedades de adesão em cerâmicos de grandes dimensões

A aplicação de revestimentos cerâmicos, sobretudo em ambiente exterior, implica a necessidade de um estudo aprofundado do transporte de água e propriedades de adesão, especialmente, em revestimentos cerâmicos de grande dimensão.

De acordo com o estudo realizado por Wetzel et al (WETZEL et al., 2010), o valor das tensões de aderência num ladrilho de dimensões de 300x300mm diferem da periferia para o centro. Este trabalho foi conduzido em duas vertentes principais de estudo, comparando-se os resultados obtidos de ensaios de amostras armazenadas em condições padrão (23°C e 50% Hr) e após armazenamento das amostras em água. Assim, foram obtidos, para a amostra em condições padrão, valores de tensão de aderência mais elevados junto ao núcleo central da amostra de ensaio, quando comparados com os valores obtidos na mesma amostra, junto às extremidades. Estas diferenças ocorrem para todos os tempos de ensaio, variando apenas a amplitude das mesmas, como demonstrado na figura 7. Quando realizados os ensaios da amostra após imersão em água, foram registados valores de tensão de aderência

significativamente menores, verificando-se que a tendência de valores mais elevados junto ao núcleo central se mantinha. No entanto, esta diferença, além de apresentar menores valores, mantinha ao longo dos tempos de ensaio uma amplitude semelhante, figura 7.

Segundo o estudo realizado por Winnefeld (WINNEFELD et al., 2012), o valor da tensão de aderência varia ao longo do tempo de acordo com a distancia ao centro do ladrilho. Com os resultados obtidos, foi possível verificar que, aos 7 dias, a tensão de aderência é superior na periferia, em relação ao centro. Porém, aos 28 dias, o mesmo não se verifica, tendo sido obtidos resultados de tensão de aderência superiores ao centro ao invés das extremidades.



a) A-Extremidade paralela ao penteado; B-Extremidade perpendicular ao penteado; C-Núcleo central
 Figura 7: Valores médios da tensão de adesão nas posições dadas em função do tempo para: a) Condições padrão; b) Armazenagem em água (WETZEL et al., 2010).

Estes factos podem ser explicados, devido ao processo de secagem da argamassa. Uma vez que este processo decorre das extremidades para o centro, verifica-se, aos 7 dias, uma secagem mais avançada nas extremidades em relação ao centro. No entanto, esta secagem mais demorada da argamassa central, conduz, aos 28 dias, a resultados de aderência superiores, uma vez que a retração da argamassa é inferior, limitando a ocorrência de fissuração na interface argamassa-ladrilho (WETZEL et al., 2010, WINNEFELD et al., 2012).

O papel do transporte de água revela-se de importância acrescida nos ladrilhos de grande dimensão, uma vez que, não sendo possível uma pressão uniforme sobre o ladrilho, as extremidades são mais suscetíveis à entrada de água, levando ao transporte de água e, conseqüentemente, à precipitação de minerais na interface argamassa-ladrilho. Este fenómeno pode conduzir a uma rotura do ladrilho, sendo mais provável a sua ocorrência após vários ciclos de molhagem/secagem (WETZEL et al., 2012).

No processo de avaliação da tensão de aderência é crucial ter em atenção o modo de rotura, de modo a compreender o local exato onde esta ocorreu. Segundo Wetzel et al (WETZEL et al., 2010), em amostras de teste armazenadas em condições padrão (23°C e 50%Hr), a mudança do padrão de rotura depende da disposição das cristas e sulcos do penteado de argamassa, assim como do tempo decorrido. Deste modo, a rotura adesiva ocorre sobretudo entre as cristas e o ladrilho, enquanto a rotura coesiva ocorre nos sulcos. Em termos de evolução temporal, a percentagem de rotura adesiva mantém-se praticamente inalterada até às quatro semanas, decrescendo após este período. A rotura coesiva, ocorre à profundidade máxima da camada de argamassa na segunda semana, permanecendo a este nível até à quarta semana. Após este período, o nível a que ocorre a rotura, altera-se para valores menos profundos. Nas amostras armazenadas em água, é notória uma evolução diferente nos modos de rotura, ocorrendo a níveis profundos logo no início, tornando-se praticamente plana após as 18 semanas.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo, apresentam-se os materiais utilizados e descreve-se o processo de caracterização dos mesmos. Seguidamente, é descrita uma metodologia de avaliação da compatibilidade entre a lâmina cerâmica e as diversas argamassas-cola. Consequentemente, com o objetivo de melhorar a adesão entre a lâmina e a cola são executadas modificações no tardo da lâmina e é feita uma avaliação destas novas superfícies. Por último, faz-se a descrição de ensaios complementares para avaliação da influência de parâmetros adicionais como ferramentas de aplicação, primários de aderência e métodos alternativos de análise.

3.1. Caracterização das argamassas-cola

Inicialmente, foi realizada uma seleção de três tipos de argamassas-cola, um cimento cola de presa normal (C1) com tempo aberto alongado e deslizamento reduzido, futuramente designado por CC.1, um cimento cola deformável melhorado (C2S1) com tempo aberto alongado e deslizamento reduzido, designado por CC.2 e, um cimento cola melhorado altamente deformável (C2S2) com tempo aberto alongado e deslizamento reduzido, designado por CC.3. Com o intuito de avaliar as suas características físicas, químicas e mecânicas fez-se uma análise completa ao produto em pó, em pasta e endurecido.

No decorrer do trabalho foram ensaiadas novas argamassas-cola, com base em resinas de base epoxídica, bi-componente, designadas por RE.1 e RE.2. Testaram-se, ainda, dois tipos de cimentos-cola, ambos de presa rápida, designados de CC.4 e CC.5, cimento cola de presa rápida, com tempo aberto alongado e cimento cola de presa rápida, altamente deformável, com tempo aberto alongado e deslizamento reduzido, respetivamente. Estas argamassas foram analisadas essencialmente do ponto de vista da aderência.

A tabela 6 identifica os ensaios de caracterização realizados a cada uma das argamassas. Salienta-se que todos os ensaios foram realizados em condições normalizadas de acordo com as recomendações da norma NP EN 12004:2008 / EN 1348:2007 ($23\pm 2^{\circ}\text{C}$, humidade relativa $50\pm 5\%$ e uma velocidade de circulação de ar na área de ensaio inferior a $0,2\text{m/s}$).

Tabela 6: Ensaio realizados para cada argamassa-cola avaliada.

ESTADO DO PRODUTO	ENSAIOS		ARGAMASSAS-COLA							
			CC.1	CC.2	CC.3	CC.4	CC.5	RE.1	RE.2	
PRODUTO EM PÓ	Massa perdida por calcinação		X	X	X					
PRODUTO EM PASTA	Massa volúmica aparente		X	X	X					
	Tempo de presa		X	X	X	X	X			
	Retenção de água		X	X	X					
	Poder molhante		X	X	X				X	
	Transferência		X	X	X				X	
PRODUTO ENDURECIDO	Aderência por tração perpendicular	Inicial	7 dias	X	X	X			X	X
			14 dias	X	X	X			X	X
			28 dias	X	X	X			X	X
		Imersão		X	X	X			X	X
		Calor		X	X	X			X	X
		Tempo aberto (30 min)		X	X	X				X
		Deformação transversal			X	X			X	X

3.1.1. Caracterização dos produtos em pó

Para caracterização das argamassas-cola no estado de pó executaram-se ensaios de perda de massa para várias temperaturas.

3.1.1.1. Determinação da perda de massa a 70°, 500° e 900°C

As temperaturas selecionadas para caracterizar o material através da perda de massa foram 70°, 500° e 900°C. A escolha destas temperaturas teve por base questões logísticas, uma vez que o laboratório onde foram realizados os ensaios dispõe, para controlo de qualidade, de uma estufa regulada a 70°C e uma mufla regulável para 500° e 900°C.

A determinação da quantidade de massa perdida por ação do calor é um processo que permite, a 70°C conhecer a fração de água livre, a 500°C a fração de matéria orgânica (no caso das argamassas-cola, permite identificar a fração de resina e água de constituição de alguns constituintes hidratados presentes na argamassa), a 900°C, permite identificar a fração de carbonatos, uma vez descontadas as perdas de peso anteriores.

O ensaio realiza-se de acordo com as normas UNE 83-207-85 e CSTB (2669-4). O processo inicia-se com a pesagem da amostra (M1) em balança com resolução de 0,0001g. Coloca-se a amostra na estufa a 70°C ou na mufla a 500° ou a 900°C, consoante se esteja a fazer a perda de massas a 70°, 500° ou a 900°C, respetivamente, durante um período mínimo de quatro horas.

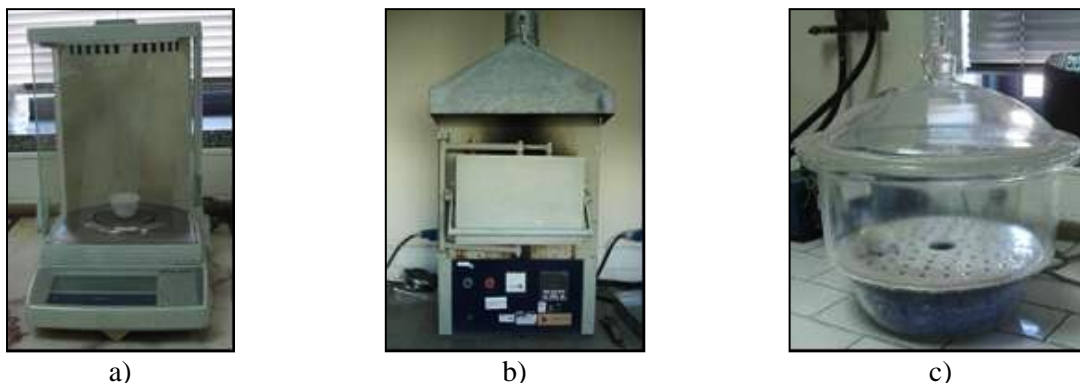


Figura 8: Equipamento utilizado na determinação da perda de massa por ação da temperatura: a) Balança com resolução de 0,0001g com cadinho contendo amostra de argamassa-cola; b) Mufla; c) Excicador.

Decorridas as quatro horas, retiram-se as amostras da estufa (ou mufla) e colocam-se durante 30 minutos no excicador, até a sua temperatura estabilizar à temperatura ambiente, pesando-se de seguida a amostra (M2).

O resultado expressa-se em percentagem e obtém-se através da seguinte fórmula:

$$\% \text{ Massa Perdida} = \left(\frac{M1 - M2}{M1} \right) \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

3.1.2. Caracterização dos produtos em pasta

Para a caracterização das argamassas-cola no estado fresco (pasta) determinou-se a quantidade de água necessária para se obter um amassado com a trabalhabilidade desejada. Em seguida, efetuou-se o amassado e iniciaram-se os ensaios de caracterização do produto em pasta: determinação da massa volúmica, do tempo de presa, capacidade de retenção de água, poder molhante e transferência.

3.1.2.1. Determinação da percentagem de água do amassado

A primeira etapa na preparação do amassado consiste na determinação da percentagem de água adequada, de forma a que a argamassa apresente a trabalhabilidade desejada.

Amassam-se 200 gramas de produto, com a ajuda de uma espátula, adicionando-se gradualmente água até se obter a trabalhabilidade desejada. A pasta deverá possuir uma fluidez de Bingham, não devendo ser excessivamente fluída.

Após determinação da percentagem de água, de modo a confirmar a trabalhabilidade da argamassa, realizam-se ensaios de espalhamento (*flow test*), de acordo com a EN 1015-3:1999. O ensaio consiste em medir a fluidez da argamassa sobre uma mesa compactadora. Coloca-se o molde troncocónico sobre o centro da mesa compactadora, com a abertura de maior diâmetro (100mm) em contacto com a mesa, introduz-se o produto amassado no interior do conjunto e com o auxílio de uma espátula alisa-se a superfície do molde, de modo a retirar o excesso de produto. Retira-se o molde e aplicam-se 15 batidas espaçadas de 1 segundo. No final, mede-se o diâmetro do espalhamento da pasta obtido. Por norma, é o ensaio de espalhamento que determina a água de amassadura. Porém, para argamassas-cola, considerando a elevada aderência da pasta, o ensaio de espalhamento serve apenas para apresentar uma medida como consequência da decisão empírica sobre a água de amassadura.

3.1.2.2. Amassadura

Após a determinação da percentagem de água, introduz-se no recipiente da amassadora a quantidade de água correspondente à percentagem determinada e adiciona-se, cuidadosamente, 2kg de produto à água. Seguidamente, com recurso a uma espátula, procede-se à homogeneização manual, de forma a evitar perdas de material na fase seguinte. Esta fase corresponde a homogeneização automática durante 30 segundos, na amassadora (Figura 9). Decorrido este tempo procede-se a mais uma homogeneização manual, durante um minuto e, de seguida, a mais uma homogeneização automática também durante um minuto. Aguarda-se dois minutos de tempo de repouso e para finalizar mais quinze segundos de homogeneização automática. Todas as etapas de homogeneização automática realizam-se com a amassadora a uma velocidade de 140 rotações por minuto, posição 1.

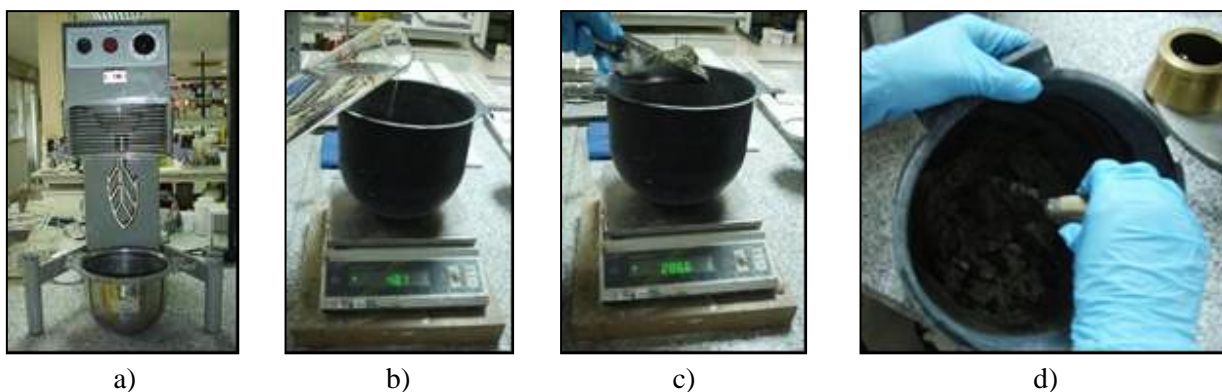


Figura 9: Equipamento utilizado no processo de amassadura: a) Amassadora para homogeneização automática; b).Introdução de água no recipiente da amassadora; c) Adição do produto à água; d) Homogeneização manual.

3.1.2.3. Determinação da massa volúmica aparente

A massa volúmica aparente de uma argamassa fresca determina-se através da utilização de um copo cilíndrico de volume conhecido. Regista-se a massa do copo vazio, enche-se o copo até meio e dão-se 5 batidas intervaladas de um segundo, com o auxílio de uma mesa compactadora. Acaba-se de encher o copo e repete-se o processo de compactação, retira-se o excedente, alisa-se a superfície com o auxílio de uma espátula e regista-se a massa (figura 10).

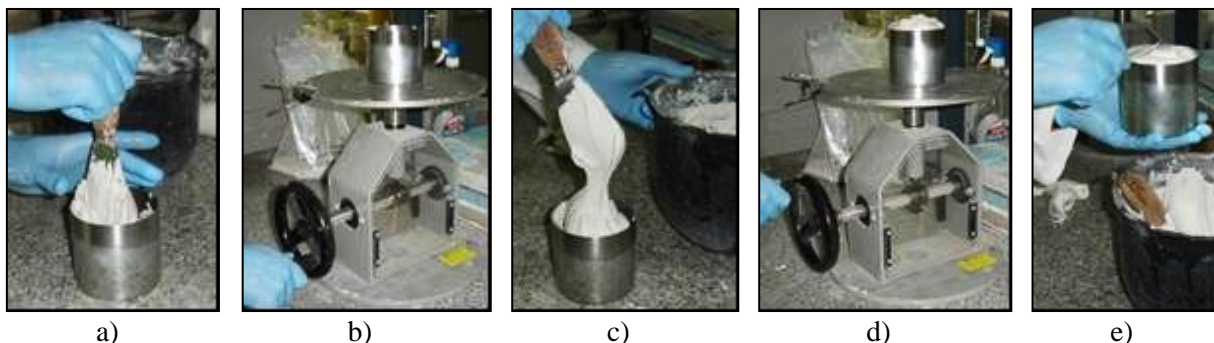


Figura 10: Processo de determinação da massa volúmica: a) Enchimento do copo até meio; b) Compactação; c) Enchimento do copo na totalidade; d) Compactação; e) Remoção do excedente.

A massa volúmica é expressa em g/cm^3 e é determinada pela seguinte equação:

$$\text{Densidade} = \frac{m1 - m0}{Vc} \quad \text{Equação 2}$$

Onde $m1$ e $m0$ são, respetivamente, as massas com o copo cheio de argamassa e o copo vazio e Vc é o volume conhecido do copo.

3.1.2.4. Determinação do tempo de presa do amassado

O tempo de presa determina-se segundo a norma NP EN 196-3:2006, através do método do VICAT. Este consiste em introduzir a argamassa no molde, sem compactação. De seguida, com a ajuda de uma espátula em movimentos retilíneos retira-se o excesso de modo a alisar a superfície (figura 11).

Verifica-se a limpeza da agulha do VICAT, escolhendo-se o intervalo de tempo de 15 minutos entre picagens. Introduce-se o papel de registo no suporte do equipamento e ajusta-se. Por fim coloca-se o molde por baixo da agulha centrado com a base do equipamento e inicia-se o ensaio.

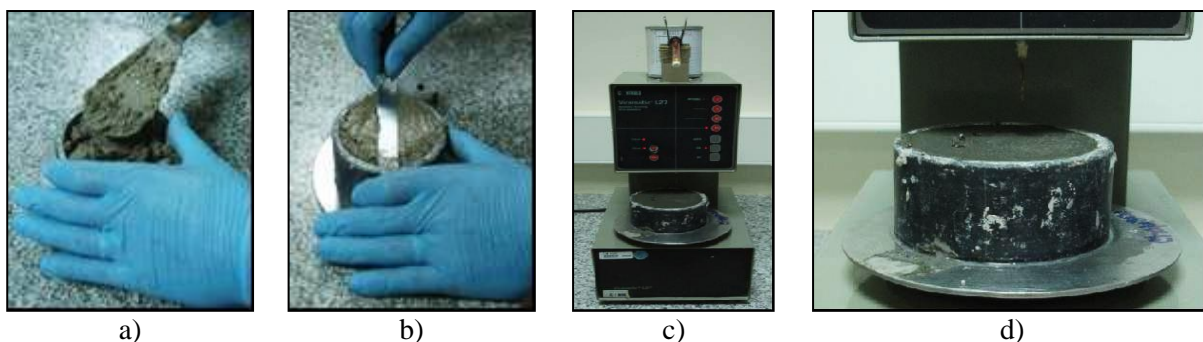


Figura 11: Processo de determinação do tempo de presa: a) Introdução da argamassa no molde do Vicat; b) Remoção do excesso; c) Colocação do molde no Aparelho de Vicat; d) Pormenor da picagem.

O início de presa é dado pelo instante de tempo em que a agulha deixa de penetrar até uma distância constante da base ($6\pm 3\text{mm}$), sendo o fim de presa dado pelo instante em que a agulha deixa de conseguir penetrar mais que $0,5\text{mm}$ na argamassa.

3.1.2.5. Determinação da capacidade de retenção de água

Este procedimento experimental é realiza-se de acordo com a norma CSTB (2669-4).

Após ter o amassado pronto, coloca-se o papel de filtro no recipiente da retenção de água, com dimensão cilíndrica de 2cm de altura e 15cm de diâmetro (figura 12). Com a ajuda de uma pipeta, humedece-se com $2,5\pm 0,1$ gramas de água. Tara-se o conjunto, enche-se com argamassa, e com o auxílio de uma espátula, alisa-se a superfície de modo a retirar o excesso de produto. Pesa-se o conjunto (P_0) e submete-se o mesmo, durante três minutos, à ação da bomba de vácuo sob uma pressão de 700mm Hg . Decorrido este tempo, remove-se a água remanescente do fundo do recipiente e pesa-se novamente o conjunto (P_1).

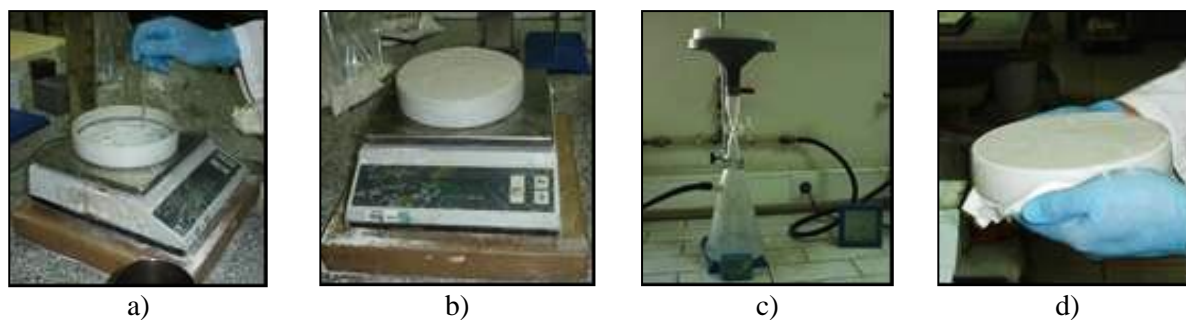


Figura 12: Processo de determinação da capacidade de retenção de água: a) Humidificação do papel de filtro; b) Pesagem de P0; c) Ação da bomba de vácuo; d) Secagem do fundo do recipiente.

Para obtenção da percentagem de água retida começa-se por determinar a quantidade de água perdida:

$$\text{Água Perdida} = P1 - P0 \quad \text{Equação 3}$$

Sabendo qual a percentagem de água do amassado, determina-se a quantidade de água presente na massa inicial de produto:

$$\text{Quantidade de água na massa inicial} = \frac{P0 * \% \text{Água do amassado}}{100 + \% \text{Água do amassado}} \quad \text{Equação 4}$$

Sabendo a quantidade de água presente na massa inicial e a quantidade de água que se perdeu, é possível determinar a percentagem de água perdida:

$$\% \text{Água Perdida} = \frac{100 * (P1 - P0)}{\text{Quantidade de água na massa inicial}} \quad \text{Equação 5}$$

Deste modo a percentagem de água retida determina-se através de:

$$\% \text{Água Retida} = 100 - \% \text{Água Perdida} \quad \text{Equação 6}$$

3.1.2.6. Poder molhante e transferência

Este procedimento experimental realiza-se de acordo com a norma EN 1347:2007.

Com o auxílio da talocha lisa aplica-se uma capa fina de produto sobre a placa de betão e de seguida com a talocha dentada, mantida num ângulo de cerca de 60° em relação ao suporte, aplica-se uma camada de produto.

Após 10 minutos, coloca-se uma peça de vidro, de dimensões 50x50mm, sobre o produto aplicado, pressionando-a com um peso capaz de exercer uma força de $20 \pm 0,05N$, durante 30 segundos. Decorridos os 30 segundos avalia-se o poder molhante, avaliando a quantidade de produto em contacto com a peça, em relação à sua área total, em termos de percentagem. De seguida, remove-se a peça de vidro e avalia-se, em percentagem, a quantidade de produto que aderiu à peça, em relação à sua área total, avaliando deste modo a capacidade de transferência. Esta operação, repete-se em intervalos sucessivos de 10, 20 e 30 minutos desde o início do ensaio.

3.1.3. Caracterização dos produtos endurecidos

Os ensaios utilizados para caracterizar as argamassas-cola após endurecimento foram a determinação da resistência à tração e a deformação transversal.

3.1.3.1. Determinação da resistência à tração perpendicular (aderência)

O método de determinação da resistência à tração perpendicular (aderência) tem por base a EN 1348:2007, que define o modo de determinar a força por unidade de superfície, tensão, necessária para descolar uma argamassa-cola do suporte, através da aplicação de uma força de tração perpendicular.

Este procedimento inicia-se aplicando a argamassa-cola sobre uma placa de betão, de modo a humedecer toda a área de ensaio. De seguida, com a talocha dentada, apresentando sulcos de 6x6mm, a fazer um ângulo próximo de 60° em relação ao suporte, aplica-se uma camada de produto de modo a fazer um ‘penteado’. Aguarda-se 5 minutos, no caso dos ensaios de aderência inicial, após imersão em água e após envelhecimento por calor, e colocam-se 5 peças cerâmicas do tipo V1 (ladrilho cerâmico totalmente vitrificado, classe de absorção BI_a , superfície de aderência plana e com dimensões faciais de $50 \pm 1mm$ por $50 \pm 1mm$) sobre o produto aplicado, pressionando-as com pesos de 20N durante 30 segundos (figura13). No caso do ensaio de aderência após tempo aberto aos 30 minutos, segundo a EN 1346:2007, fez-se apenas para 30 minutos e usaram-se peças cerâmicas do tipo P1 (ladrilho cerâmico vitrificado, classe de absorção BIII, espessura entre 7 e 10mm, tardoz com menos de 0,25mm de relevo e com dimensões faciais de $50 \pm 1mm$ por $50 \pm 1mm$), sendo o restante processo igual. Após a preparação dos provetes são colocados numa câmara climatizada nas condições de $23 \pm 2^\circ C$ e $50 \pm 5\%$ de temperatura e humidade relativa respetivamente.

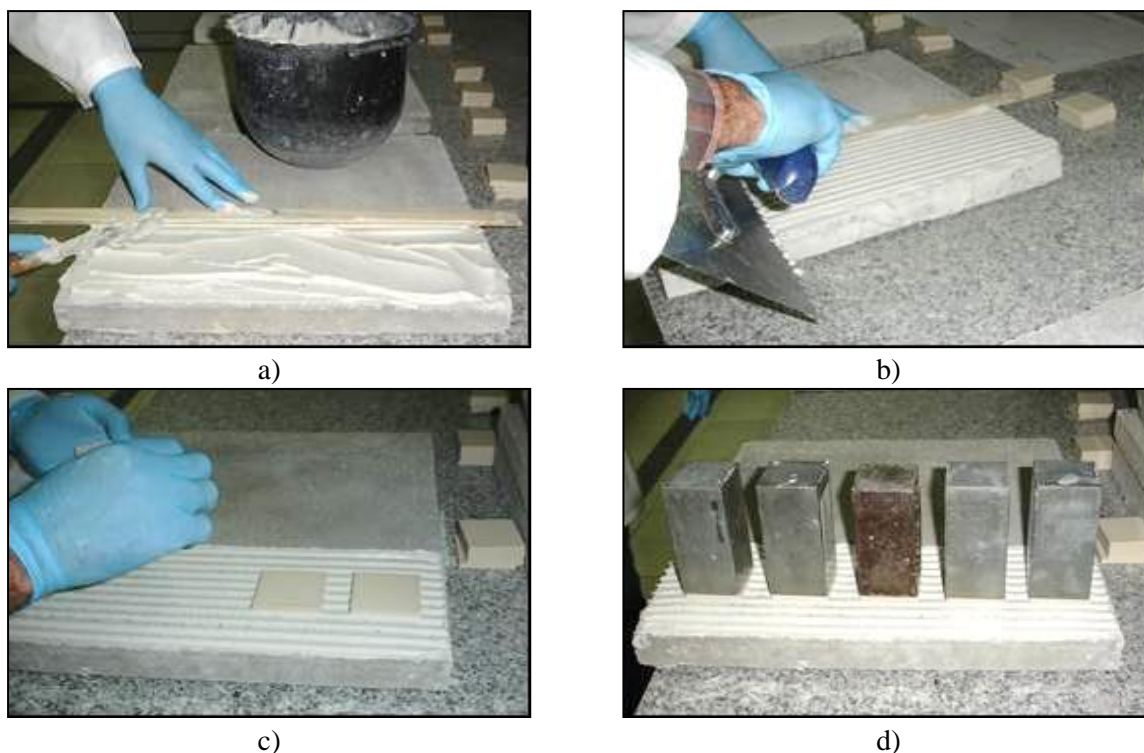


Figura 13: Processo de preparação das placas para ensaios de resistência à tração: a) Espalhamento da argamassa na área de ensaio; b) Execução do “penteado”; c) Colocação das peças cerâmicas; d) Pesos de 20N a pressionar as peças cerâmicas durante 30 segundos.

i. Aderência inicial

A medição da aderência inicial foi realizada aos 7, 14 e 28 dias.

No dia anterior à data do ensaio retiram-se as placas da câmara climatizada e colam-se as peças metálicas, com dimensões de $(50\pm 1)\times(50\pm 1)$ mm com adaptação adequada para ligação à máquina de ensaios de tração (dinamómetro), nos ladrilhos com uma cola de alta resistência e volta-se a colocar as placas na câmara. Após 24 horas, determina-se a resistência à tração com um dinamómetro capaz de aplicar uma força de 250 ± 50 N/s a velocidade constante (figura 14).

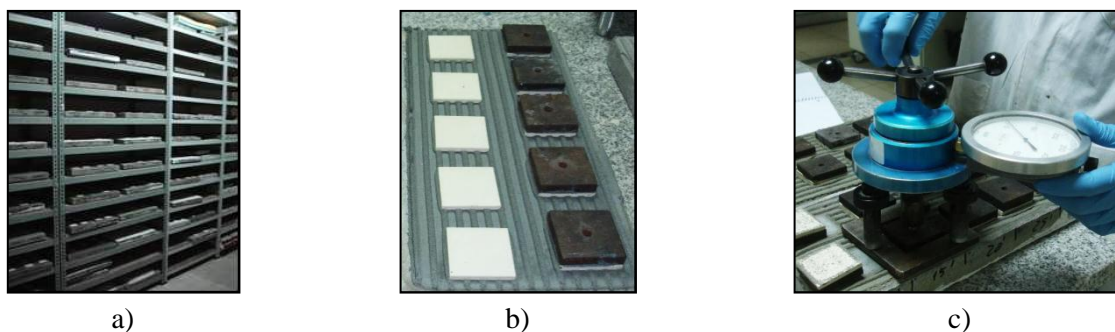


Figura 14: Aderência inicial: a) Câmara climatizada; b) Placa após colagem das peças metálicas; c) Execução da aderência.

ii. Aderência após imersão em água

Após 7 dias em câmara climatizada mergulha-se a placa em água a temperatura de 23°C. Depois de 20 dias, retira-se a placa da água e colam-se as peças metálicas aos ladrilhos. Aguardam-se 7 horas e volta-se a colocar a placa na água. No dia seguinte retira-se a placa da água e realiza-se de imediato o ensaio de tração.

iii. Aderência após envelhecimento por aquecimento

Após permanência da placa em câmara climatizada durante 14 dias, coloca-se a placa numa estufa ventilada a 70±2°C durante mais 14 dias. Passados os 14 dias retira-se a placa da água e colam-se as peças metálicas aos ladrilhos, para no dia seguinte se realizar o ensaio de tração.

iv. Aderência ao tempo aberto aos 30 minutos

Após 27 dias retiram-se as placas da câmara climatizada e colam-se as peças metálicas, aos ladrilhos e volta-se a colocar as placas na câmara. Após 24 horas, determina-se a resistência à tração.

A tensão individual de resistência à tração determina-se com uma exatidão de 0,1N/mm² utilizando a seguinte expressão:

$$A_s = \frac{L}{A} \quad \text{Equação 7}$$

Em que A_s é a resistência individual à tração em N/mm², L é a carga total em N e A é a área de colagem em milímetros quadrados (2500mm², no caso dos provetes usados).

A resistência à tração de cada conjunto de provetes determina-se calculando a média de todos os valores, de seguida, excluem-se os valores fora do intervalo definido por ±20% do valor médio e volta-se a calcular a média.

3.1.3.2. Deformação transversal

A NP EN 12004:2008 prevê que as argamassas-cola possam ser classificadas, em termos de deformação transversal, em cimento-cola “deformável” e “altamente deformável” quando apresentam, respetivamente, valores entre 2,5-5,0mm e igual ou superior a 5,0mm. O método de ensaio é descrito na EN 12002:2002 e tem por objetivo definir a forma de

determinar a deformabilidade de cimentos-cola através da medição da flecha de um provete de dimensões padrão, 300 ± 1 por 45 ± 1 mm e espessura $3\pm 0,05$ mm, suportado nas duas extremidades, quando sujeito a uma força de flexão, aplicada ao centro.

Com o auxílio de fita adesiva fixa-se a película de polietileno, ao suporte rígido, de modo a obter uma superfície plana sem dobras ou enrugamentos. De seguida, fixam-se ao conjunto anterior os moldes metálicos de dimensões internas de 280 ± 1 por 45 ± 1 mm e espessura 5 ± 1 mm e, com uma espátula, preenchem-se os orifícios dos moldes com o produto amassado. De modo a compactar a amostra, fixa-se o conjunto à mesa compactadora e aplicam-se 70 pancadas. Retira-se o conjunto da mesa compactadora e procede-se à remoção dos moldes (figura 15).

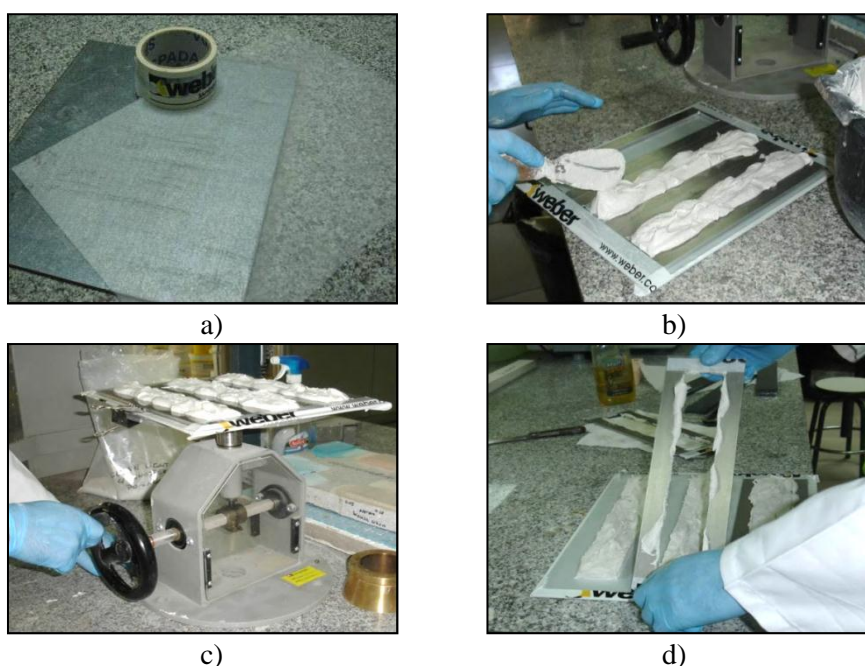


Figura 15: Deformação transversal: a) Suporte rígido, película de polietileno e fita adesiva; b) Preenchimento dos orifícios dos moldes; c) Aplicação das 70 pancadas; d) Remoção dos moldes.

Posiciona-se os moldes de politetrafluoretileno de forma centrada sobre a argamassa de modo a obter-se provetes de dimensões 300 ± 1 por 45 ± 1 mm e espessura $3\pm 0,05$ mm, tendo o cuidado de antecipadamente se aplicar óleo descofrante para facilitar a sua posterior remoção. Colocam-se os pesos de secção 290×45 mm sobre os moldes, capazes de exercer uma força de 100 ± 1 N, de modo a garantir que o material preencha totalmente a cavidade do molde com a espessura requerida. Remove-se o excesso de material das laterais dos moldes e uma hora mais tarde retiram-se os pesos (figura 16).

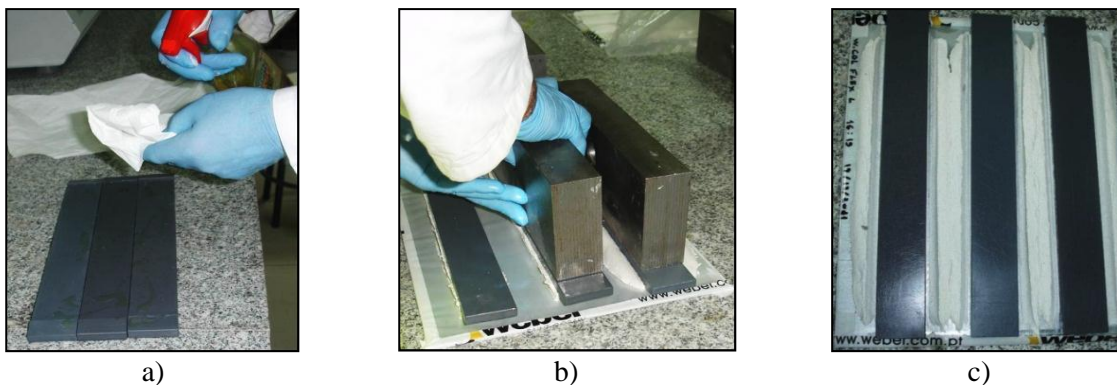


Figura 16: Deformação transversal: a) Aplicação de óleo descofrante nos moldes; b) Colocação dos pesos; c) Tiras após remoção do material das laterais dos moldes em excesso

Após 48 horas, removem-se os moldes e colocam-se as amostras sobre o suporte, dentro do recipiente plástico, fechando-se de modo a torna-lo estanque. Em seguida coloca-se o conjunto na câmara climatizada em condições de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm 5\% \text{Hr}$ (figura 17).

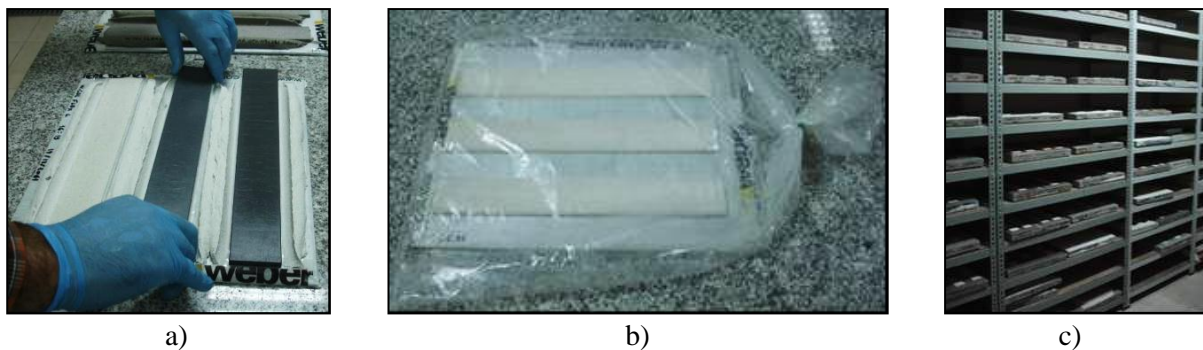


Figura 17: Deformação transversal: a) Remoção dos moldes; b) Colocação das tiras no recipiente plástico; c) Colocação das amostras na câmara climatizada.

Após 12 dias remove-se o saco plástico e deixa-se as amostras por mais 14 dias na câmara. Decorridos os 14 dias, retiram-se as amostras do suporte, pesam-se e mede-se a sua espessura em 3 pontos, isto é, a meio e a $50 \pm 1 \text{mm}$ a partir de cada extremidade usando o paquímetro de precisão $0,05 \text{mm}$. Se os 3 valores estiverem dentro da tolerância requerida $3,0 \pm 0,1 \text{mm}$ calcula-se o valor médio.

De seguida, colocam-se as amostras na máquina de deformação transversal que aplica uma carga transversal, a uma velocidade constante de 2mm/min , até que ocorra a rotura do provete medindo a deformação e a força máxima aplicada (figura 18).

Note-se que quando não ocorre a rotura do provete, mede-se a força máxima em Newton (N) e a deformada em milímetros (mm).

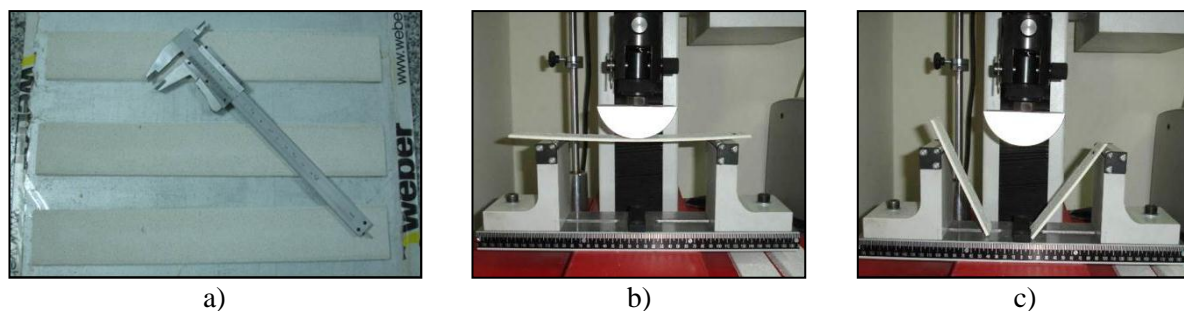


Figura 18: Deformação transversal: a) Medição dos provetes usando o paquímetro; b) Colocação e ajuste da amostra na máquina; c) Amostra após rotura.

3.2. Caracterização da lâmina cerâmica

A lâmina cerâmica em estudo foi fornecida pela empresa *Margrês Ceramic Style* nos formatos sem rede no tardo (LCSR) e com rede irregular no tardo (LCCRI).

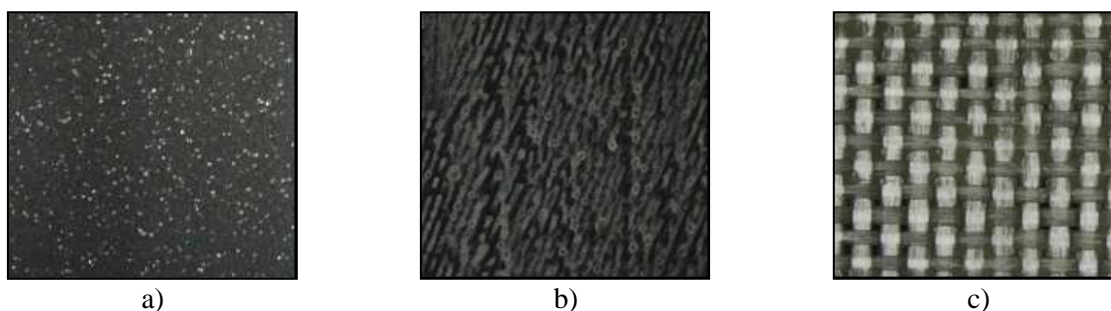


Figura 19: Lâmina cerâmica: a) Vista frontal; b) Tardo sem rede; c) Tardo com rede irregular.

Trata-se de um grés porcelânico, com 3 milímetros de espessura e com dimensões máximas de 3m de comprimento por 1m de largura (figura 20).

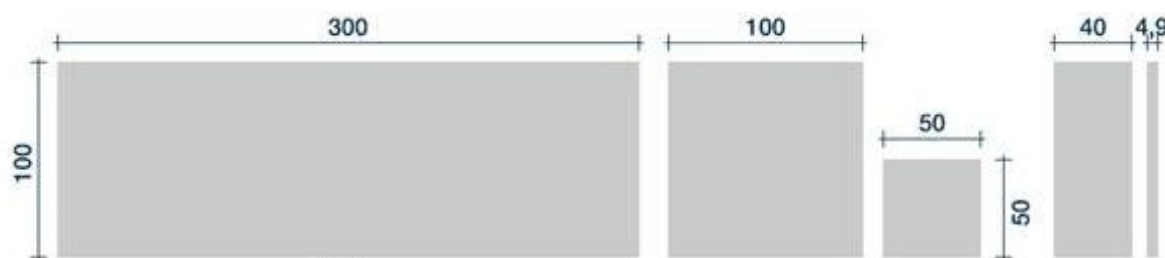


Figura 20: Dimensões usuais da lâmina cerâmica em centímetros.

Apresenta superfície macia e plana, extremidades retilíneas, arestas vivas e pode ainda apresentar diversas cores. No trabalho em questão usou-se a cor negra (figura 19:a)).

As peças cerâmicas para revestimento têm características próprias, determinadas pelo seu processo produtivo. Tratando-se de um porcelanato, conhecido por ser um material de baixa porosidade e de alta resistência mecânica, o estudo das suas propriedades é importante

para uma correta avaliação do seu desempenho quando utilizado em conjunto com outros materiais como a argamassa.

Tendo em conta o equipamento disponível, para caracterização da lâmina, realizaram-se alguns ensaios por aplicação de normas de materiais cerâmicos e outros por adaptação de normas para argamassas, tais como: determinação da perda de massa a 500 e 900°C; determinação da absorção de água; determinação da porosidade aberta; determinação da resistência à flexão; determinação da resistência ao choque e determinação da permeabilidade ao vapor de água.

3.2.1. Determinação da massa perdida por calcinação

Para caracterizar o tardo de lâmina cerâmica, mais precisamente, a rede e a cola de fixação desta, efetuaram-se calcinações a 500°C e 900°C da lâmina, com e sem rede no tardo, e dos ladrilhos cerâmicos do tipo V1. Como já referido anteriormente, a escolha destas temperaturas teve por base questões logísticas do laboratório onde foram realizados os ensaios.

Neste ensaio, partem-se os cerâmicos em pequenas frações, de modo a facilitar a sua introdução nos cadinhos (figura 21). Pesam-se as amostras (M1) em balança com precisão de 0,0001gramas. De seguida, colocam-se os cadinhos na mufla a 500°C ou a 900°C consoante o ensaio de perda de massa a 500°C ou a 900°C, respetivamente, durante um período mínimo de quatro horas.

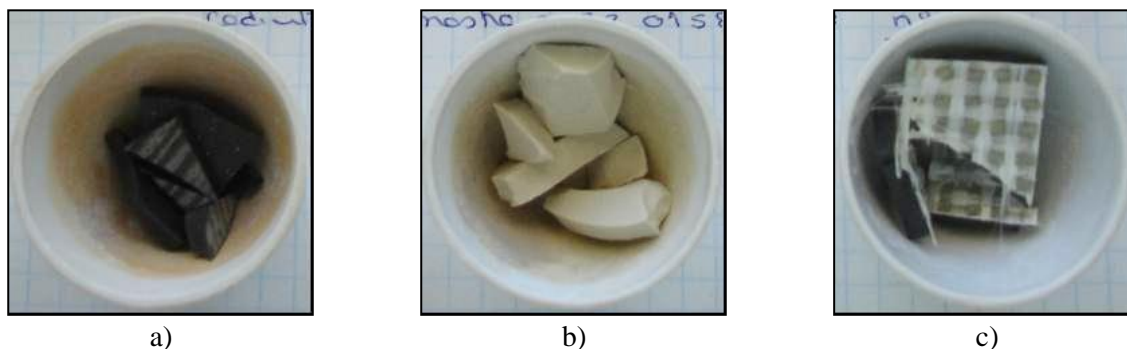


Figura 21: Amostras dos cerâmicos antes de serem sujeitas a queima: a) Lâmina cerâmica sem rede no tardo; b) Ladrilho cerâmico do tipo V1; c) Lâmina cerâmica com rede irregular no tardo.

Decorridas as quatro horas, retiram-se os cadinhos da mufla e colocam-se durante 30 minutos no exsiccador, até a sua temperatura estabilizar à temperatura ambiente e de seguida pesam-se as amostras (M2).

O resultado expressa-se em percentagem e obtém-se através da Equação 1.

3.2.2. Determinação da absorção de água

Um outro parâmetro de classificação das peças cerâmicas é a capacidade da peça absorver água. Uma baixa absorção de água é, normalmente, um indicativo de uma baixa porosidade, que, significa um cerâmico mais denso e, portanto, com maior resistência.

Esta propriedade permite inferir sobre os locais onde colocar cada tipo de cerâmica. Por exemplo, para locais expostos ao gelo, adequam-se cerâmicas com baixa absorção de água, por apresentarem menor capacidade de incorporar água e uma maior resistência aos fenómenos de gelo-degelo.

Este ensaio, segue a norma EN ISO 10545-3:1997 que tem por finalidade determinar a percentagem de absorção de água das lâminas, com e sem rede no tardo, e também dos ladrilhos cerâmicos do tipo V1 para permitir uma posterior comparação.

Para determinar a percentagem de absorção de água, colocam-se as amostras de dimensões 50x50mm, na estufa durante 24 horas a 70°C. Após este período de tempo, retiram-se as amostras da estufa e colocam-se no exsicador para arrefecerem até à temperatura ambiente.

De seguida, identificam-se as amostras, pesam-se (M_s), colocam-se na grade metálica, introduz-se o conjunto na tina de vidro e enche-se com água destilada. Coloca-se a tina em aquecimento, a 100°C, durante 4 horas. Após este período de tempo, coloca-se a grade com as amostras num recipiente com água fria durante 4 horas (figura22).

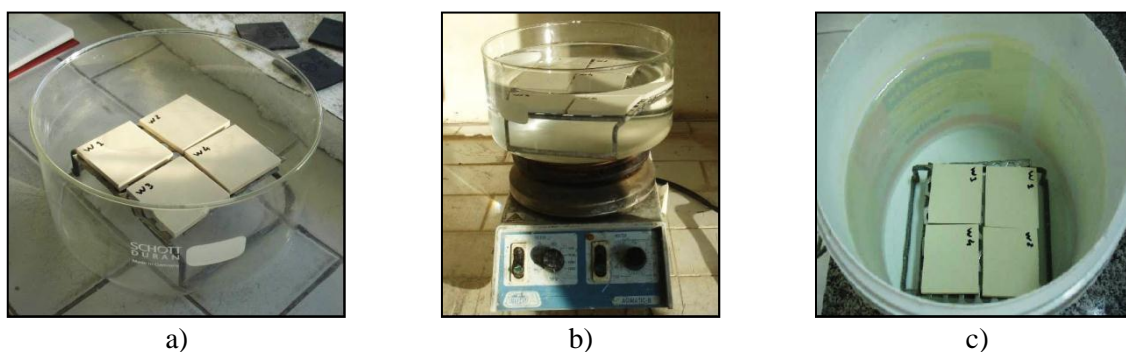


Figura 22: Processo de determinação da percentagem de absorção de água para o caso dos cerâmicos do tipo V1: a) Tina contendo a grelha com as amostras; b) Aquecimento; c) Amostras, sobre a grade, em água fria.

Após as 4 horas, com o auxílio de um pano húmido, retira-se o excesso de água das amostras e pesam-se (Mh).

O resultado expressa-se em percentagem de absorção de água e calcula-se através da seguinte fórmula:

$$\text{Absorção de água (\%)} = \left(\frac{M_h - M_s}{M_s} \right) \times 100 \quad \text{Equação 8}$$

Em que Ms é a massa do provete em seco e Mh em húmido.

Consoante a percentagem de absorção de água, segundo a EN 14411:2006 as peças cerâmicas são classificadas como:

- Absorção de água (%) $\leq 0,5$ – Muito baixa absorção
- $0,5 < \text{Absorção de água (\%)} \leq 3$ – Baixa absorção
- $3 < \text{Absorção de água (\%)} \leq 6$ – Média-baixa absorção
- $6 < \text{Absorção de água (\%)} \leq 10$ – Média-alta absorção
- Absorção de água (%) > 10 – Alta absorção

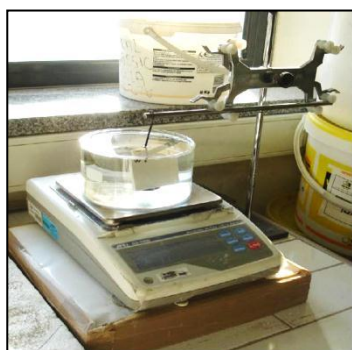
3.2.3. Determinação da porosidade aberta

Este ensaio tem como objetivo, determinar a porosidade dos materiais e baseia-se no princípio da impulsão de Arquimedes, seguindo o descrito na EN ISO 10545-3:1997.

Realizou-se este ensaio com as lâminas, LCCRI e LCSR, e com as peças cerâmicas do tipo V1, quatro peças de cada tipo e todas de dimensões de 50x50mm.

Colocam-se as amostras na estufa à temperatura de 70°C, durante 24 horas. Após as 24 horas retiram-se as amostras da câmara e regista-se a massa de cada uma delas (P1). De seguida, coloca-se uma tina de vidro cheia de água sobre a balança, com precisão de 0,0001 gramas, e com a ajuda de um suporte introduz-se o porta-amostras na tina tarando-se de seguida a balança. Retira-se o porta-amostras da água e coloca-se a amostra. Insere-se o conjunto dentro de água, tendo o cuidado de garantir que o provete fica totalmente imerso (figura 23: a)); regista-se imediatamente o seu peso, que corresponde à pressão hidrostática (P2). Colocam-se as amostras no equipamento para medição sob pressão (figura 23: b)),

pesando-as em função do tempo (P3) até ficarem saturadas, tendo o cuidado de lhes remover o excesso de água com um papel húmido.



a)



b)

Figura 23: Processo de determinação da porosidade aberta: a) Medição da pressão hidrostática; b) Equipamento para medição sob pressão.

Durante este período, as amostras pesam-se aos: 4 dias (P4); 7 dias (P5); 14 dias (P6); 28 dias (P7); 56 dias (P8) ou até se atingir massa constante (P3).

O valor da porosidade é obtido a partir da expressão seguinte:

$$X(\%) = \frac{P_3 - P_1}{P_3 - P_2} \times 100 \quad \text{Equação 9}$$

3.2.4. Determinação da resistência à flexão

A resistência à flexão está diretamente relacionada com a porosidade da cerâmica e depende também, entre outras, da sua composição (das matérias primas) e do processo de cozedura. É uma característica importante, principalmente no caso de peças cerâmicas para revestimento de locais sujeitos a cargas e circulação de veículos pesados, que exigem maior resistência mecânica ou capacidade de deformação.

A resistência à flexão determina-se por adaptação da EN 1015-11:1999, que embora descreva um ensaio direcionado para provetes de argamassas de dimensões 40x40x160mm, é facilmente adaptável a cerâmicos. Este ensaio realiza-se com recurso à prensa automática de flexão (figura 24), com dois cilindros de apoio em aço distando em 100±0,5mm.

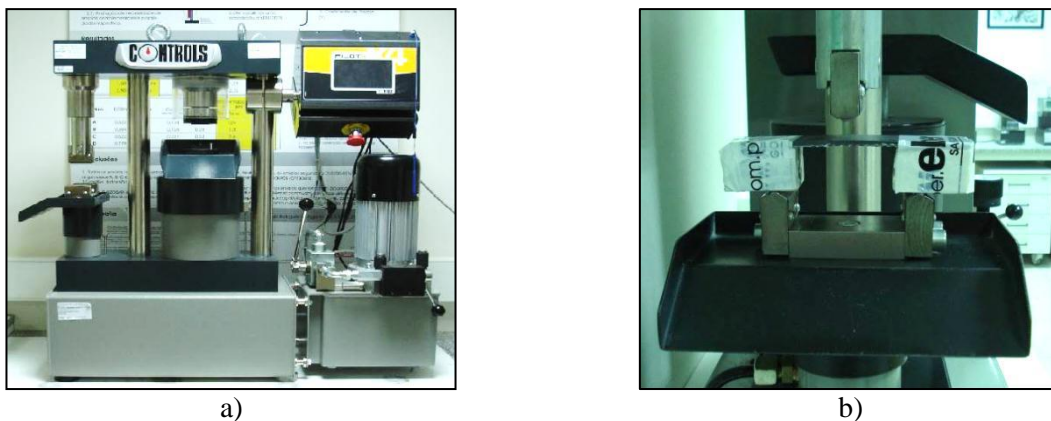


Figura 24: Prensa automática de flexão e compressão: a) Visão geral da máquina; b) Pormenor da colocação do provete sobre os cilindros.

Coloca-se a peça cerâmica de dimensões de 160x50mm na máquina de flexão sobre os cilindros de apoio e com o seu eixo longitudinal perpendicular aos apoios e centrado em relação a estes, e inicia-se o ensaio de flexão. Anota-se a carga máxima (F) aplicada na amostra, até à sua rotura, em Newton (N) e calcula-se a resistência à flexão (R_f) em MPa (N/mm^2), com precisão de 0,1MPa, através da seguinte fórmula:

$$R_f = \frac{1,5 \times F \times l}{b \times d^2} \quad \text{Equação 10}$$

Em que l é a distância entre os eixos que suportam os cilindros de apoio, b a largura da amostra e d a profundidade em milímetros (mm).

3.2.5. Determinação da resistência ao choque

A EN 13497:2002 descreve como determinar a resistência ao impacto para o sistema ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) pelo que se decidiu adotar para determinar a resistência ao choque das lâminas cerâmicas (a 3 e 10 Joule).

Para o procedimento de 3J, deixa-se cair uma esfera de aço de 1000 gramas de uma altura de 306mm na superfície da amostra em teste. Para o procedimento de 10J, deixa-se cair a mesma esfera mas de uma altura de 1020mm.

O ensaio realiza-se para os dois tipos de lâmina cerâmica, sem rede no tardo, LCSR, e com rede irregular no tardo, LCCRI, livres e coladas, sobre betão e sobre EPS 100. A preparação do ensaio inicia-se com a aplicação de peças de lâmina cerâmica, de dimensões de 160x160mm, com a argamassa-cola CC.3 sobre betão e sobre EPS 100 (figura 25). De

seguida, colocam-se as amostras na câmara climatizada em condições de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $50\pm 5\%$ de temperatura e humidade relativa, respetivamente. As cerâmicas livres não exigiram qualquer preparação.



Figura 25: Colagem das peças cerâmicas sobre: a) Placa de betão; b) Placa de EPS 100.

Após 7 dias, retiram-se as placas da câmara e inicia-se o ensaio.

Realiza-se primeiro o ensaio a 3J. Após o ensaio a 3J marca-se a área afetada e, se relevante, mede-se o seu diâmetro. Depois, inicia-se o ensaio a 10J, no final do qual também se marca a área e se mede o seu diâmetro.

3.2.6. Determinação da permeabilidade ao vapor de água

A determinação da permeabilidade ao vapor de água foi realizada para os cerâmicos em análise. Em adição, para efeitos de comparação, também se fez avaliação para um cerâmico mono-poroso (figura 37).

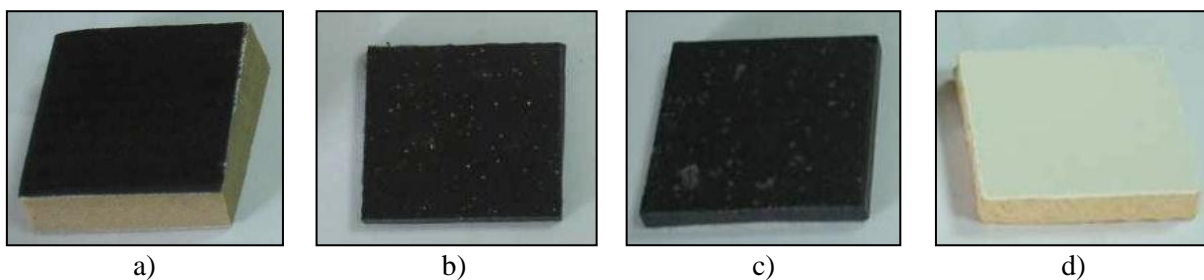


Figura 26: Cerâmicos em análise: a) Cerâmica não porosa; b) LCSR; c) LCCRI; d) Cerâmica mono-porosa.

No que diz respeito ao ensaio da permeabilidade ao vapor de água seguiu-se a EN 1015-19:1998 com algumas alterações. O ensaio inicia-se com a colocação da solução saturada de nitrato de potássio (KNO_3), solução utilizada para manter a humidade relativa do ar dentro dos limites de tolerância $92\pm 2\%$, em quatro tinas, de modo a que a distância entre o topo da

tina e o topo da solução seja de $1 \pm 0,5$ cm. Coloca-se no topo das tinas uma amostra de um reboco, circular com 12cm de diâmetro e 2cm de altura e reveste-se a junta e as laterais da amostra com parafina de modo a garantir um conjunto estanque (figura 27).

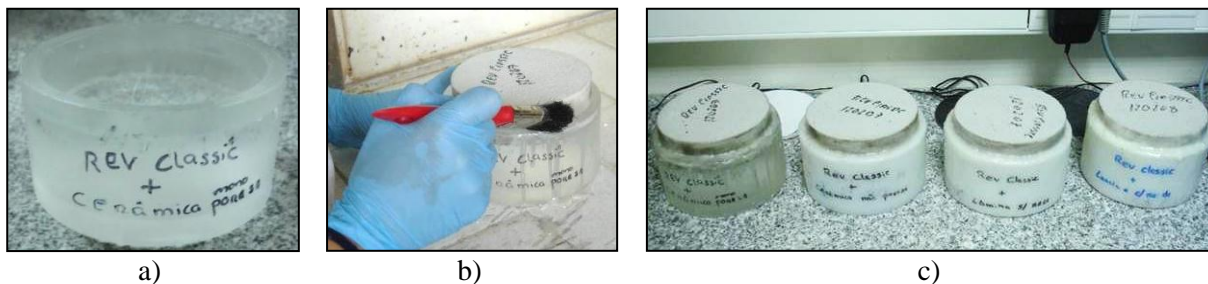


Figura 27:Preparação do ensaio de permeabilidade ao vapor: a) Tina contendo a solução de nitrato de potássio; b) Aplicação da parafina; c) As quatro tinas após aplicação da parafina.

Três vezes ao dia regista-se a temperatura (T), a humidade relativa (Hr), a massa do conjunto (Mc) e o tempo decorrido desde a primeira medição (t). Repete-se estas medições diariamente durante 7 dias.

No oitavo dia, com a argamassa CC.3 aplicam-se as quatro cerâmicas, cada uma na tina correspondente (figura 28) e, de seguida, reveste-se a junta e as laterais da cerâmica com parafina. No dia seguinte inicia-se novamente o registo, pelo mesmo período de 7 dias.

Finalizadas as medições, calculam-se as médias da temperatura do ar (T_{med}) e da humidade relativa (H_{rm}). Com estes dois valores, consulta-se um diagrama psicrométrico e traça-se uma linha vertical sobre o diagrama, que vai desde o ponto correspondente à temperatura do ar até à linha curva correspondente á humidade relativa média. Traça-se uma outra linha, horizontal sobre o diagrama, que passará no ponto onde se cruzam as duas linhas anteriores. E, faz-se a leitura da pressão de vapor, encontrada, no eixo das ordenadas (yy).

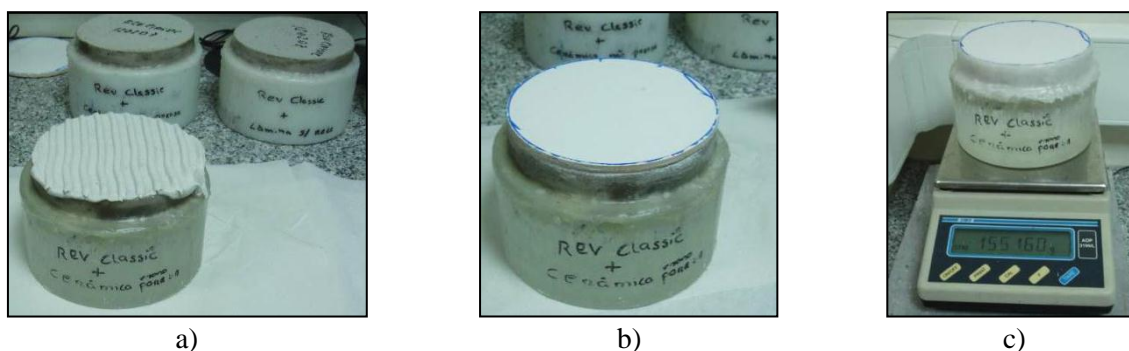


Figura 28: Ensaio de permeabilidade ao vapor: a) Aplicação da argamassa-cola; b) Tina após colocação da cerâmica; c) Pesagem da tina.

A temperatura do ar existente, entre a superfície da solução e a superfície do provete, é considerada igual a 22°C, e a humidade relativa de 92% (que corresponde a uma pressão de 18,3mmHg, para T= 22°C). Calcula-se a diferença de pressão (DP) entre os ambientes exterior e interior ($P_{int}=18,3\text{mmHg}$) em Pascal (Pa).

$$DP = P_{int} - P_{vapor} \quad \text{Equação 11}$$

De seguida, traça-se o gráfico contendo o tempo (t) em segundos no eixo das abcissas e a massa (m) em quilogramas no eixo das ordenadas. Determina-se o declive da reta e com este calcula-se a permeância (P) pela seguinte fórmula:

$$P = \frac{\text{Declive}}{A \times DP} \quad \text{Equação 12}$$

Em que, A é a área do provete cilíndrico em metros quadrados ($\pi \cdot r^2 = 0,0113\text{m}^2$) e a permeância é expressa em Kg/(m² Pa s).

O coeficiente de resistência à difusão de vapor (μ) é dado por:

$$\mu = \frac{1,94 \times 10^{-10}}{P \times e} \quad \text{Equação 13}$$

Onde a espessura (e) da amostra é expresso em metros.

3.3.Avaliação de compatibilidade entre a lâmina cerâmica e argamassas-cola

A avaliação da compatibilidade entre a lâmina cerâmica em estudo e as argamassas-cola anteriormente referidas realiza-se através da determinação da resistência à tração. Este ensaio segue o referido na secção 3.1.3.1 sobre determinação da resistência à tração perpendicular, mas com as peças cerâmicas LCSR e LCCRI, além das peças cerâmicas do tipo V1 para possibilitar uma posterior comparação.

As argamassas-cola escolhidas para avaliação da compatibilidade com a lâmina cerâmica (com e sem rede no tardo) foram, numa fase inicial, a CC.2, a CC.3 e a RE.1, para as quais se efetuaram aderências do tipo inicial aos 7, 14 e 28 dias, após imersão em água e

após envelhecimento por ação de calor. Mais tarde, optou-se também por realizar estes ensaios de compatibilidade com a RE.2, apenas com a cerâmica LCCRI e as peças cerâmicas do tipo V1, conforme ilustrado na tabela 7.

Tabela 7: Ensaios realizados para avaliação da compatibilidade entre a lâmina cerâmica e algumas argamassas-cola (também se realiza ensaios com a peça V1, para comparação).

AVALIAÇÃO DE COMPATIBILIDADE		ARGAMASSAS-COLA			
		CC.2	CC.3	RE.1	RE.2
PEÇAS CERÂMICAS	V1	7 dias	7 dias	7 dias	7 dias
		14 dias	14 dias	14 dias	14 dias
		28 dias	28 dias	28 dias	28 dias
		Imersão Calor	Imersão Calor	Imersão Calor	Imersão Calor
	LCSR	7 dias	7 dias	7 dias	-
		14 dias	14 dias	14 dias	-
		28 dias	28 dias	28 dias	-
		Imersão Calor	Imersão Calor	Imersão Calor	-
	LCCRI	7 dias	7 dias	7 dias	7 dias
14 dias		14 dias	14 dias	14 dias	
28 dias		28 dias	28 dias	28 dias	
Imersão Calor		Imersão Calor	Imersão Calor	Imersão Calor	

3.4.Reconstrução do tardez da lâmina cerâmica

Considerando a dificuldade de obtenção de aderência da argamassa-cola ao tardez da cerâmica LCCRI, especialmente devida à incompatibilidade entre a rede e as argamassas de colagem, optou-se por reconstruir o tardez da lâmina, por forma a obter possibilidades adicionais de melhorar a compatibilidade entre materiais.

3.4.1. Preparação das novas superfícies

Numa primeira fase, testaram-se 2 tipos de redes de reforço em fibra de vidro, uma normal e outra reforçada, cujas características se encontram na tabela 8, e 3 tipos de colas para fixação das redes (uma resina epóxi, RE.1, uma cola epoxi bi-componente com tempo de endurecimento muito curto, CE, e um primário de aderência, de base acrílica, mono-componente, PAD.1).

Tabela 8: Características das redes de reforço utilizadas.

CARACTERÍSTICAS	REDE DE REFORÇO EM FIBRA DE VIDRO	
	NORMAL	REFORÇADA
Dimensões da abertura da malha (mm)	3,5 x 3,8	6 x 6
Peso total do tecido (g/m ²)	160	343
Resistência à tração (teia/trama; N/5cm)	2000/2200	4000/4500
Alongamento à rotura (%)	3,8	3,5
Espessura (mm)	0,52	0,9

O processo de reconstrução do tardo de lâmina iniciou-se com o corte de 6 peças, com dimensões de 400x400mm, de lâmina cerâmica sem rede no tardo, LCSR. Recortaram-se também 3 amostras de rede normal e 3 amostras de rede reforçada de dimensões 500x500mm.

Para cada tipo de cola, aplicou-se uma camada de cola sobre o tardo da LCSR, com a ajuda de uma trincha (no caso da PAD.1) ou de uma talocha (no caso da RE.1 e da CE). De seguida, colocou-se a rede de fibra de vidro normal, garantindo que esta fica tracionada e, por cima, colocou-se uma nova camada de cola (figura 29). Repetiu-se o processo com a rede de fibra de vidro reforçada.

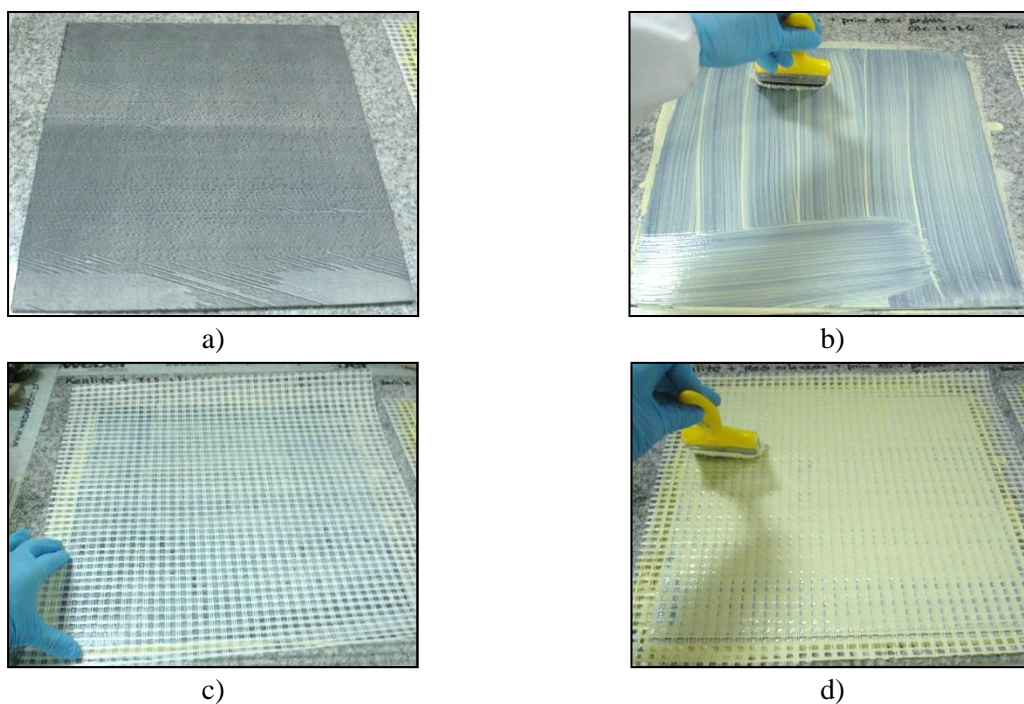


Figura 29: Exemplificação do processo de preparação das novas superfícies: a) Tardo de LCSR; b) Aplicação da 1ª camada de cola; c) Colocação da rede; d) Aplicação da 2ª camada de cola.

Após este processo obtêm-se 6 tipos de novas superfícies: tal como ilustra a figura 30:

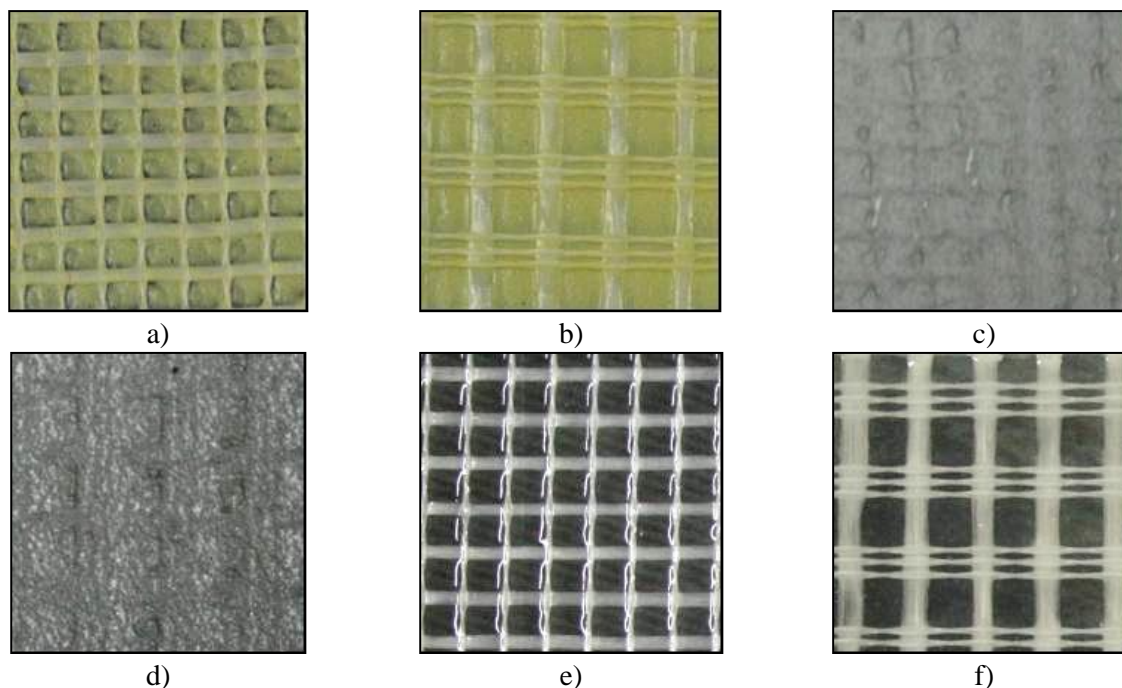


Figura 30: Novas superfícies: a) LCSR + rede de fibra de vidro normal fixada com PAD.1; b) LCSR + rede de fibra de vidro reforçada fixada com PAD.1; c) LCSR + rede de fibra de vidro normal fixada com RE.1; d) LCSR + rede de fibra de vidro reforçada fixada com RE.1; e) LCSR + rede de fibra de vidro normal fixada com CE; f) LCSR + rede de fibra de vidro reforçada fixada com CE.

Colocam-se as 6 peças em câmara climatizada durante 7 dias e no final deste período corta-se o excesso de rede que fica para fora da lâmina.

3.4.2. Ensaios complementares

Com o objetivo de definir a continuidade dos trabalhos, realizaram-se ensaios complementares às superfícies preparadas, bem como às colas e às redes. Começou-se por cortar uma tira de dimensões 160x50mm e dois quadrados de 160x160mm em cada uma das cerâmicas preparadas, para se efetuar a determinação da resistência à flexão e da resistência ao choque, respetivamente. A determinação da resistência à flexão efetuou-se conforme descrito na secção 3.2.4, e a determinação da resistência ao choque segue o procedimento descrito em 3.2.5, apenas com realização do ensaio sobre o suporte de betão e de EPS 100, com as peças coladas com a argamassa-cola CC.3.

A caracterização das colas de fixação das redes e das próprias redes consistiu na medição da deformação transversal. Especialmente para o PAD.1 fez-se ensaio de tração pura porque o ensaio de deformação não origina informação relevante. Para cada uma das colas executaram-se três tipos de provetes com dimensões 280x45mm com $3 \pm 0,05$ mm de espessura

(figura 31). Com o auxílio de fita adesiva fixou-se a película de polietileno à bancada (suporte rígido), de modo a obter uma superfície plana sem dobras ou enrugamentos. De seguida, colocou-se sobre a película três moldes metálicos; no primeiro, preencheu-se o orifício do molde com a cola, no segundo e terceiro apenas se preencheu metade do orifício; em seguida, no segundo, colocou-se uma tira de rede normal com as medidas do orifício e no terceiro, uma tira de rede reforçada e acabou-se de encher os moldes com a cola. Com o auxílio de uma espátula alisou-se a superfície do produto.

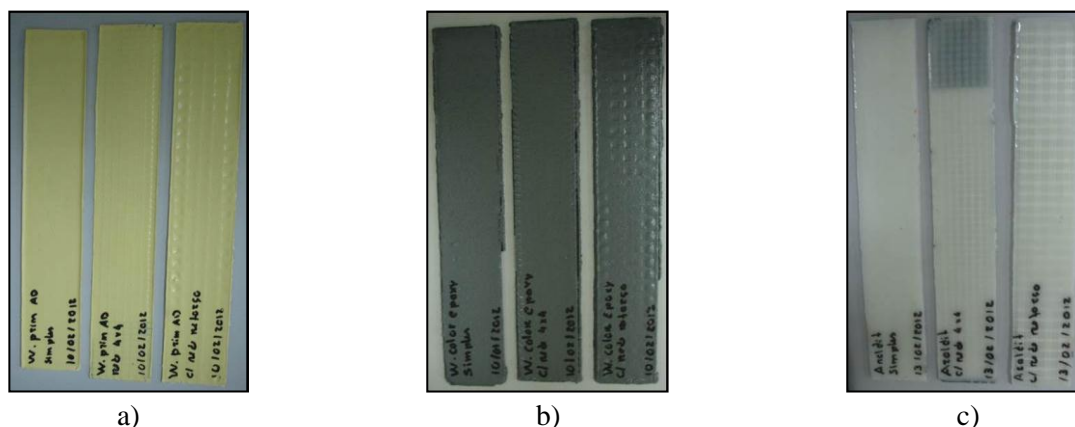


Figura 31: Provetes da cola: a) PAD.1; b) RE.1; c) CE.

Os provetes preparados foram desmoldados quando atingiram consistência e de seguida colocaram-se na câmara climatizada ($23\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $50\pm 5\% \text{Hr}$) até completarem os 28 dias. Após este período, as tiras da cola PAD.1, devido à sua flexibilidade, foram ensaiadas à tração, enquanto as tiras das colas RE.1 e CE foram ensaiadas à deformação transversal.

Por último, efetuou-se um teste para avaliar compatibilidade de ligação entre as colas de fixação das redes (figura 32). O ensaio consistiu na aplicação sobre uma placa de betão, de uma camada fina da cola RE.1 e de cola CE. Após três dias, aplicou-se a cola PAD.1 sobre toda a placa e colocou-se a placa na câmara climatizada.

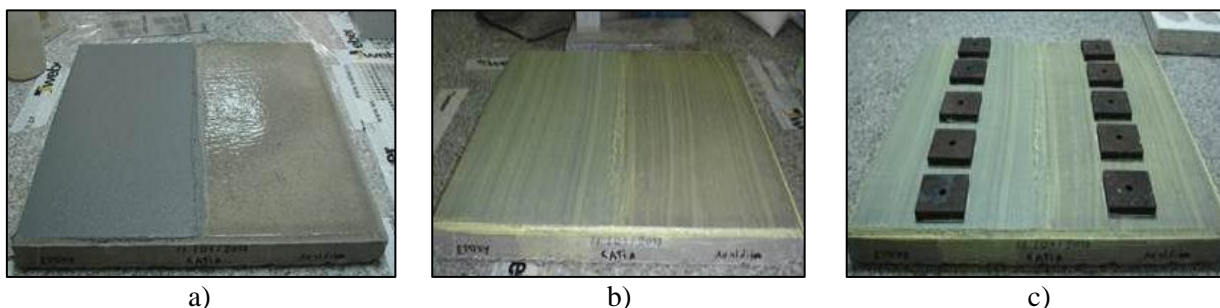


Figura 32: Ensaio para avaliação de ações de ligação entre colas: a) Placa de betão após aplicação de RE.1 e CE; b) Após aplicação de PAD.1; c) Após colagem dos discos de tração.

Ao 6º dia retirou-se a placa da câmara e colaram-se 5 discos de tração e voltou a colocar-se a placa na câmara. No dia seguinte realizaram-se as respetivas aderências e, de seguida, colocou-se os provetes na água, onde permaneceram por 21 dias. No 20º dia retiraram-se da água e colaram-se 5 discos para cada situação e colocou-se novamente na água. Após 24 horas retirou-se a placa da água e realizaram-se de imediato as aderências.

3.4.3. Melhoria das novas superfícies pela execução de pontes de aderência

Do ponto de vista da melhoria da aderência entre o tardez da lâmina e a argamassa-cola, decidiu-se a preparação, no tardez da lâmina, de pontes de ligação como promotores de aderência, de forma a melhorar as superfícies de contacto.

Neste sentido, optou-se por acrescentar agregados com dimensões variadas, com o objetivo destes funcionarem como pontes de ligação uma vez que parte da sua superfície não é revestida pelas resinas.

O processo de melhoria das superfícies do tardez da lâmina iniciou-se com o corte de 3 peças de lâmina cerâmica sem rede no tardez, com dimensões de 400x400mm e de 3 amostras de rede reforçada de dimensões 500x500mm. Neste processo de melhoria das superfícies usaram-se as colas PAD.1 e RE.1 e dois tipos de agregados (figura 33), granulado de calcário de dimensões entre 0,5 e 1,5mm, granulado F, e granulado de calcário de dimensões entre 1,5 e 3,0mm, granulado G.



a)



b)

Figura 33: Agregados usados na melhoria das superfícies: a) Granulado F; b) Granulado G.

Aplicou-se uma camada de cola sobre o tardez da LCSR, colocou-se, de seguida, a rede de fibra de vidro reforçada, e colocou-se uma nova camada de cola. Por fim, espalharam-se uniformemente os agregados, e com a ajuda de uma talocha pressionaram-se de modo a garantir uma boa ligação com a cola (figura 34).

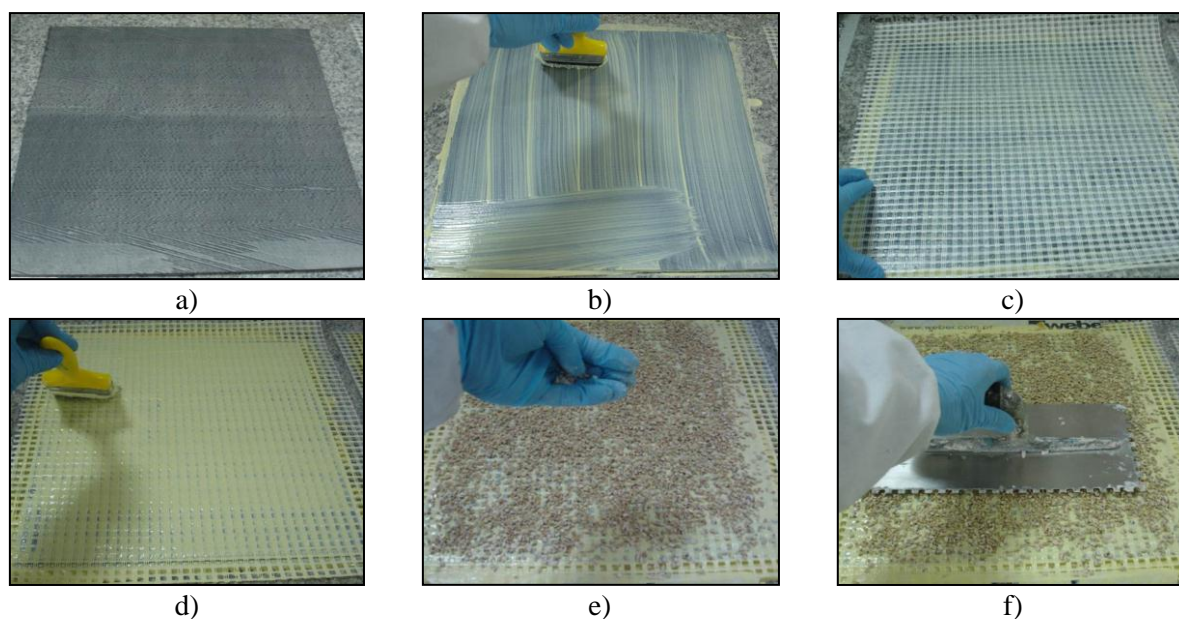


Figura 34: Melhoria das novas superfícies: a) LCSR; b) Aplicação de PAD.1; c) Colocação da rede de fibra de vidro reforçada; d) Aplicação de PAD.1; e) Distribuição do granulado G; f) Fixação do granulado G.

No caso da cola PAD.1 foram usados os dois tipos de agregados mencionados; por outro lado, no caso da cola RE.1, só se usou o granulado G (figura 35).

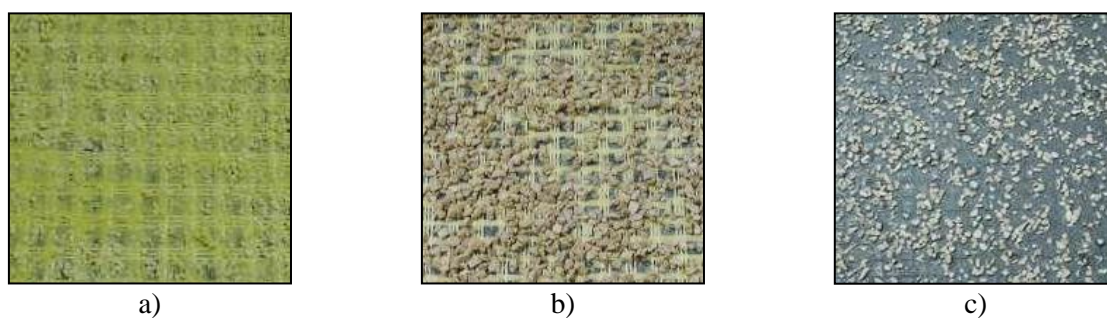


Figura 35: Novas superfícies após melhoria: a) LCSR + rede de fibra de vidro reforçada fixada com PAD.1 + granulado F; b) LCSR + rede de fibra de vidro reforçada fixada com PAD.1 + granulado G; c) LCSR + rede de fibra de vidro reforçada fixada com RE.1 + granulado G.

Colocaram-se as 3 peças em câmara climatizada ($23\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $50\pm 5\% \text{Hr}$) durante 7 dias e, no final deste período, escovaram-se para retirar os agregados soltos e mal colados, cortando-se em seguida o excesso de rede que fica para fora da lâmina.

3.4.4. Avaliação das novas superfícies

A avaliação das novas superfícies incidiu na avaliação da ligação entre estas e a argamassa-cola, através da determinação da resistência à tração perpendicular (aderência).

Cortaram-se as lâminas, em que se usou a rede de fibra de vidro reforçada na reconstrução do tardez, excluindo-se a executada com a cola CE, em peças de 50x50mm. Com as peças 50x50mm e com a argamassa-cola CC.3 prepararam-se placas, de acordo com a secção 3.1.3.1, para ensaios de aderência inicial aos 7 e 14 dias, após imersão em água e após envelhecimento por ação de calor.

Para uma melhor avaliação do efeito da adição dos agregados optou-se por juntar na mesma placa as duas lâminas (sem granulado e com granulado G) em que se usou a RE.1, e numa outra placa as três lâminas (sem granulado, com granulado F e com granulado G) em que se usou a cola PAD.1 (figura 36).

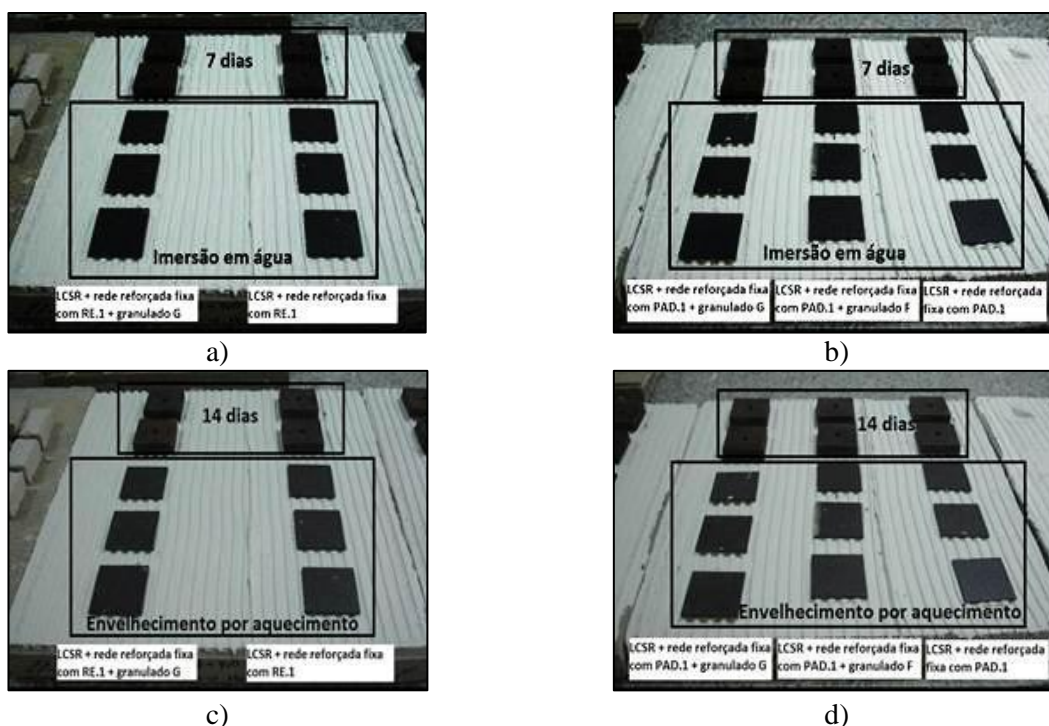


Figura 36: Placas preparadas com as lâminas cerâmicas com tardez modificado, para ensaios de resistência à tração: a) e b) Placas para execução de aderências aos 7 dias e após imersão em água; c) e d) Placas para execução de aderências aos 14 dias e após envelhecimento por ação de calor.

3.5. Avaliação da influência de propriedades das argamassas na aderência aos cerâmicos considerados

Considerada a questão aderência, interessa avaliar como o espalhamento total da argamassa de colagem e a presa, em toda a superfície de contacto argamassa/cerâmica, influenciam o valor da aderência.

Para o efeito, realizaram-se em laboratório testes preliminares para determinar os pontos-chave para o sucesso das experiências futuras. Realizaram-se ensaios de resistência à tração (aderência) em cinco pontos de uma lâmina cerâmica com rede no tardo de superfície 400x400mm e mediu-se, em simultâneo, a percentagem de água existente na argamassa.

Para este estudo, utilizaram-se dois tipos de substrato, uma placa de betão e uma placa de betão revestida com uma cerâmica vidrada (figura 37). A argamassa foi a CC.3 e usaram-se provetes da cerâmica LCCRI.

A preparação das amostras iniciou-se com a aplicação de três peças de lâmina cerâmica com rede irregular no tardo, sobre suporte de betão e outras três sobre placas de betão, anteriormente revestidas com cerâmica vitrificada, usando também a argamassa-cola CC.3. Após a aplicação da lâmina, sujeitou-se o conjunto a uma carga de aproximadamente 15kg, que exerce uma pressão homogénea, durante 2 minutos. De seguida, aplicou-se silicone, em toda a lateral da lâmina, para vedar a entrada de ar, e colocaram-se as placas em câmara climatizada ($23\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $50\pm 5\% \text{Hr}$).

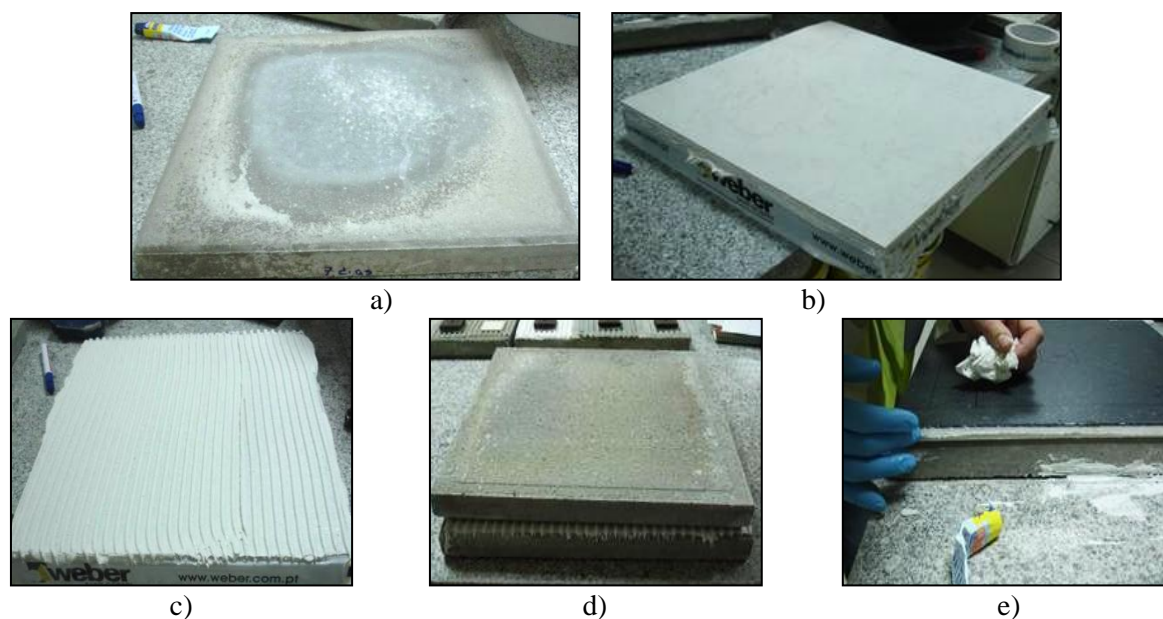


Figura 37: Preparação das amostras: a) e b) Os dois tipos de suporte: Placa de betão e placa de betão + cerâmica vidrada, respetivamente; b) Aplicação da argamassa CC.3; c) Aplicação de pressão homogénea; d) Aplicação do silicone.

Os ensaios de resistência à tração perpendicular efetuaram-se às 24 horas, aos 3 dias (72 horas) e aos 7 dias (168 horas). No dia anterior à data de cada ensaio, marcaram-se as zonas para realização das aderências; a zona A, localizada no centro da peça cerâmica e as zonas B1, B2, B3 e B4 localizadas nos cantos da peça (figura 38). De seguida, colaram-se os discos

de tração sobre as zonas marcadas. No dia do ensaio, com recurso a ferramenta de corte, realizaram-se cortes em redor dos discos de tração, e executaram-se as aderências.

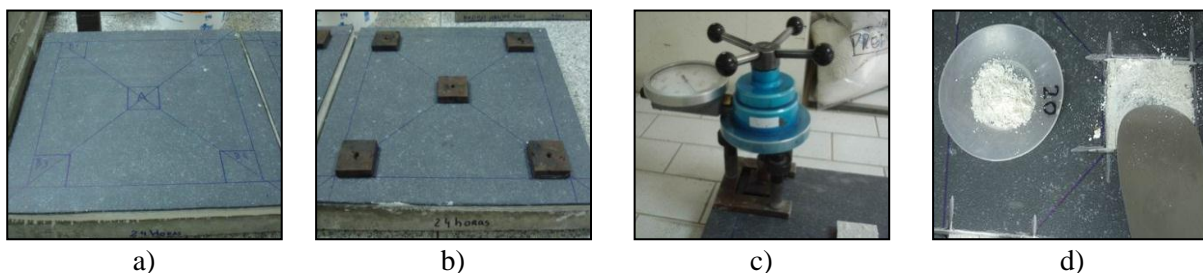


Figura 38: Preparação das aderências: a) Marcação das zonas de adesão; b) Colagem dos discos de tração; c) Execução do ensaio de resistência à tração (adesão); d) Recolha da amostra para o ensaio de determinação da perda de massa a 70°C.

Após a realização do ensaio de aderência, retirou-se, por zonas, uma amostra de argamassa-cola, de aproximadamente 2 a 3 gramas, para realização de ensaios de determinação da perda de massa a 70°C, conforme descrito no ponto 3.1.1.1.

Para avaliar a influência do silicone na secagem da argamassa-cola, decidiu-se repetir o ensaio anterior às 24 horas, para os dois tipos de suporte, mas sem aplicação do mesmo. Repetiu-se o ensaio para cerâmicas de dimensões 50x50mm, aplicadas nas cinco posições em que se realizaram as aderências nas placas de 400x400mm (figura 39), com uma força de 20N durante 30 segundos para pressionar a cerâmica. Neste caso, as amostras recolhidas para o ensaio de perda de massa a 70°C, são nos cinco pontos onde se realizam as aderências e em dois pontos adicionais, denominados L1 e L2, o primeiro junto à periferia da placa e o segundo numa zona mais interior. Mediu-se, também, nestes dois pontos, a perda de massa aos 3 e 7 dias.

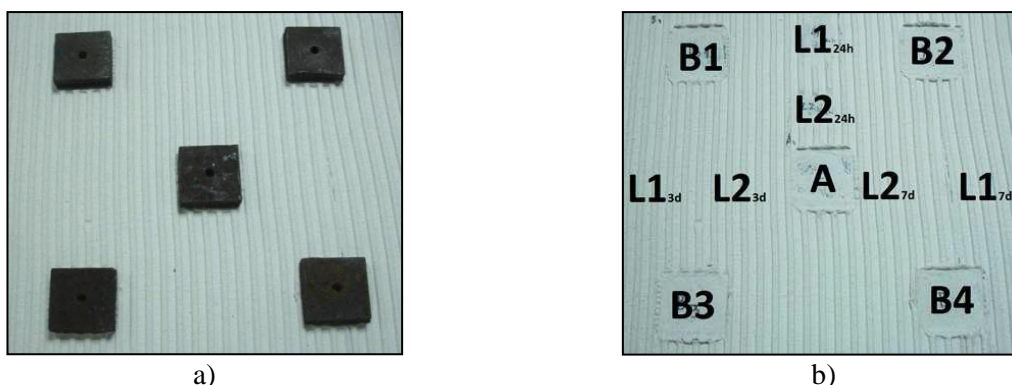


Figura 39: a) Identificação dos locais onde se realizam as aderências; b) Identificação dos locais onde se realizam as recolhas de material.

3.5.1. Avaliação de compatibilidade entre lâmina cerâmica e argamassas-cola em função da presa

Neste subcapítulo, pretende-se avaliar o comportamento da lâmina cerâmica face a argamassas-cola de base cimentícia de presa rápida, CC.4 (cimento cola melhorado de presa rápida com tempo aberto alongado) e CC.5 (cimento cola melhorado, de presa rápida, altamente deformável, com tempo aberto alongado e deslizamento reduzido).

No decorrer dos ensaios anteriores surgiu a necessidade de mudar a metodologia, de modo a permitir um melhor entendimento sobre a influência do processo de espalhamento e secagem da argamassa-cola. Posto isto, optou-se, para o caso das cerâmicas de 400x400mm, por mudar a massa. Para além da placa de betão de aproximadamente 15kg, usou-se também 5 prismas metálicos de 2kg, a exercer pressão durante 5 minutos (esta alteração tem como objetivo, garantir uma pressão homogénea sobre toda a superfície de contacto). A avaliação das amostras realizou-se às 6 horas, 24 horas e aos 7 dias (168 h).

Na primeira fase, avaliou-se a resistência à tração (aderência) e a perda de massa a 70°C, para as duas argamassas de presa rápida, CC.4 e CC.5, e para a argamassa CC.3, quando o suporte é a placa de betão revestida com a lâmina cerâmica sem rede no tardo, e a massa relativa à placa de betão acrescida dos 5 prismas de base 50x50mm com 2kg cada. Para cada argamassa-cola, executaram-se 3 placas, uma para ensaio às 6 horas, outra às 24 horas e outra aos 7 dias. A execução de cada uma das placas iniciou-se com a preparação do suporte, de seguida aplicou-se a argamassa-cola e, sobre esta, a lâmina cerâmica com rede no tardo, de dimensões 400x400mm. Marcaram-se os locais das aderências e colocaram-se 5 prismas, sobre os quais se apoiou a placa de betão (figura 43), durante 5 minutos. Decorrido este tempo colocaram-se as placas preparadas na câmara climatizada ($23\pm 2^\circ\text{C}$ e $50\pm 5\% \text{Hr}$).

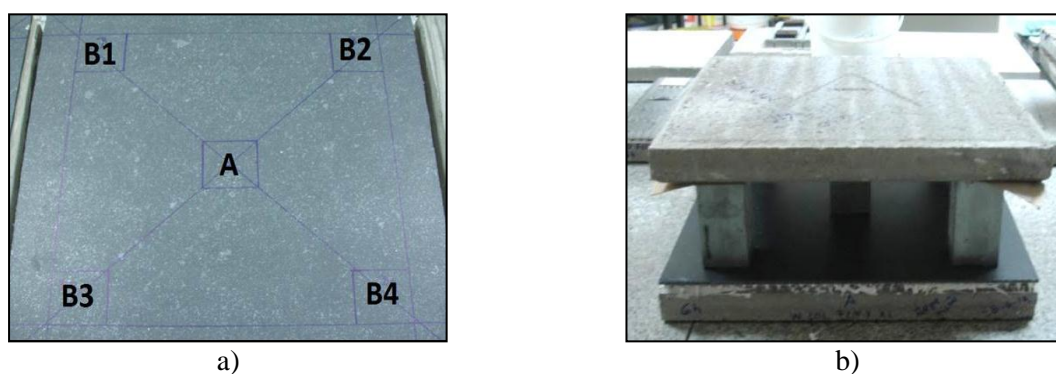


Figura 40:Esquema de aplicação da pressão: a) Pontos onde vão ser colocados os pesos prismáticos; b)Aplicação de pressão.

Antes de cada ensaio, colaram-se os discos de tração, e no dia do ensaio, imediatamente antes de se realizarem as aderências, realizaram-se cortes em redor dos discos de tração. Após a realização das aderências, recolheram-se aproximadamente 2 a 3 gramas de argamassa-cola, em cada um dos 5 pontos, para realização do ensaio de determinação da perda de massa a 70°C.

Numa segunda fase, repetiu-se o ensaio para a argamassa-cola CC.3, apenas com placa de betão como suporte.

Na terceira fase, avaliou-se a resistência à tração e a perda de massa para as argamassas CC.3, CC.4 e CC.5, com peças de lâmina cerâmica de 50x50mm e o suporte placa de betão. Para cada uma das argamassas executou-se uma placa, onde se realizaram ensaios às 6 horas, 24 horas, 7 dias e após 21 dias à imersão, como ilustra a figura 44. A preparação de cada uma das placas iniciou-se com a execução de um penteado sobre a placa de betão. Após 5 minutos colocaram-se as peças de lâmina cerâmica com rede no tardo, e aplicou-se uma força de 20N durante 30 segundos. O ensaio de perda de massa realizou-se apenas para 2 posições, uma periférica e outra interior.

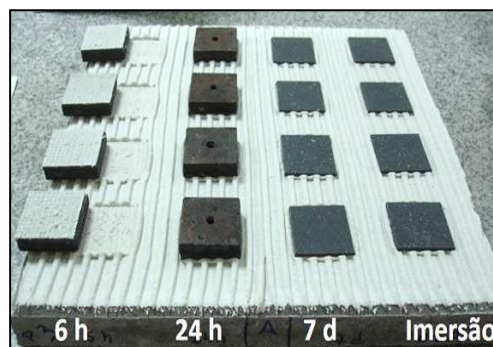


Figura 41: Exemplo de uma amostra.

Optou-se, ainda, por avaliar a possível relação do tempo de presa na tensão de aderência. Para tal, modificou-se a argamassa-cola CC.5, cimento-cola melhorado, de presa rápida, altamente deformável, com tempo aberto alongado e deslizamento reduzido, de modo a esta atingir um tempo de presa mais alongado, e repetiu-se a primeira fase dos ensaios para a argamassa CC.5 modificada.

3.6. Avaliação do efeito do pente de aplicação

Considerando a questão da aderência, é relevante avaliar o modo como a quantidade de cola no processo de aplicação da lâmina influencia o valor da aderência. Para o efeito, realizaram-se, numa primeira fase, três tipos de amostras. Sobre três placas de betão aplicou-se uma lâmina de 400x400mm com a argamassa cola CC.3, uma com o pente 6x6, outra com o pente 8x8 e, a última, com o pente 6x6 e colagem dupla (neste caso, executou-se um penteado sobre a placa de betão e outro no tardoz da lâmina, sobrepondo-se de modo a assegurar a perpendicularidade entre as camadas aplicadas em ambos os elementos).

Após a aplicação da lâmina, marcaram-se os pontos de realização das aderências (A, B1, B2, B3 e B4) e procedeu-se à aplicação da pressão usando o esquema dos prismas com a placa por 5 minutos. Realizaram-se duas amostras de cada tipo, para ensaios aos 7 dias e após 21 dias em imersão.

Numa segunda fase, prepararam-se mais quatro amostras. Usou-se, igualmente, a placa de betão como suporte, a lâmina cerâmica com rede no tardoz, de dimensões 400x400mm, e a argamassa CC.3. No entanto, apenas se usou o pente 6x6, com colagem simples e com colagem dupla. Os ensaios de resistência à tração perpendicular foram realizados aos 7 e aos 14 dias, após imersão em água e após envelhecimento por calor, tal como demonstra a figura 42.

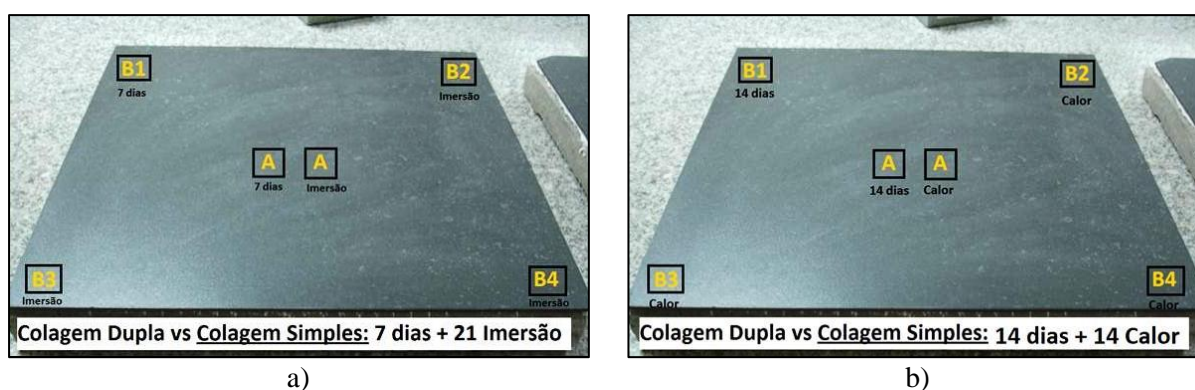


Figura 42: Pontos de ensaio: a) 7 dias e após imersão em água; b) 14 dias e após envelhecimento por calor.

A tabela 9 esquematiza os ensaios realizados a cada uma das amostras.

Tabela 9: Ensaios realizados para avaliação do efeito do pente de aplicação na aderência.

ENSAIOS	TIPO DE PENTE	TIPO DE COLAGEM	
		SIMPLES	DUPLA
1ª FASE	6x6	7 dias Imersão	7 dias Imersão
	8x8	7 dias Imersão	-
2ª FASE	6x6	7 dias 14 dias Imersão Calor	7 dias 14 dias Imersão Calor

3.7. Ensaios *in situ*

Os ensaios *in situ* permitem a aplicação de cerâmicos de maiores dimensões pelo que a sua realização permite obter mais informação sobre a compatibilidade de argamassas-cola convencionais com os cerâmicos em causa.

Os ensaios foram realizados sobre dois suportes distintos, betonilha e lâmina cerâmica. No primeiro ensaio, aplicou-se sobre a betonilha uma camada de argamassa-cola CC.3, com o pente 6x6, colocando-se de seguida uma cerâmica de dimensões 1000x1000mm e três de 400x400mm. A massa usada para pressionar as cerâmicas foi a equivalente a 5 blocos de aproximadamente 15kg cada, no caso da cerâmica de maiores dimensões, durante 5 minutos e, no caso das cerâmicas de menores dimensões, apenas um bloco em cada durante 5 minutos, conforme demonstrado na figura 43.



a)



b)

Figura 43: Exemplificação do modo de aplicação da massa usada para as cerâmicas: a) Lâmina de 1000x1000mm; b) Lâminas 400x400mm.

De seguida, marcaram-se os centros das cerâmicas, que na cerâmica de maiores dimensões corresponde ao ponto C1 e nas de menores dimensões ao ponto C2. Nas cerâmicas 400x400 marcaram-se também os pontos d2,0, localizados na periferia. Na cerâmica 1000x1000, marcaram-se os pontos d1,1 junto à periferia e os d1,0 correspondentes a uma posição intermédia, conforme ilustra a figura 44. Com recurso a ferramenta de corte efetuaram-se os cortes, colando-se de seguida os discos de tração.

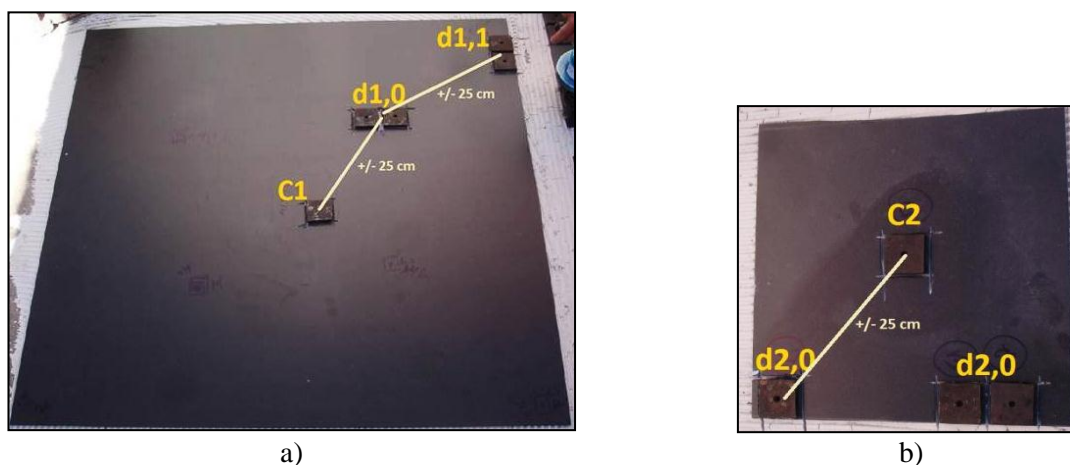


Figura 44: Locais de ensaio: a) lâmina 1000x1000mm; b) lâmina 400x400mm.

Os ensaios são realizados às 6 e 24 horas, e 7 dias. No caso das lâminas 400x400 utilizou-se uma amostra para cada data de ensaio, sendo, por questões logísticas, no caso da lâmina 1000x1000 usada sempre a mesma. Assim sendo, após a realização do ensaio às 6 horas preencheram-se os locais onde se realizaram as aderências com silicone, marcaram-se os locais para as aderências às 24 horas (figura 45), efetuaram-se os cortes e colaram-se os discos. Após o ensaio às 24 horas e o aos 7 dias repetiu-se este procedimento.



Figura 45: Procedimento após realização do primeiro ensaio: a) Preenchimento com silicone dos locais onde se realizaram as aderências; b) Marcação dos novos locais para realização de posteriores aderências.

O segundo ensaio consistiu em aplicar as lâminas, usando igualmente a argamassa CC.3, sobre as lâminas onde se realizaram os ensaios anteriores (figura 46), repetindo-se o primeiro ensaio.

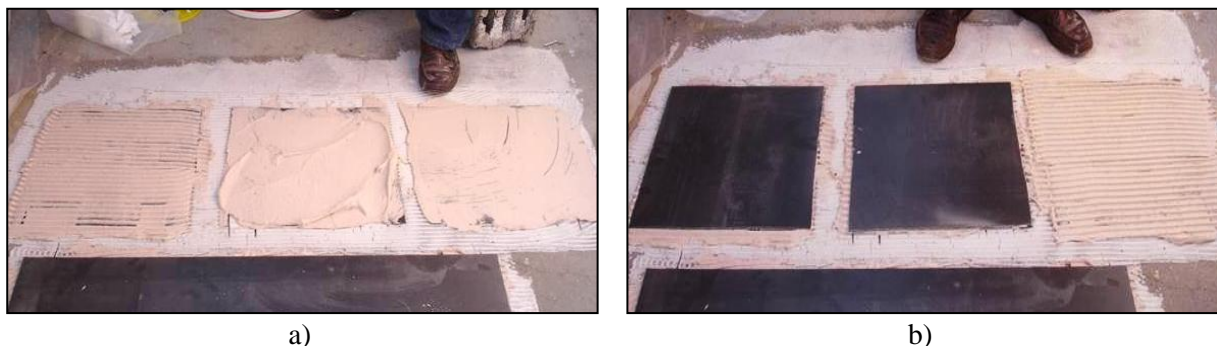


Figura 46: Aplicação de lâmina sobre lâmina: a) Aplicação da argamassa-cola e execução do penteado; b) Colocação das lâminas.

Para avaliar a influência das condições atmosféricas no valor da aderência, realizaram-se, em laboratório, ensaios para comparação com os resultados obtidos *in situ*. Executaram-se 3 amostras, em que se utilizou lâmina cerâmica como suporte, e a argamassa-cola CC.3 para a aplicação da lâmina com rede no tardo de dimensões 400x400mm. Para exercer pressão na lâmina, usou-se a massa da placa de betão com os prismas. Realizaram-se ensaios de aderência sobre as amostras A e B após 6 e 24 horas, respetivamente. Os locais de ensaio em ambas as placas foram revestidos a silicone, sendo estas, posteriormente, imersas em água decorridos 3 dias da sua aplicação. A amostra C foi sujeita a ciclos de mudança de temperatura, durante 7 dias, sendo exposta à temperatura ambiente no período noturno, e colocada em câmara de temperatura controlada a 70°C durante o dia.

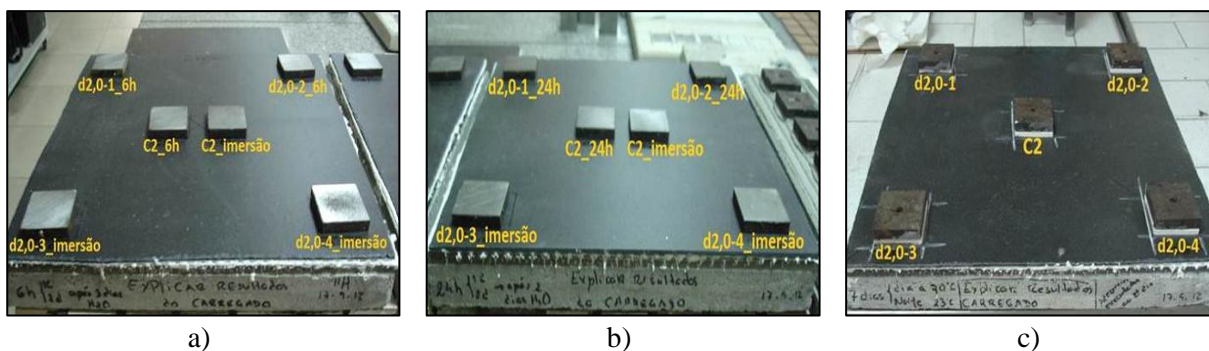


Figura 47: a) Amostra A; b) Amostra B; c) Amostra C.

Ao oitavo dia foram realizados ensaios de aderência em todas as amostras. A figura 47 ilustra as posições de ensaio, ao longo do tempo, nas 3 amostras.

3.8. Avaliação do uso de primários na aderência

A avaliação do uso de primários de aderência na aplicação de lâmina cerâmica, realizou-se com dois tipos primários: PAD.1 e PAD.2. Tratam-se de primários de base de acrílico modificado, com pontos de aderência de origem epóxi e silicone.

Os ensaios realizaram-se sobre dois tipos de suporte, betão e lâmina cerâmica, nos quais se aplicou, com a argamassa-cola CC.3, lâmina cerâmica com rede no tardo de dimensões 50x50mm. Variou-se o local de aplicação dos primários a partir do tardo das lâminas, do suporte, e do tardo das lâminas e o suporte.

A preparação do ensaio iniciou-se com a aplicação dos primários nas peças de lâmina cerâmica (figura48).

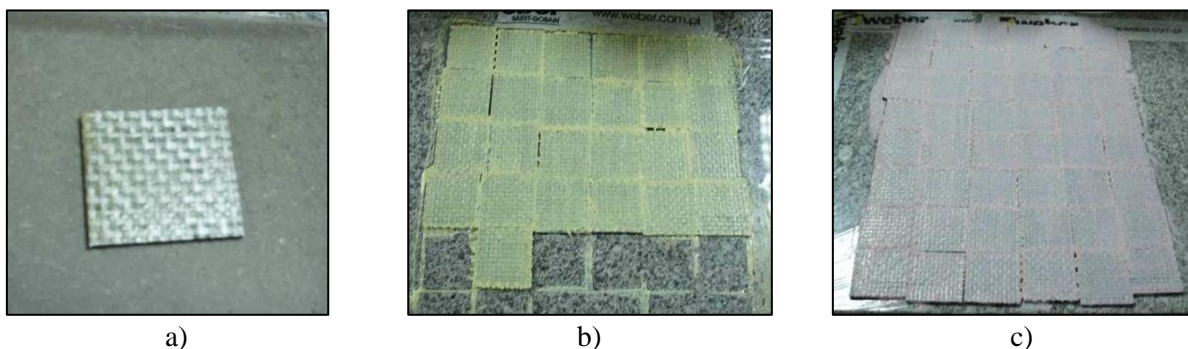


Figura 48: a) Lâmina cerâmica; b) Lâmina cerâmica após aplicação de PAD.1; c) Lâmina cerâmica após aplicação de PAD.2.

De seguida, prepararam-se os suportes necessários ao ensaio, conforme mostra a figura 49.

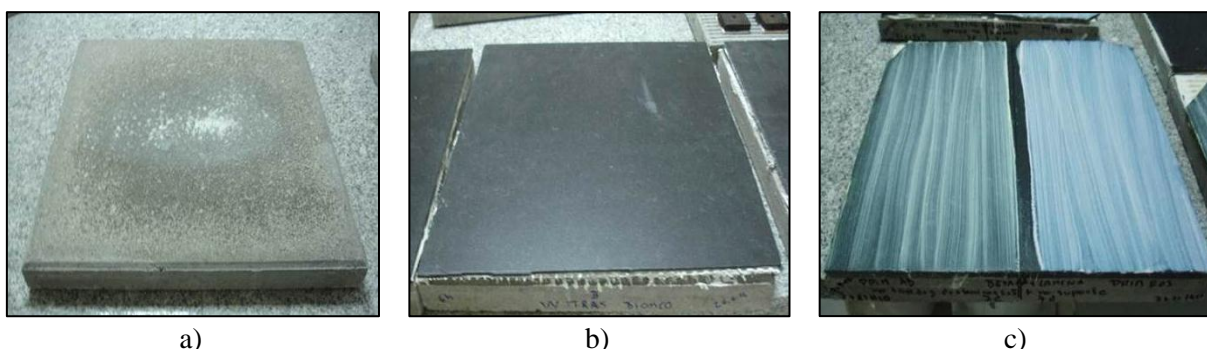


Figura 49: Tipos de suportes: a) Placa de betão; b) Lâmina; c) Lâmina após aplicação dos primários.

Após a preparação das lâminas e dos suportes, esperou-se aproximadamente 1 hora e prosseguiu-se o ensaio, aplicando as lâminas no suporte com a argamassa CC.3 (figura 50).

Prepararam-se 4 tipos de amostras:

- Primário no tardo das lâminas cerâmicas, tendo por suporte betão;
- Primário no tardo das lâminas cerâmicas, tendo por suporte lâmina;
- Primário no tardo das lâminas cerâmicas, tendo por suporte lâmina com primário;
- Lâminas cerâmicas, tendo por suporte lâmina com primário.

A avaliação das amostras consistiu na determinação da resistência à tração perpendicular, aos 7 e 14 dias, após imersão em água e após envelhecimento por ação de calor.



Figura 50: Exemplo das amostras preparadas.

3.9. Utilização de câmara termográfica para avaliar a frente de secagem da argamassa CC.3

Finalmente, procurando uma melhor percepção das frentes de secagem da argamassa-cola, aplicou-se uma lâmina cerâmica com rede no tardo, de dimensões 400x400mm, sobre um vidro (figura 51). Realizaram-se ensaios de termografia às 6, 24 e 48 horas, e aos 7,14 e 28 dias, tendo sido ainda realizadas inspeções visuais diariamente. Para os ensaios referidos foi usada uma câmara da marca Testo, modelo 882.



Figura 51: Lâmina cerâmica aplicada sobre vidro.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. Caracterização das argamassas-cola

A tabela 10 apresenta a caracterização das argamassas-cola ao nível do tipo de ligante(s) e a classificação de acordo com a NP EN 12004:2008 de cada uma das argamassas ensaiadas.

A composição do ligante é importante na medida que se pretende compatibilidade por aderência entre superfícies.

Tabela 10: Características das argamassas analisadas.

	TIPO DE LIGANTE(S)	CLASSIFICAÇÃO (NP EN 12004:2008)
CC.1	Cimento Portland Branco I 52.5 e Resina (terpolímero etileno/versatato vinilo/acetato vinilo)	C1TE
CC.2	Cimento Portland Branco I 52.5 e Resina (terpolímero etileno/versatato vinilo/acetato vinilo)	C2TES1
CC.3	Cimento Portland Branco I 52.5 e Resina (terpolímero etileno/versatato vinilo/acetato vinilo)	C2TES2
CC.4	Cimento Portland Branco I 52.5 e Resina (terpolímero etileno/versatato vinilo/acetato vinilo)	C2FE
CC.5	Cimento Portland Branco I 52.5 + Sulfoaluminato de cálcio e Resina (terpolímero etileno/versatato vinilo/acetato vinilo)	C2FES2
RE.1	Resina epóxi	R2
RE.2	Resina epóxi	R2

4.1.1. Caracterização dos produtos em pó

A caracterização dos produtos em pó consistiu na determinação da perda de massa por calcinação a 500°C. Os valores obtidos para as argamassas são apresentados na tabela 11. A argamassa CC.1 apresenta a menor percentagem de massa perdida (1,89%), seguida da argamassa CC.2 (5,73%) e da CC.3 (8,90%), o que indica que a argamassa CC.3 é a que

possui maior quantidade de matéria orgânica (resina, principalmente) e que a CC.1 a que possui menor quantidade, ficando a CC.2 numa posição intermédia.

Tabela 11: Apresentação dos valores de perda de massa [%] obtidos a partir do ensaio de perda de massa por calcinação a 500°C.

CC.1	CC.2	CC.3
1,89	5,73	8,90

4.1.2. Caracterização dos produtos em pasta

A caracterização dos produtos em pasta foi efetuada através de diversas propriedades como a percentagem de água de amassadura, o espalhamento do amassado, a massa volúmica aparente, o tempo de presa, a capacidade de retenção de água, o deslizamento e a capacidade de poder molhante e transferência.

A percentagem de água de amassadura das argamassas-cola (tabela 12) é determinada, conforme descrito em 3.1.2.1. No entanto, considerando o empirismo da metodologia, decidiu-se pela realização adicional de ensaios de espalhamento às argamassas, nos quais se obtiveram espalhamentos entre 110 e 140mm.

Tabela 12: Apresentação das propriedades em pasta (água de amassadura, massa volúmica aparente, tempo de presa e retenção de água).

	CC.1	CC.2	CC.3	CC.4	CC.5
Água de amassadura [%]	24,5	29,0	27,5	24,0	n.a.
Espalhamento [mm]	135±5	125±5	115±5	130±5	n.a.
Massa volúmica aparente [g/cm³]	1,5	1,4	1,5	-	-
Tempo de presa [hh:mm]					
Início	06:05	05:15	04:10	00:45	01:00
Fim	07:05	06:00	05:10	01:15	01:30
Retenção de água [%]	98,30	98,86	99,48	-	-

n.a. – não aplicável, por se tratar de uma argamassa bi-componente.

Como se pode observar na tabela 12, relativamente à análise da massa volúmica aparente, nota-se que os produtos avaliados apresentam valores muito próximos entre si.

Conforme representado na tabela 12, as argamassas CC.4 e CC.5 apresentam os menores tempos de presa, o que seria expectável pois são argamassas de presa rápida. Seguem-se a CC.3, a CC.2 e, por fim, a CC.1 com o maior tempo de presa.

A capacidade de retenção de água (tabela 12) é fortemente influenciada pela percentagem de água utilizada na amassadura da argamassa. Tendo presente este aspeto, a argamassa CC.3 é a que possui maior capacidade de retenção de água e a CC.1 a que possui a menor capacidade, ficando a CC.2 numa posição intermédia.

Na tabela 13 apresenta-se a capacidade de poder molhante e de transferência, em percentagem, das argamassas em estudo ao longo do tempo. A argamassa RE.2 é a que apresenta melhores valores, seguida da CC.2 e depois a CC.1 e CC.3 ao mesmo nível.

Tabela 13: Apresentação da capacidade [%] de poder molhante e transferência ao longo do tempo.

TEMPO [MINUTOS]	CC.1	CC.2	CC.3	RE.2
20	95 vs 95	95 vs 90	95 vs 95	100 vs 100
30	85 vs 50	95 vs 60	80 vs 50	100 vs 100
40	--	--	--	100 vs 100
50	--	--	--	100 vs 100
60	--	--	--	100 vs 100

4.1.3. Caracterização dos produtos endurecidos

A avaliação da resistência à tração perpendicular (aderência) das argamassas CC.1, CC.2, CC.3, RE.1 e RE.2 foi realizada em diferentes condições de cura, nomeadamente, aos 7, 14 e 28 dias em condições padrão (23°C e 50% Hr), após imersão em água, envelhecimento por ação de calor e tempo aberto após 30 minutos. Estes resultados correspondem à aplicação dos ensaios segundo a norma NP EN 12004:2008.

A figura 52 apresenta a evolução temporal da tensão de aderência dos 7 aos 28 dias e a figura 53 permite obter uma visão geral da tensão de aderência obtida em todos os ensaios, para todas as argamassas. Os resultados detalhados encontram-se em anexo, nas tabelas A1, A2, A3, A4 e A5.

A figura 52 evidencia a existência de dois grupos, as argamassas CC.1 e CC.2 com valores de tensão de aderência menores e as argamassas CC.3, RE.1 e RE.2 a exibir um melhor comportamento. Neste último grupo é ainda evidente que a CC.3 é a que apresenta valores de tensão de aderência menores, sendo os valores mais elevados obtidos para as resinas epoxídicas, RE.1 e RE.2.

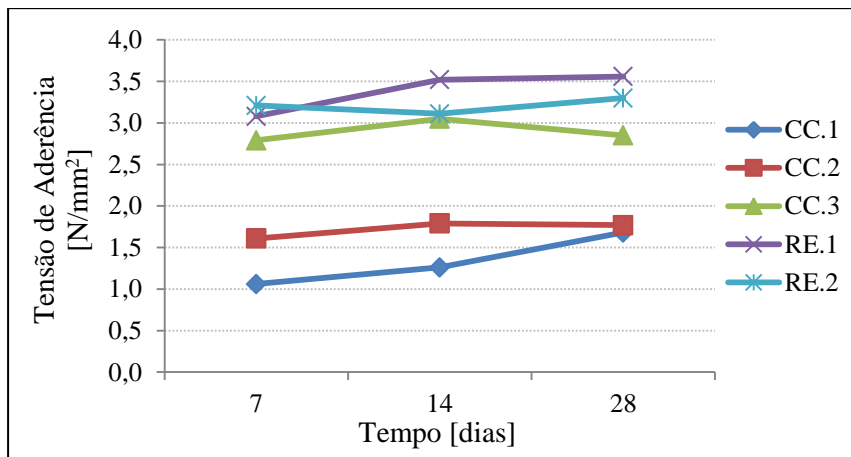


Figura 52: Evolução temporal da tensão de aderência das argamassas-cola (7, 14 e 28 dias).

A partir da análise do gráfico da figura 53, é possível observar que a argamassa RE.2, apresenta melhores resultados de tensão de aderência após imersão em água e envelhecimento por ação do calor, quando comparada com as restantes.

No ensaio de aderência ao tempo aberto após 30 minutos, a argamassa RE.2 apresenta, igualmente, o valor de tensão de aderência mais elevado. No entanto, como este ensaio não foi realizado para a argamassa RE.1, não é possível comparar esta com as restantes.

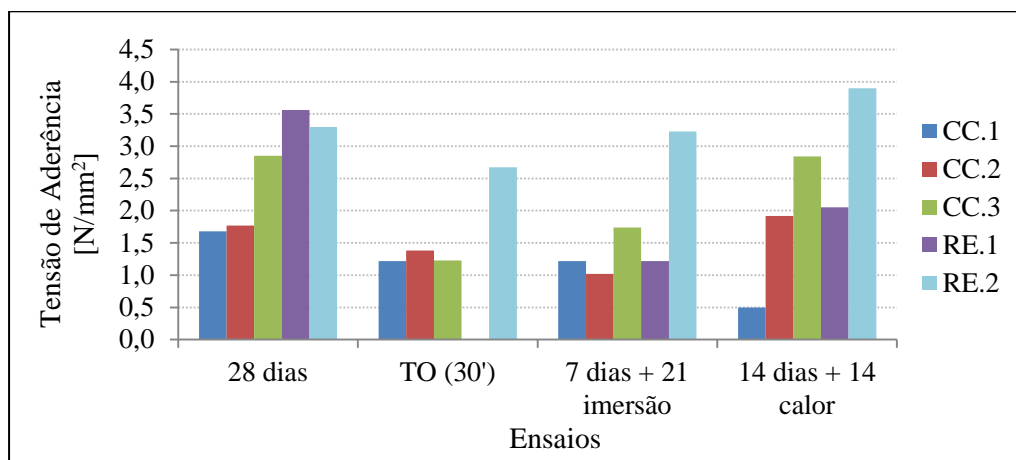


Figura 53: Evolução da tensão de aderência das argamassas-cola.

A argamassa CC.1 cumpre os requisitos de aderência necessários para pertencer à classe C1, apresentando valores superiores a $1,0\text{N/mm}^2$, à exceção da tensão de aderência por tração após ação do calor ($0,5\text{N/mm}^2$). Os ensaios apresentam roturas totalmente adesivas entre o ladrilho e a cola (AF-T) nas aderências aos 7 dias, à imersão em água e após ação de calor, e, parcialmente coesiva na argamassa nos restantes casos.

As argamassas CC.2 e CC.3 possuem, para todas as condições de cura, os requisitos de aderência necessários para pertencer à classe C2, apresentando a argamassa CC.2 valores entre $1,0$ e $1,9\text{N/mm}^2$ e a argamassa CC.3 entre $1,2$ e $3,1\text{N/mm}^2$. A argamassa-cola CC.2 apresenta roturas totalmente coesivas na cola após ação do calor e, nos restantes casos, roturas parcialmente coesivas. A argamassa CC.3 não tem um padrão de rotura definido, variando entre rotura adesiva entre o ladrilho e a peça tração (BT), rotura coesiva no suporte (CF-S) e rotura adesiva entre o ladrilho e a cola (AF-T).

A resina RE.1, à exceção do ensaio de imersão, em que apenas se obteve uma tensão de aderência de $1,2\text{N/mm}^2$, possui tensões de aderência superiores aos $2,0\text{N/mm}^2$, conforme exigido na especificação para colas de resinas de reação. O modo de rotura foi coesivo no suporte (CF-S) no ensaio ao calor, apresentando nos restantes casos, rotura adesiva entre o ladrilho e a cola (AF-T).

A resina RE.2 possui em todas as condições de cura tensões de aderência superiores a $3,0\text{N/mm}^2$, com exceção do ensaio de tempo aberto, que apresentou um valor de tensão de aderência de $2,7\text{N/mm}^2$. O modo de rotura foi coesivo no cerâmico (CF-T), no ensaio ao tempo aberto após 30 minutos, sendo nos restantes casos coesivo no suporte (CF-S).

Os resultados obtidos no ensaio de deformação transversal são apresentados na tabela 14 e figura 54 (que representa o gráfico força/deformação). De salientar, que a resina de reação RE.2 suportou uma força 102N, atingindo os 10,0mm de deformação sem ocorrer rotura.

Tabela 14: Apresentação dos parâmetros força [N] e deformação [mm] obtidos a partir do ensaio de deformação transversal.

	CC.2	CC.3	RE.1	RE.2
Força [N]	7	6	44	102
Deformação [mm]	1,9	4,6	8,5	10,0

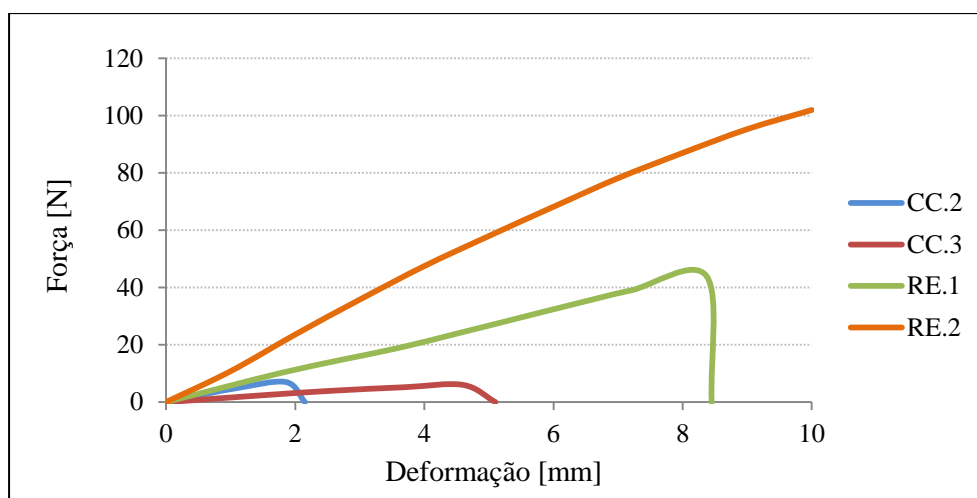


Figura 54: Resultados da deformação transversal.

4.2. Caracterização da lâmina cerâmica

A caracterização da lâmina cerâmica envolveu a avaliação do produto comercial sem rede no tardoz (LCSR) e com rede no tardoz (LCCRI), por comparação com um cerâmico do tipo V1.

Os ensaios realizados para a caracterização da lâmina consistiram em determinar a perda de massa por calcinação a 500° e 900°C, a absorção de água, a porosidade aberta, a permeabilidade ao vapor de água, a resistência à flexão e a resistência ao choque.

Tabela 15: Apresentação das propriedades dos cerâmicos do tipo V1 e da lâmina cerâmica com e sem rede no tardoz.

	Cerâmico mono-poroso	Cerâmico do tipo V1	LCSR	LCCRI
Perda de massa por calcinação [%]				
23 – 500°C	-	0,01	0,00	1,98
23 – 900°C	-	0,07	0,20	3,11
Absorção de água [%]	16,08	0,10	0,04	0,36
Porosidade aberta [%]	17,97	0,51	0,00	0,67
Coefficiente de resistência à difusão de vapor de água	65,68	102,35	121,31	140,97
Resistência à flexão [MPa]	-	-	83,3	126,7

No que respeita à perda de massa por calcinação (tabela 15), a percentagem de massa perdida, quer a 500 quer a 900°C, da lâmina cerâmica sem rede é semelhante à do cerâmico do tipo V1, sendo a da lâmina cerâmica com rede no tardo bastante mais elevada.

Do aspeto visual após a queima (figura 55) pode verificar-se que a diferença de valores se deve à rede, conforme esperado, pois o cerâmico V1 e a LCSR não apresentam qualquer alteração no seu aspeto. Por outro lado, a LCCRI apresenta, a 500°C, a rede de fibra de vidro descolada da lâmina por degradação da resina usada para fixação da rede no tardo da lâmina e, a 900°C, a rede além de descolar da lâmina fica também parcialmente destruída.

O ensaio de perda de massa por calcinação a 500°C comprova que a cola usada para fixação da rede se trata de uma resina orgânica. A 900°C, é possível observar que a rede de tardo utilizada se trata de uma rede à base de fibra de vidro, devido à perda de massa e à deterioração parcial da própria rede.

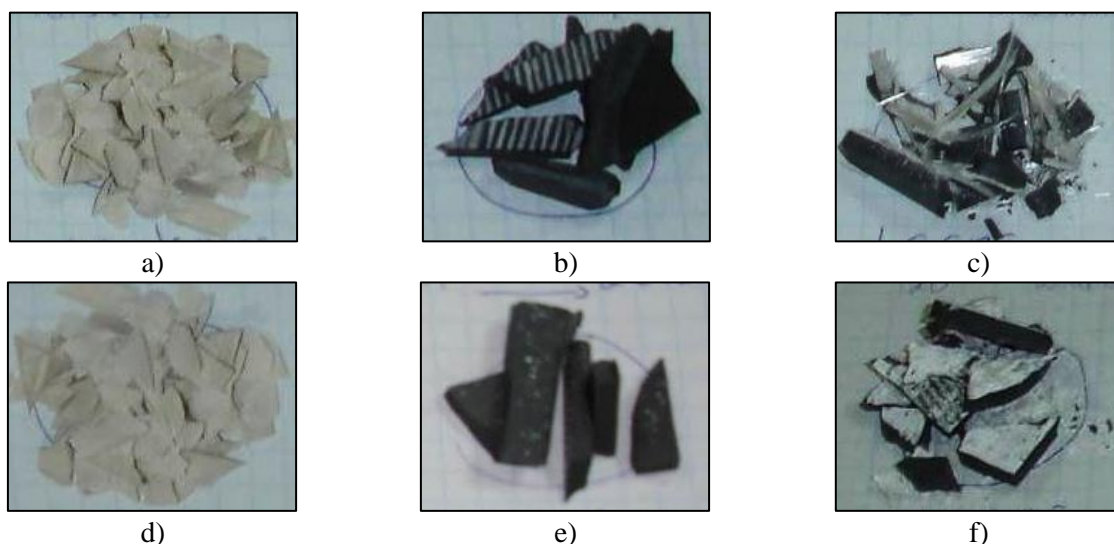


Figura 55: Aspeto após queima: a) Cerâmico tipo V1 após 500°C; b) LCSR após 500°C; c) LCCRI após 500°C; d) Cerâmico tipo V1 após 900°C; e) LCSR após 900°C; f) LCCRI após 900°C.

O ensaio de absorção de água (tabela 15) revelou que as amostras V1, LCCRI e LCSR em estudo são de muito baixa absorção, pois apresentam valores de absorção de água inferiores a 0,5%. A lâmina cerâmica sem rede possui uma capacidade de absorção de água praticamente nula (0,04%) e inferior à capacidade de absorção do cerâmico do tipo V1 (0,10%). A lâmina cerâmica com rede, foi a que absorveu maior quantidade de água (0,36%), o que indica, comparando com a LCSR, que a rede absorveu cerca de 0,32% de água. Como esperado, a cerâmica porosa apresenta valores elevados de absorção de água.

Os resultados do ensaio de determinação da porosidade aberta (tabela 15) vêm reforçar os resultados de absorção de água. Como seria de esperar, a menor porosidade foi obtida para a lâmina cerâmica sem rede (0,00%) e a mais elevada (0,67%) para a lâmina cerâmica com rede no tardo (para os casos de grés porcelânico).

Novamente, o material mono-poroso apresenta os valores superiores.

Relativamente à permeabilidade ao vapor de água, os resultados indicam que a cerâmica mono-porosa apresenta, como esperado, a maior permeabilidade (menor valor de resistência). A lâmina cerâmica, com ou sem rede no tardo, apresenta-se como o material com maior resistência à difusão de vapor, demonstrando a maior dificuldade expectável nos processos de presa e endurecimento que dependem da libertação de água.

O ensaio de resistência à flexão (tabela 15) foi realizado apenas para as lâminas com e sem rede, pelo facto de o cerâmico do tipo V1 ter dimensões 50x50mm, inferiores às necessárias para realização do ensaio (160x40mm). Este ensaio mostra a importância da colocação da rede de fibra de vidro no tardo da lâmina, pois sem rede a lâmina resiste apenas a 83,3MPa, resistindo com a rede a 126,7MPa.

Enquanto a lâmina sem rede, ao fraturar, deixa de evidenciar qualquer ligação, a lâmina com rede, apesar de a cerâmica fraturar, mantém a ligação (figura 56).

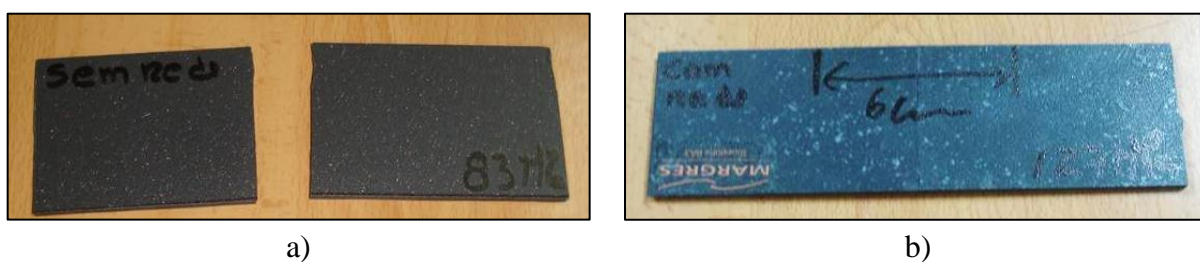


Figura 56: Aspeto da lâmina após realização do ensaio de resistência à flexão: a) LCSR; b) LCCRI.

A avaliação da resistência ao choque foi efetuada através do teste de impacto (tabela 16), no qual se usaram dois tipos de suporte, uma placa de betão e uma placa de EPS 100, sobre os quais se colocaram as lâminas com e sem rede, uma versão livre e outra colada com a argamassa-cola CC.3 (uma vez que esta apresenta elevada deformabilidade).

O teste de impacto revelou a fragilidade da lâmina sem rede, pois a única situação em que não ocorre rotura total é no ensaio a 3J, quando a lâmina está colada sobre betão. A

lâmina com rede apresenta uma maior resistência, pois apenas ocorre rotura total no ensaio de 10J quando a lâmina está livre.

Tabela 16: Resultados obtidos, relativamente ao ensaio de resistência ao choque (3J e 10J).

LCSR				
Suporte	Betão		EPS 100	
	Livre	Colada	Livre	Colada
3 J	Rotura total	Sem fissura mas com moessa ($\approx 7\text{mm}$)	Rotura total	Rotura total
10 J	Rotura total	Rotura total	Rotura total	Rotura total
LCCRI				
Suporte	Betão		EPS 100	
	Livre	Colada	Livre	Colada
3 J	Sem fissura mas com moessa	Sem fissura mas com moessa ($\approx 8\text{mm}$)	Sem fissura e sem moessa	Sem fissura e sem moessa
10 J	Rotura total	Sem fissura mas com moessa ($\approx 10\text{mm}$)	Rotura total	Sem fissura mas com moessa ($\approx 20\text{mm}$)

4.3.Avaliação de compatibilidade entre a lâmina cerâmica e argamassas-cola

Para a avaliação da compatibilidade entre argamassas-cola e a lâmina, nas versões com e sem rede, foram selecionadas as argamassas CC.2, CC.3, RE.1 e RE.2 (excluiu-se a argamassa CC.1 por ter apresentado baixos valores de tensão de aderência quando avaliada com os cerâmicos do tipo V1).

A avaliação de compatibilidade foi efetuada através de ensaios de resistência à tração por aderência para diferentes condições de cura, nomeadamente, aos 7, 14 e 28 dias em condições padrão (23°C e 50% Hr), após imersão em água e após envelhecimento por aquecimento.

Os gráficos das figuras 57 a 60 apresentam os valores de tensão de aderência aos 7, 14 e 28 dias, à imersão e ao calor obtidos para os cerâmicos do tipo V1 e para as lâminas com e

sem rede no tardo, em função das várias argamassas-cola. Os resultados detalhados encontram-se em anexo, nas tabelas A6, A7, A8 e A9.

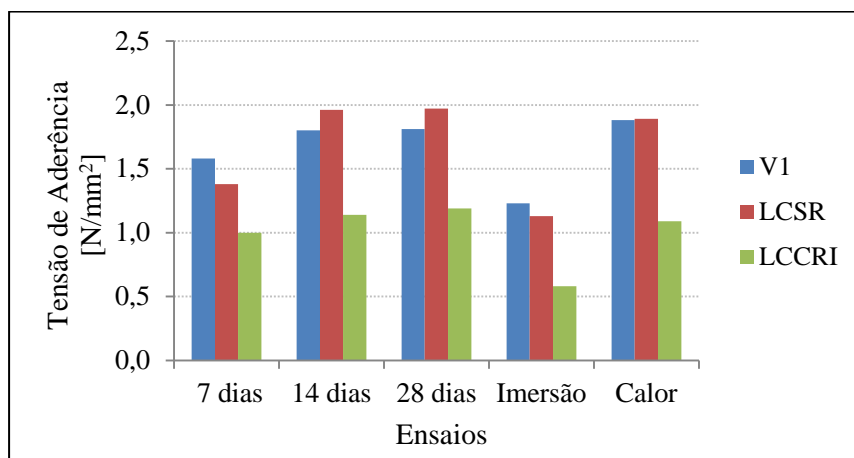


Figura 57: Tensões de aderência da argamassa-cola CC.2 para os vários cerâmicos.

Para a argamassa CC.2 (figura57), verificam-se valores de aderência razoáveis ($>1\text{N/mm}^2$) para os cerâmicos do tipo V1 e para a lâmina sem rede. Para os dois casos, observou-se rotura coesiva na cola (CF-A) aos 7, 14 e 28 dias. Por outro lado, após imersão em água, a rotura observada foi parcialmente coesiva e, finalmente, após ação de calor, a rotura foi adesiva entre a cola e o suporte (AF-S). Com a lâmina cerâmica com rede no tardo, obtiveram-se valores de tensão de aderência menores, para os 7, 14 e 28 dias e após ação de calor que, embora menores são ainda superiores a $1,0\text{N/mm}^2$. No entanto, após imersão, o valor da tensão de aderência decresce para $0,6\text{N/mm}^2$. Os modos de rotura sofreram igualmente alterações, obtendo-se apenas rotura coesiva na cola (CF-A) aos 14 dias e, nos restantes casos, adesiva entre a cerâmica e a cola (AF-T).

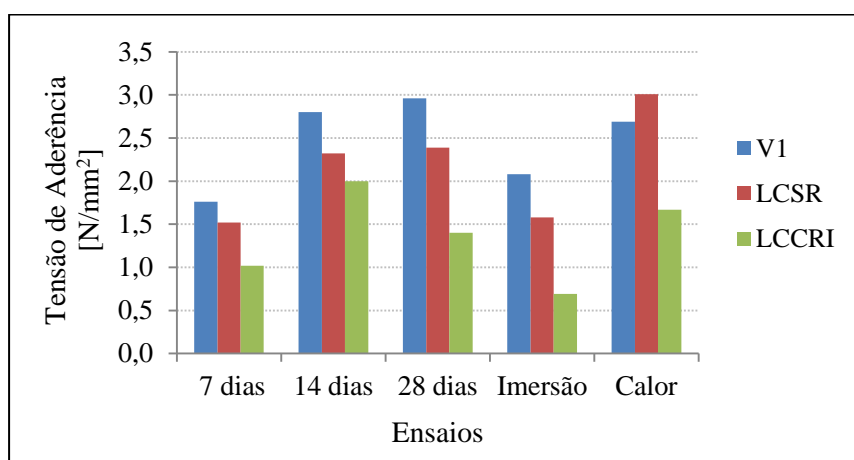


Figura 58: Tensões de aderência da argamassa-cola CC.3 para os vários cerâmicos.

A argamassa-cola CC.3 (figura 58) apresenta valores de tensão de aderência superiores a $1,5\text{N/mm}^2$, quando se usam os cerâmicos do tipo V1 e a lâmina cerâmica sem rede. O tipo de rotura, no caso dos cerâmicos V1, é adesiva entre a cola e o cerâmico (AF-T) aos 7 dias e após imersão, coesiva no suporte (CF-S) aos 14 dias e adesiva entre a peça de tração e o ladrilho (BT) após ação do calor. Aos 28 dias apresenta-se adesiva entre a cola e o cerâmico e adesiva entre a peça de tração e o ladrilho, sendo no caso da LCSR adesiva entre a cola e o cerâmico aos 7 e 28 dias e após imersão. O tipo de rotura aos 14 dias e após ação do calor, apresenta-se coesivo no suporte e adesivo entre a peça de tração e o ladrilho.

Quando se avalia a tensão de aderência da lâmina cerâmica com rede no tardo, os valores tendem a diminuir. No entanto, à exceção do ensaio à imersão (em que apenas se obteve $0,7\text{N/mm}^2$) os valores são superiores a $1,0\text{N/mm}^2$, sendo o tipo de rotura coesiva na cola (CF-A) aos 14 dias e, nos restantes casos, adesiva entre a cola e o cerâmico.

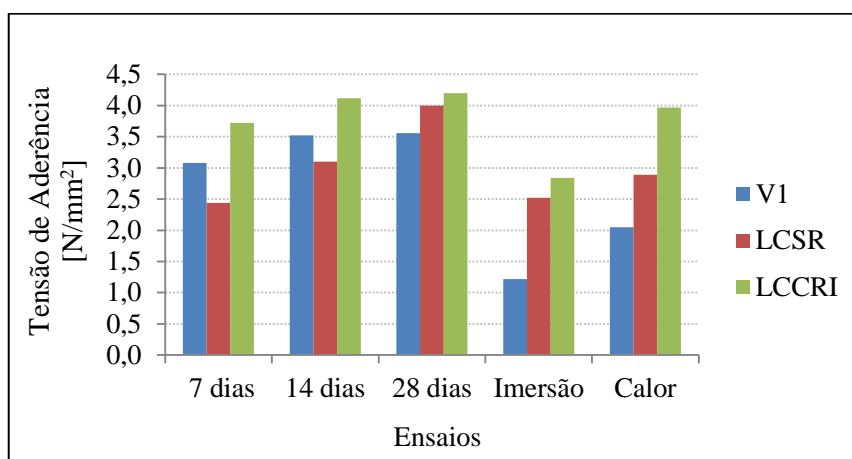


Figura 59: Tensões de aderência da argamassa-cola RE.1 para os vários cerâmicos.

A avaliação da tensão de aderência da resina epoxídica RE.1 (figura 59) revela que existe uma forte ligação com a rede do tardo da LCCRI, e considerando que, neste caso, se obtiveram os melhores valores de tensão de aderência. Com exceção do ensaio à imersão, em que apenas se obteve $2,8\text{N/mm}^2$, os valores obtidos nos restantes ensaios foram superiores a $3,5\text{N/mm}^2$. O modo de rotura foi adesiva entre a peça de tração e o ladrilho (BT) aos 14 dias e, nos restantes casos, coesiva no suporte (CF-S). Na avaliação da resina RE.1 com a LCSR, obtiveram-se valores superiores a $2,5\text{N/mm}^2$, sendo o modo de rotura essencialmente coesiva no suporte. Surpreendentemente, o valor da tensão de aderência à imersão com o cerâmico do tipo V1 foi de $1,2\text{N/mm}^2$, inferior aos exigidos $2,0\text{N/mm}^2$. O modo de rotura foi coesivo no suporte após ação do calor e, nos restantes casos, adesiva entre a cola e o cerâmico (AF-T).

A resina epoxídica RE.2 (figura 60) foi avaliada apenas com os cerâmicos do tipo V1 e com a lâmina com rede no tardo. Os valores obtidos variaram entre 2,7 e 3,9N/mm² para os cerâmicos V1, e entre 2,8 e 4,0N/mm² no caso da LCCRI. O modo de rotura, no caso da lâmina foi sempre coesivo no suporte (CF-S); por outro lado, apresentou-se coesivo no suporte e adesivo entre a peça de tração e o cerâmico (BT), no caso dos cerâmicos V1.

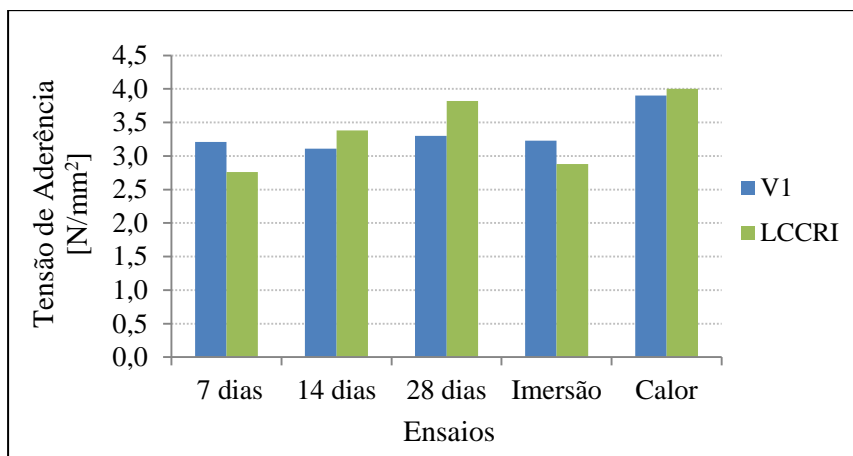


Figura 60: Tensões de aderência da argamassa-cola RE.2 para os vários cerâmicos.

O gráfico da figura 61 resume os valores de tensão de aderência obtidos, quando se usa a lâmina cerâmica com rede irregular no tardo. Este permite constatar que as melhores argamassas para colagem de lâmina cerâmica são as resinas epoxídicas. As argamassas CC.2 e CC.3, obtiveram valores razoáveis, podendo ser indicadas para colagem de LCCRI, em locais interiores e secos. Por outro lado, considerando os valores menores após imersão em água (0,6 e 0,7N/mm², respetivamente, para CC.2 e CC.3) não se recomenda a sua aplicação em situações exteriores ou exigentes ao nível de humidade.

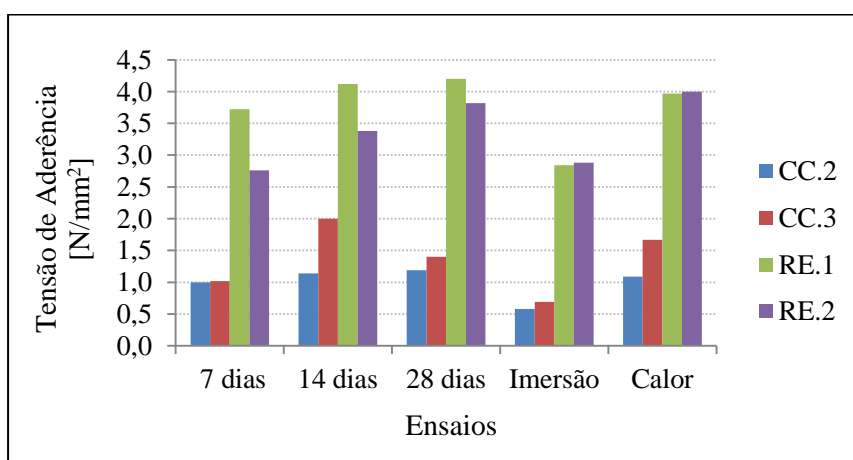


Figura 61: Tensões de aderência obtidas com a LCCRI para as várias argamassas.

4.4.Reconstrução do tardez da lâmina cerâmica

O processo de reconstrução do tardez da lâmina, iniciou-se com a preparação de seis amostras com tardez modificado (de acordo com o indicado na secção 3.4):

- Lâmina cerâmica com rede normal fixa com o promotor de aderência PAD.1;
- Lâmina cerâmica com rede normal fixa com a resina epoxídica RE.1;
- Lâmina cerâmica com rede normal fixa com a cola de base epóxi CE;
- Lâmina cerâmica com rede reforçada fixa com o promotor de aderência PAD.1;
- Lâmina cerâmica com rede reforçada fixa com a resina epoxídica RE.1;
- Lâmina cerâmica com rede reforçada fixada com a cola de base epóxi CE.

As propriedades das redes estão indicadas na tabela 8.

Numa primeira fase, estas preparações foram avaliadas em relação à resistência à flexão e à resistência ao choque.

O ensaio de resistência à flexão (tabela 17), revelou que nenhuma das preparações é tão resistente quanto o produto comercial com rede, no qual se obteve uma resistência de 126,7MPa. No entanto, as preparações com a resina RE.1 também apresentam uma resistência razoável (110,0MPa), seguindo-se as preparações com a cola CE, com um resistência de 100,0MPa. Nas preparações com o promotor de aderência, PAD.1, a resistência obtida por estas foi inferior à resistência do produto comercial sem rede, que foi de 83,3MPa.

Tabela 17: Resistência à flexão [MPa], para as várias preparações de reconstrução do tardez da lâmina cerâmica.

LCSR + rede normal + PAD.1	LCSR + rede reforçada + PAD.1	LCSR + rede normal + RE.1	LCSR + rede reforçada + RE.1	LCSR + rede normal + CE	LCSR + rede reforçada + CE
60,3	76,7	110,0	110,0	100,0	96,7

Na execução do ensaio de resistência à flexão, para todas as preparações, ocorreu a fratura da lâmina e da cola, permanecendo a rede a manter a ligação.

O ensaio de resistência ao choque (tabela 18), foi apenas executado com as amostras das preparações coladas, sobre os dois tipos de suporte, com a argamassa-cola CC.3, pois ao realizar-se este ensaio ao produto comercial, com e sem rede, tornou-se evidente que as

amostras não podem estar soltas, evidenciando-se o papel da cola como elemento dissipador de tensões (sendo este o único caso que não ocorre roturas significativas da lâmina a 10J).

Tabela 18: Resistência ao choque (3J e 10J), para as várias preparações de reconstrução do tardo da lâmina cerâmica.

LCSR +rede normal + PAD			LCSR +rede reforçada + PAD	
Suporte:	Placa de Betão	EPS 100	Placa de Betão	EPS 100
3 J	Sem fissura mas com moossa (≈6mm)	Sem fissura e sem moossa	Sem fissura mas com moossa (≈6mm)	Sem fissura e sem moossa
10 J	Sem fissura mas com moossa (≈10mm)	Com fissura e com moossa (≈40mm)	Sem fissura mas com moossa (≈10mm)	Com fissura e com moossa (≈14mm)
LCSR +rede normal + RE.1			LCSR +rede reforçada + RE.1	
Suporte:	Placa de Betão	EPS 100	Placa de Betão	EPS 100
3 J	Sem fissura mas com moossa (≈5mm)	Sem fissura e sem moossa	Sem fissura mas com moossa (≈6mm)	Sem fissura e sem moossa
10 J	Sem fissura mas com moossa (≈9mm)	Com fissura e com moossa (≈45mm)	Sem fissura mas com moossa (≈10mm)	Com fissura e com moossa (≈25mm)
LCSR +rede normal + CE			LCSR +rede reforçada + CE	
Suporte:	Placa de Betão	EPS 100	Placa de Betão	EPS 100
3 J	Sem fissura mas com moossa (≈6mm)	Sem fissura e sem moossa	Sem fissura mas com moossa (≈6mm)	Sem fissura e sem moossa
10 J	Sem fissura mas com moossa (≈10mm)	Com fissura e com moossa (≈35mm)	Sem fissura mas com moossa (≈10mm)	Sem fissura mas com moossa (≈18mm)

Face aos resultados obtidos no ensaio das novas superfícies ao choque, as melhores amostras foram a rede reforçada colada com PAD.1 e a rede reforçada colada com CE.

Para melhor interpretação, torna-se evidente a importância de avaliar as colas usadas na fixação das redes. Esta avaliação foi efetuada através do ensaio de deformação transversal, com provetes das três colas usadas: simples, com rede normal e com rede reforçada. Os resultados obtidos no ensaio de deformação transversal são apresentados na tabela 19 e, na figura 62 o gráfico força/deformação.

Os três tipos de provetes da cola CE atingiram os 10,0mm de deformação sem fraturar e as amostras da cola RE.1 fraturaram, embora para cargas muito superiores.

Nas amostras preparadas com a cola PAD.1, devido à sua flexibilidade, optou-se por realizar ensaio de tração pura. Os resultados indicam que a amostra simples atingiu 300,0mm de deformação aos 55N de força, sem que ocorresse rotura. Optou-se por não ensaiar as amostras com rede, porque se avaliaria a resistência da rede, sendo o objetivo a avaliação da resistência da PAD.1.

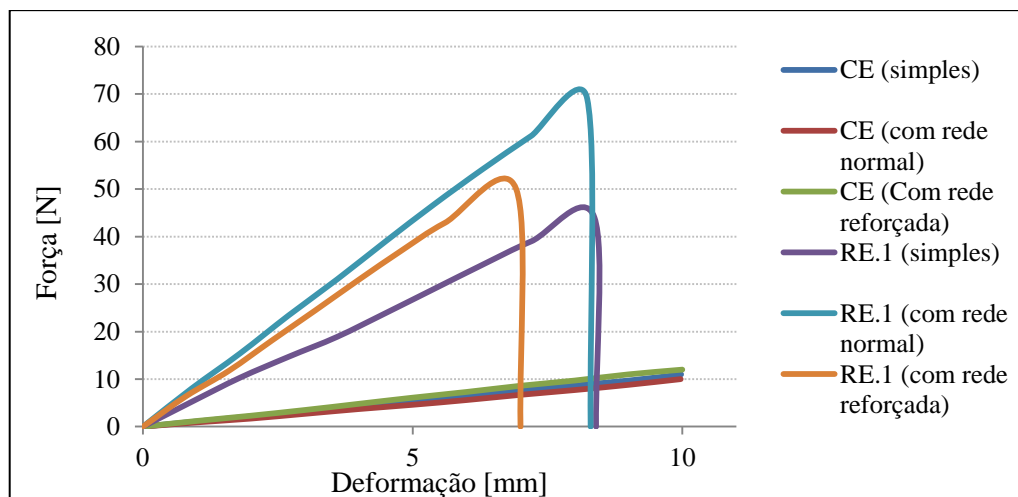


Figura 62: Deformação transversal das amostras preparadas com colas CE e RE.1, simples, com rede normal e com rede reforçada.

Tabela 19: Apresentação dos parâmetros força [N] e deformação [mm], obtidos a partir do ensaio de deformação transversal para as várias preparações das colas CE, RE.1 e PAD.1.

	CE (simples)	CE (com rede normal)	CE (com rede reforçada)	RE.1 (simples)	RE.1 (com rede normal)	RE.1 (com rede reforçada)	PAD.1 ^(*) (simples)
Força [N]	11	10	12	44	69	50	55
Deformação [mm]	10,0	10,0	10,0	8,4	8,2	6,9	300

(*) – relativo a ensaio de tração pura.

Estes resultados da deformação das colas, vêm reforçar os resultados obtidos no teste de impacto, uma vez que as colas mais deformáveis são a PAD.1 seguida da CE, que demonstraram ser as melhores dissipadores de tensões de impacto.

Realizou-se também uma avaliação da compatibilidade entre as colas usadas nas preparações anteriores (tabela 20). Prepararam-se as amostras conforme o procedimento descrito em 3.4.2, e executaram-se aderências aos 7 dias e após imersão. Foram obtidos para ambos os ensaios um valor maior de resistência à tração na amostra de RE.1 com PAD.1

(2,8N/mm² aos 7 dias e 1,6N/mm² após imersão) sendo o modo de rotura, em todos os casos, coesivo no suporte (CF-S).

Tabela 20: Avaliação da compatibilidade entre RE.1/ CE e PAD.1, pela determinação da tensão de aderência [N/mm²].

	Placa betão + RE.1 + PAD.1	Placa betão + CE + PAD.1
7 dias	2,8	1,9
Imersão	1,6	1,4

Após a obtenção dos resultados destes ensaios complementares decidiu-se avaliar a possibilidade de melhoria das superfícies preparadas. Prepararam-se novas amostras, com as colas PAD.1 e RE.1, adicionando-lhes granulados de calcário, com o objetivo de criar pontes de aderência entre superfícies de contacto.

Realizaram-se ensaios de resistência à tração perpendicular (aderência) às amostras preparadas em que se usou a rede reforçada fixa com a RE:1 e com a PAD.1:

- Lâmina cerâmica com rede reforçada fixa com a resina epoxídica RE.1;
- Lâmina cerâmica com rede reforçada fixa com a resina epoxídica RE.1 com adição de granulado de calcário G (1,5-3,0mm);
- Lâmina cerâmica com rede reforçada fixa com o promotor de aderência PAD.1;
- Lâmina cerâmica com rede reforçada fixa com o promotor de aderência PAD.1 com adição de granulado de calcário F (0,5-1,5mm);
- Lâmina cerâmica com rede reforçada fixa com o promotor de aderência PAD.1 com adição de granulado de calcário G (1,5-3,0mm);

A figura 63 e a figura 64 apresentam os valores tensões de aderência das lâminas com as novas superfícies, em comparação com o produto comercial. Em anexo nas tabelas A10 e A11 encontram-se os resultados detalhados.

Ao contrário do previsto, a adição de granulados às superfícies preparadas, piorou a ligação da lâmina à argamassa-cola, facto evidenciado pelos valores da tensão de aderência. Nas lâminas em que se aplicou granulado G foram obtidos os menores valores de tensão de aderência, seguindo-se a lâmina em que se aplicou o granulado F (embora neste caso, se

obtenham valores próximos dos do produto comercial) e, por último, as lâminas em que apenas se usou a rede reforçada colada com RE.1 e com PAD.1.

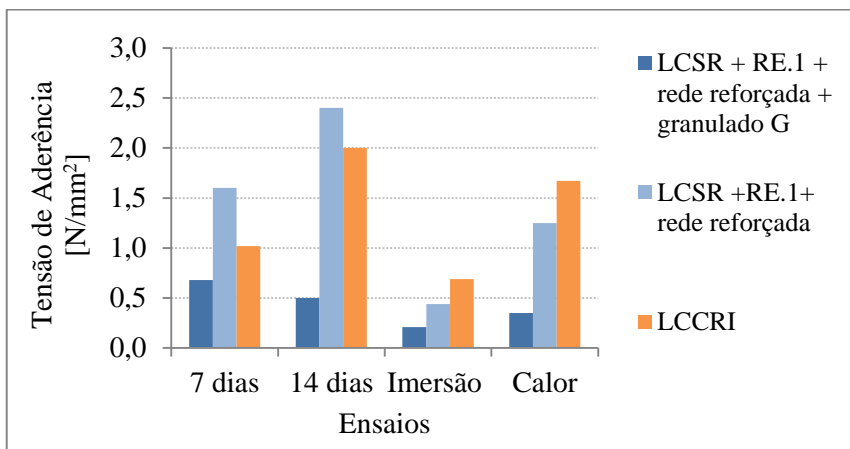


Figura 63: Tensões de aderência das lâminas com as novas superfícies em comparação com o produto comercial (LCCRI).

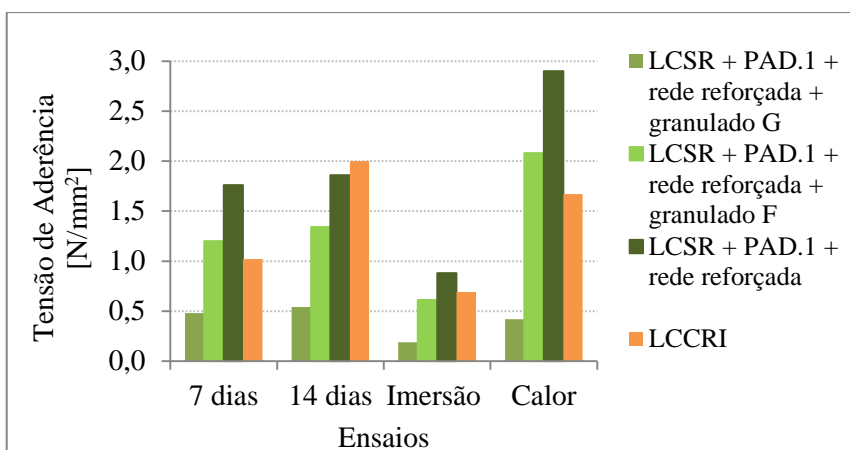


Figura 64: Tensões de aderência das lâminas com as novas superfícies em comparação com o produto comercial (LCCRI).

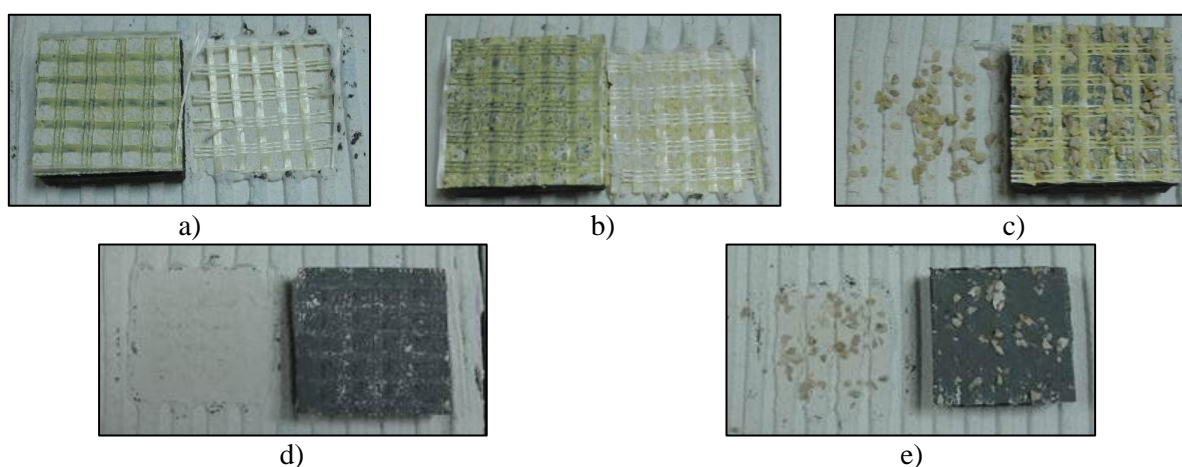


Figura 65: Modo de rotura: a) Lâmina com rede fixa com PAD.1; b) Lâmina com rede fixa com PAD.1 mais granulado F; c) Lâmina com rede fixa com PAD.1 mais granulado G; d) Lâmina com rede fixa com RE.1; e) Lâmina com rede fixa com RE.1 mais granulado G.

Como mostra a figura 65, as lâminas em que o tardez é constituído pela rede reforçada fixa com RE.1 e PAD.1, e no caso em que se usa o granulado F, a rotura é parcialmente coesiva na cola (CF-A), verificando-se que a argamassa é totalmente esmagada. O mesmo não se verifica quando se usa o granulado G, pois neste caso a rotura é adesiva entre a lâmina e a cola (AF-T), não ocorrendo o total esmagamento da cola.

Os baixos valores de tensão de aderência obtidos quando se usa o granulado G, podem dever-se ao facto de este, devido às suas dimensões (1,5-3,0mm), não permitir o esmagamento da cola (figura 66), diminuindo assim a área de contacto entre a lâmina e a argamassa-cola, e consequentemente os pontos de ligação.

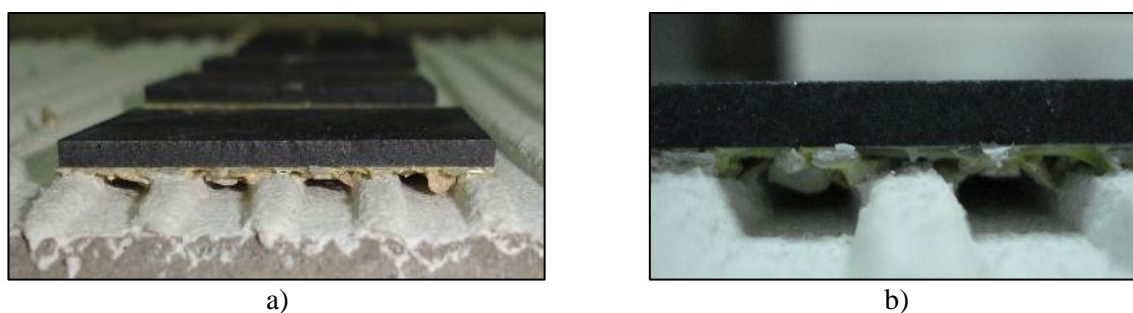


Figura 66: Possível causa dos resultados das preparações com granulada G.

4.5. Avaliação da influência de propriedades das argamassas na aderência aos cerâmicos considerados

Com os primeiros testes de avaliação do processo de presa, pretendeu-se determinar os pontos-chave para o sucesso de experiências futuras. Avaliou-se a tensão de aderência em cinco pontos da superfície da lâmina (400x400mm), um ao centro e um em cada canto. Determinou-se também a quantidade de água presente em amostras de argamassa-cola (CC.3), recolhidas nos locais onde se realizaram as aderências, pelo ensaio de perda de massa a 70°C.

As figuras 67 e 70 mostram, respetivamente, os valores da tensão de aderência e as respetivas perdas de massa a 70°C, no centro (A) e nos cantos (B), às 24 horas, 3 dias (72 horas) e 7 dias (168 horas), quando se usa silicone, na periferia, para os respetivos tipos de suporte.

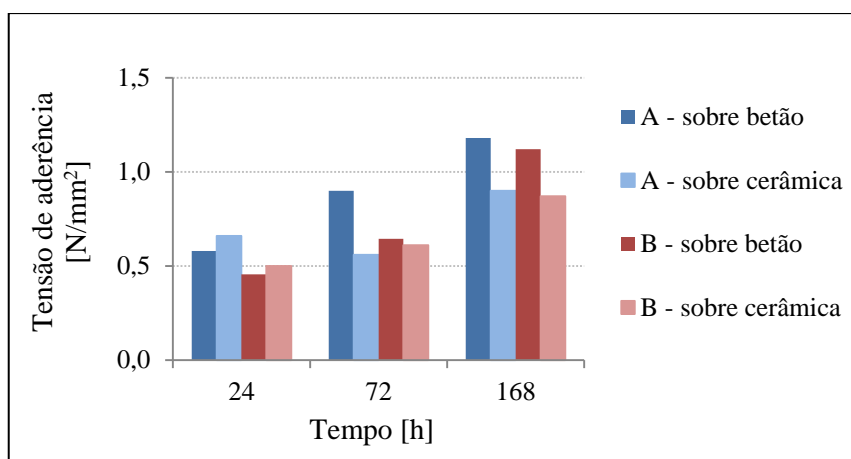


Figura 67: Tensões de aderência da LCCRI sobre betão e sobre cerâmica quando se usa a lâmina 400x400mm e silicone.

Através da observação da figura 67, constata-se que sobre suporte de betão, se obtêm melhores aderências que sobre suporte em cerâmica vidrada. Quanto às posições de aderência, não se notam diferenças significativas do centro para os cantos. Foi, no entanto, perceptível a existência de diferenças entre as 24 horas e os 7 dias, quer ao nível do valor da tensão de aderência, quer do modo de rotura. Quando o suporte é a placa de betão nota-se um aumento de aderência entre as 24h e os 7 dias, e o tipo de rotura deixa de ser parcialmente coesiva na cola (CF-A), para passar a ser adesiva entre a cerâmica e a cola (AF-T), como mostra a figura 68.

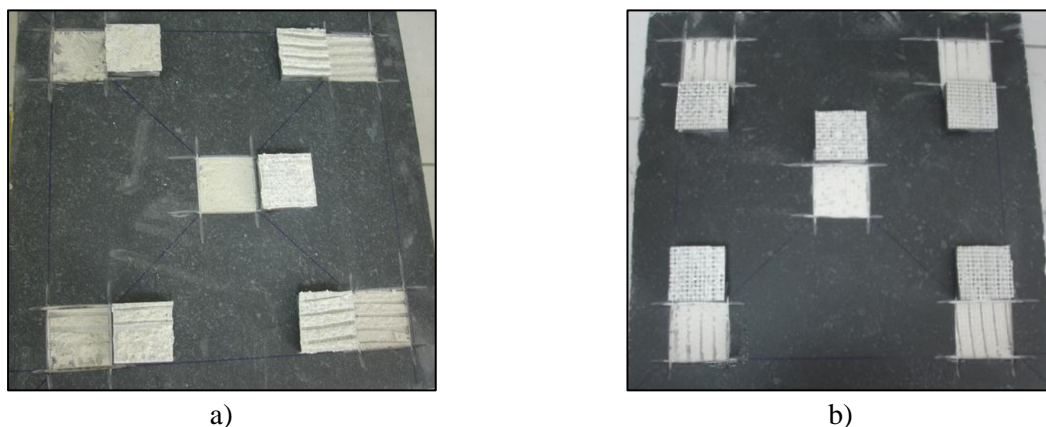


Figura 68: Tipo de rotura quando o suporte é o betão: a) Às 24 horas; b) Aos 7 dias.

Quando o suporte é a cerâmica vidrada, verifica-se também o aumento do valor de tensão de aderência das 24 horas para os 7 dias, e o modo de rotura passa de coesivo na cola (CF-A) para adesivo entre a cola e o suporte (AF-S) (figura 69).

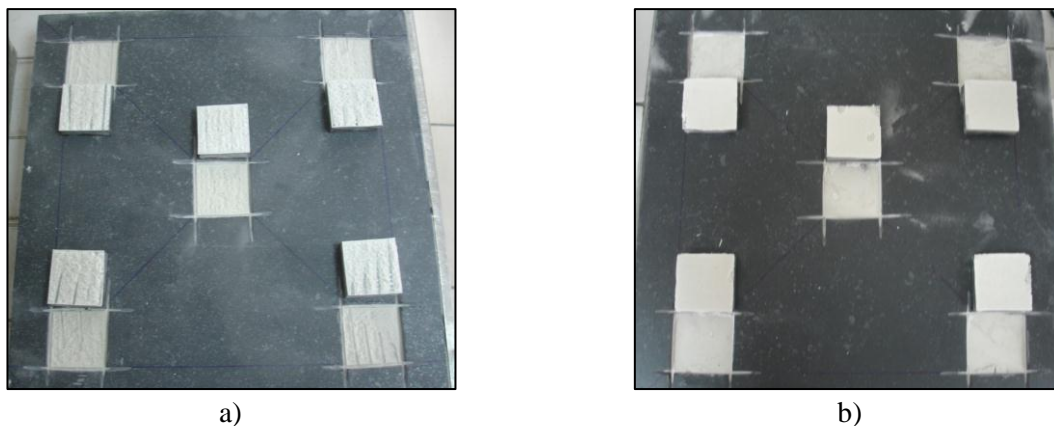


Figura 69: Tipo de rotura quando o suporte é a cerâmica vidrada: a) Às 24 horas; b) Aos 7 dias.

Dos modos de rotura, é ainda possível constatar que a ligação entre a argamassa e o suporte é maior quando o suporte é o betão em relação ao suporte em cerâmica vidrada.

Os valores das perdas de massa mostraram, como esperado, que à medida que se avança no tempo a argamassa está mais seca, pois perde menos massa. Quando o suporte é a cerâmica vidrada existe uma maior perda de massa, comparando com o suporte em betão, o que indica que a secagem se dá mais rapidamente neste último caso, por este absorver parte da água da argamassa.

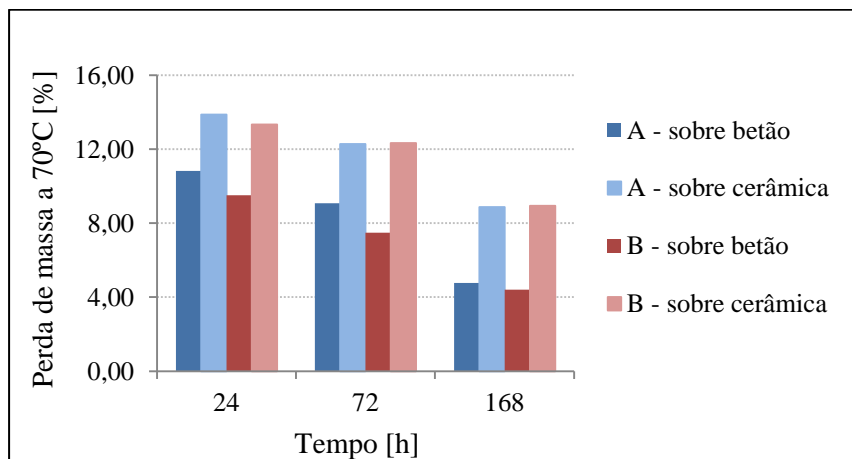


Figura 70: Perda de massa a 70°C da argamassa-cola CC.3, quando se usa a lâmina 400x400mm e silicone, sobre betão e sobre cerâmica.

As figuras 71 e 72 apresentam os resultados de aderência e perda de massa em função da situação correspondente à utilização de silicone na periferia e sem silicone, com o objetivo de avaliar o efeito de inibição de evaporação pelas extremidades dos provetes de ensaio.

No entanto, a partir da análise de resultados da figura 71 (ensaio às 24 horas) nota-se que se obtêm melhores resultados de resistência à tração quando se recorre ao uso do silicone.

O modo de rotura com silicone é maioritariamente coesivo na cola (CF-A), sendo sem silicone essencialmente adesivo entre o cerâmico e a cola (AF-T).

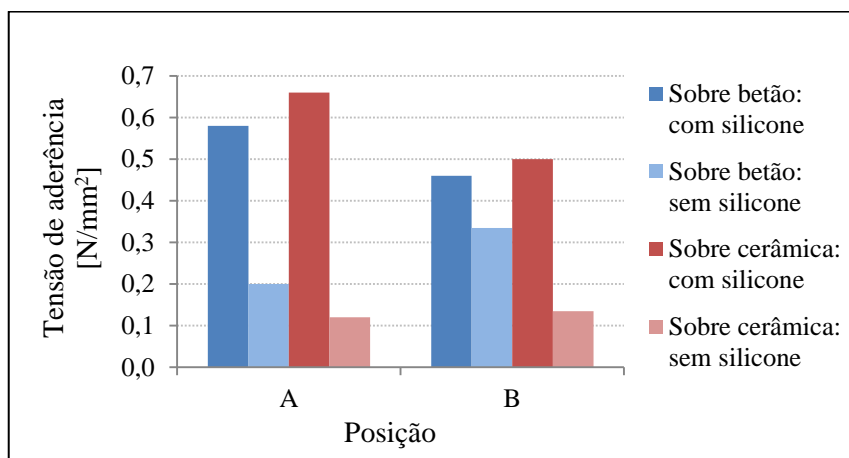


Figura 71: Tensão de aderência às 24 horas, quando se usa a lâmina 400x400mm sobre betão e sobre cerâmica, com e sem silicone.

Os resultados de perda de massa, evidenciaram que sobre suporte em cerâmica vidrada, não se notam diferenças de valores em relação ao uso de silicone. No entanto, quando o suporte é o betão, ao contrário do esperado, nota-se um acréscimo de perda de massa quando não se usa silicone.

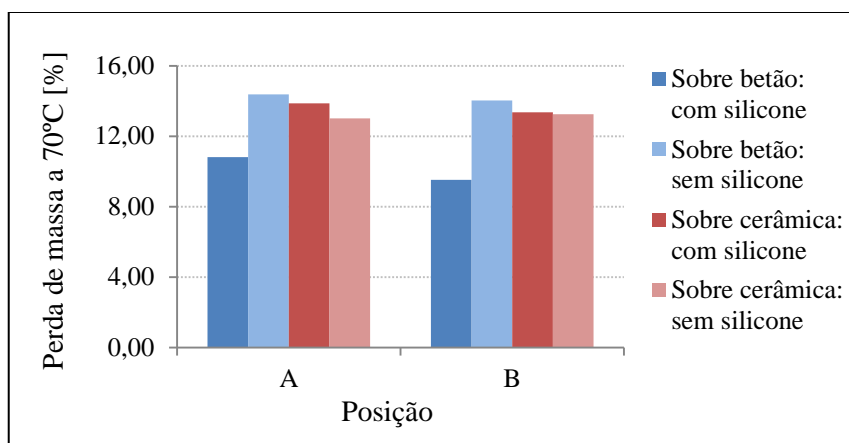


Figura 72: Perda de massa a 70°C da argamassa-cola CC.3, quando se usa a lâmina 400x400mm sobre betão e sobre cerâmica, com e sem silicone.

Comparando, às 24 horas, o efeito da dimensão da lâmina, com valores de 400x400mm e de 50x50mm (figura 73), conclui-se que a mesma é um fator relevante, pois quando se usam as lâminas com dimensões de 400x400mm, a tensão de aderência diminui significativamente. Relativamente ao modo de rotura não se evidenciam diferenças significativas, sendo o modo de rotura em todos os casos essencialmente adesivo entre a peça cerâmica e a cola. Em princípio, a diferença pode dever-se ao processo de secagem mais lento, dada a dimensão e

porosidade da peça. Outro fator a considerar pode ser a maior dificuldade em exercer uma força homogênea sobre toda a superfície da lâmina, durante a preparação das placas.

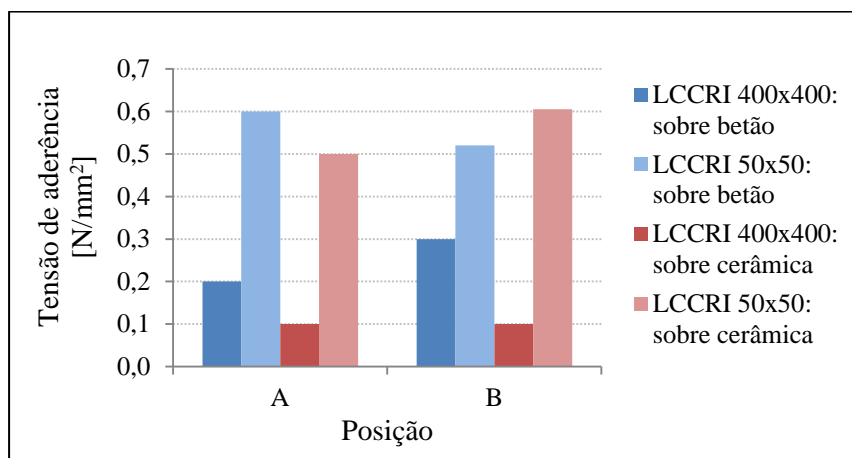


Figura 73: Tensão de aderência às 24 horas para LCCRI, sobre betão e sobre cerâmica, com lâmina de dimensão 400x400mm e para lâmina 50x50mm.

Relativamente à perda de massa a 70°C, pode observar-se pela figura 74, que se perde maior quantidade de massa quando se utiliza a lâmina 400x400mm, seja o suporte o betão ou a lâmina, o que fez prever o processo de secagem/endurecimento mais lento como a principal causa para valores de aderência menores.

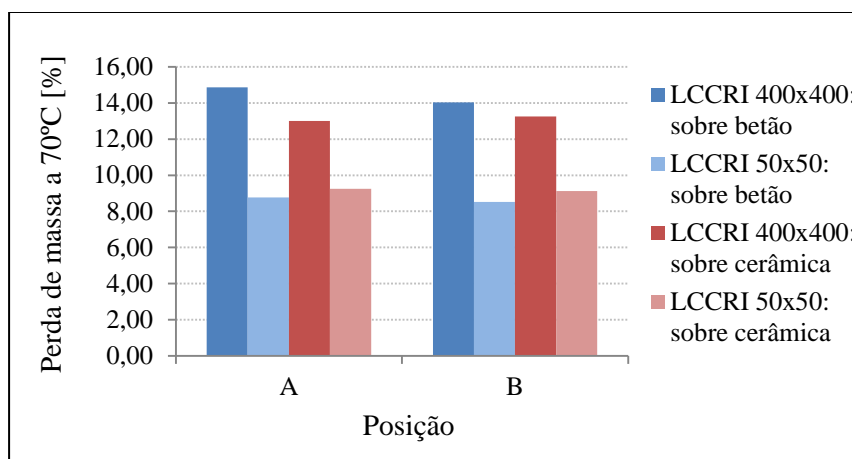


Figura 74: Perda de massa a 70°C da argamassa-cola CC.3, sobre betão e sobre cerâmica para lâminas de dimensão 400x400mm e 50x50mm.

No entanto, nota-se que os resultados às 24 horas já são suficientemente elevados, o que não permite compreender o real processo de presa/endurecimento inicial. Nestes primeiros testes de avaliação da presa e endurecimento inicial da argamassa-cola, revela-se a necessidade de mudar a metodologia, de modo a garantir um melhor entendimento do processo. Revela-se também, que o peso de 15kg (placa de betão) não é suficiente, uma vez que em alguns casos a argamassa não foi esmagada.

4.5.1. Avaliação de compatibilidade entre lâmina cerâmica e argamassas-cola em função da presa

Nesta parte do trabalho, avaliou-se a tensão de aderência em cinco pontos de uma lâmina com rede no tardo de dimensões faciais 400x400mm, com três argamassas distintas, CC.3, CC.4 e CC.5, às 6 e 24 horas e aos 7 dias (168 horas), sendo o suporte a lâmina cerâmica sem rede. Além da mudança nos tempos de ensaios, mudou-se também o processo de aplicação da pressão homogênea, passando-se a usar, para além da placa de betão, 5 prismas metálicos de 2kg colocados nos pontos onde se realizaram as aderências, servindo de suporte à placa de betão, durante 5 minutos.

A figura 75 mostra os valores de tensão de aderência obtidos ao longo do tempo, no centro (A) e nos cantos (B), para a argamassa CC.3, a figura 76 para a CC.4 e a figura 77 para a CC.5. Todos os valores com os respetivos modos de rotura são apresentados na tabela A12 em anexo.

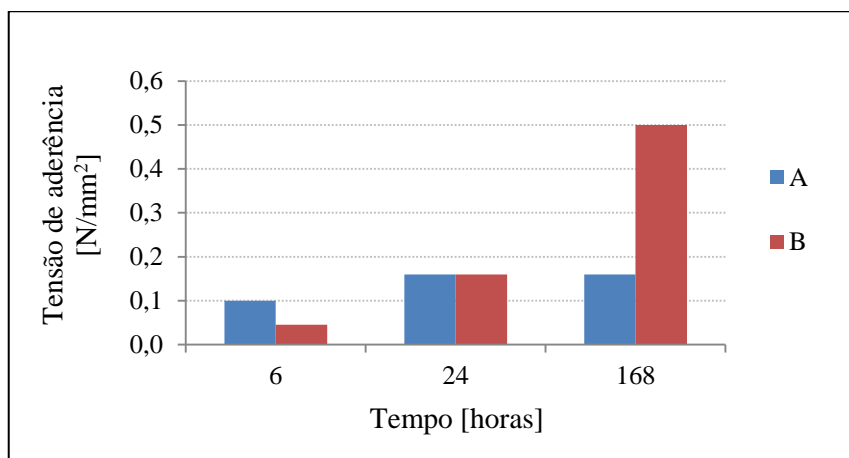


Figura 75: Evolução temporal da tensão de aderência da argamassa CC.3, quando o suporte é a lâmina cerâmica.

A argamassa CC.3 possui, às 6 e 24 horas, valores de tensão de aderência bastante semelhantes, apresentando às 6 horas uma rotura do tipo coesiva na cola (CF-A) e às 24 horas do tipo adesiva entre a lâmina e a cola (AF-T). Aos 7 dias (168 horas), apesar do modo de rotura ter sido também adesivo, obtiveram-se valores mais elevados nos cantos (B).

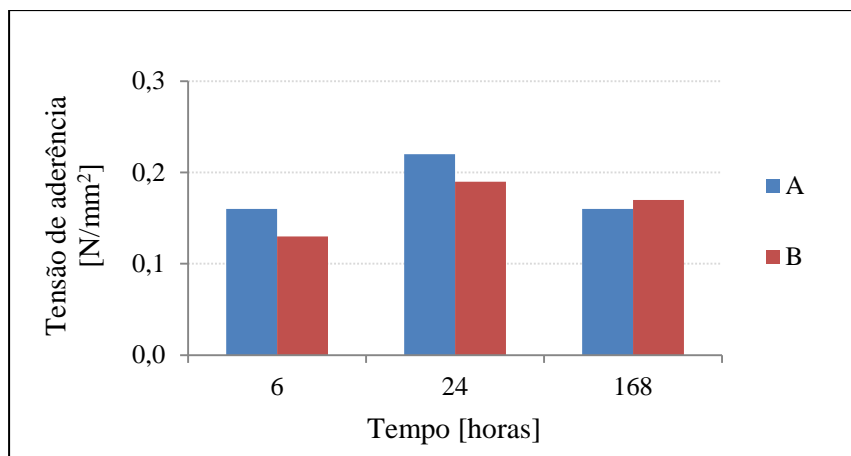


Figura 76: Evolução temporal da tensão de aderência da argamassa CC.4, quando o suporte é a lâmina cerâmica.

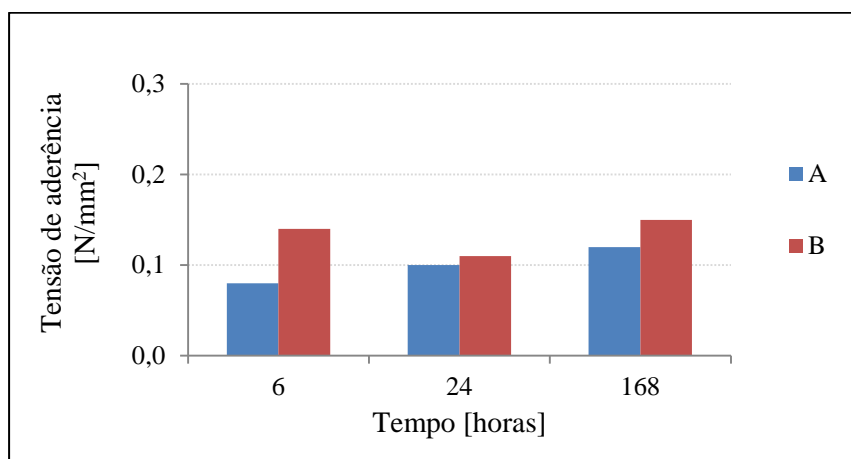


Figura 77: Evolução temporal da tensão de aderência da argamassa CC.5, quando o suporte é a lâmina cerâmica.

Nos gráficos das figuras 76 e 77, pode constatar-se que as argamassas CC.4 e CC.5 têm valores de tensão de aderência semelhantes às 6 horas e 7 dias, com variação entre 0,1 e 0,2N/mm², não sendo notória a diferença de valores entre a posição central (A) e os cantos (B). Sendo estas duas argamassas de presa rápida e o modo de rotura ter sido sempre adesivo entre a lâmina e a cola (AF-T), pode concluir-se que a presa demasiado rápida, prejudica a aderência por não permitir a ligação entre a lâmina e a cola, especialmente ao nível da molhabilidade da superfície durante a aplicação/preparação dos provetes.

A avaliação da perda de massa (figuras 78, 79 e 80) nos pontos onde se realizaram as aderências, mostrou que praticamente não existem diferenças entre o ponto central e os cantos, constatando-se que a argamassa com maior percentagem de perda de massa (para todos os tempos considerados) é a CC.3, seguindo-se a CC.4 e por último a CC.5. No entanto, enquanto na argamassa CC.3 a percentagem de perda de massa vai diminuindo ao longo do

tempo, nas argamassas CC.4 e CC.5 nota-se uma diminuição da perda de massa das 6 para as 24 horas, com estabilização para os tempos posteriores (168 h).

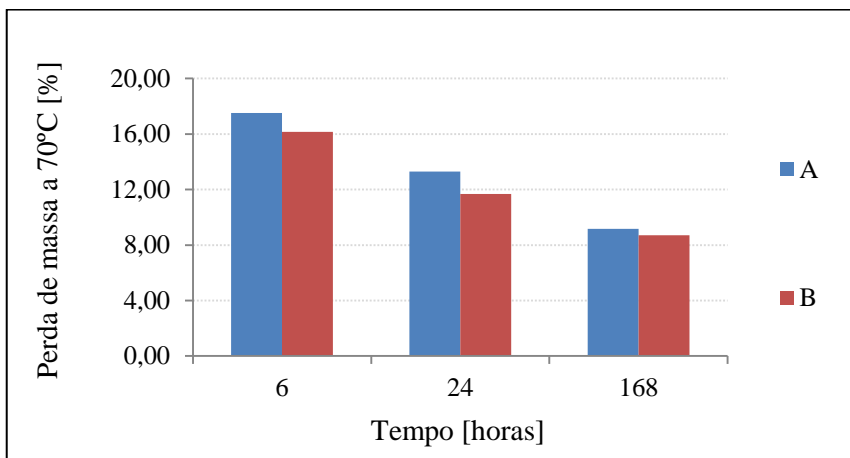


Figura 78: Avaliação da perda de massa a 70°C da argamassa CC.3, ao longo do tempo, quando o suporte é a lâmina cerâmica.

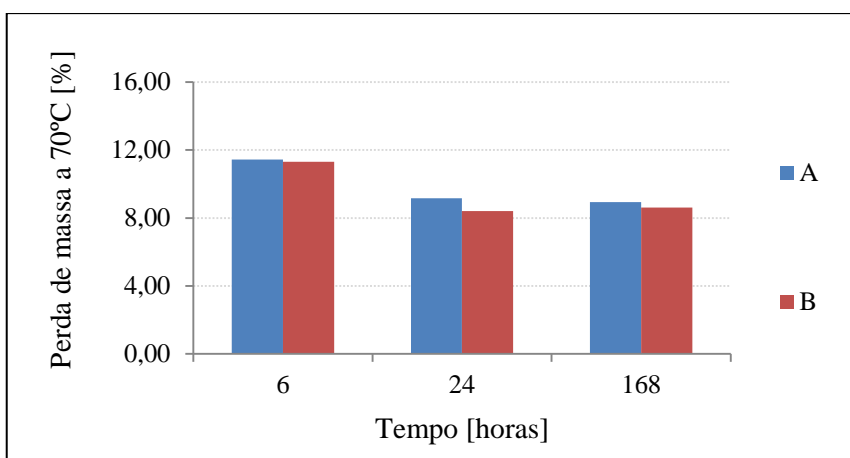


Figura 79: Avaliação da perda de massa a 70°C da argamassa CC.4, ao longo do tempo, quando o suporte é a lâmina cerâmica.

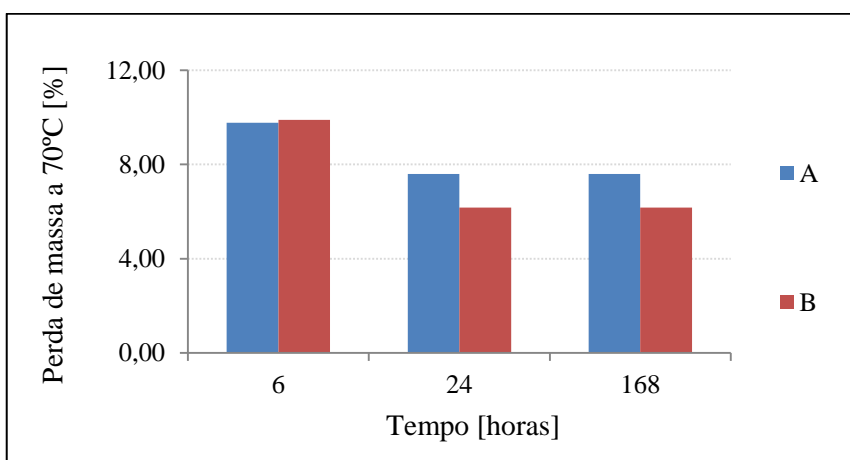


Figura 80: Avaliação da perda de massa a 70°C da argamassa CC.5, ao longo do tempo, quando o suporte é a lâmina cerâmica.

A explicação para as diferenças pode estar relacionada com o tipo de ligante de cada argamassa, o tempo de presa e a água de amassadura de cada argamassa. Assim, a CC.3, por apresentar maior água de amassadura, é natural que apresente maior perda de massa. Por outro lado, a presa mais rápida para os casos CC.4 e CC.5 pode explicar a variação em função do tempo; finalmente, a presença de sulfoaluminato de cálcio também pode explicar a menor perda de massa (em água livre no sistema).

As figuras 81 e 82 mostram as diferenças introduzidas no valor da tensão de aderência quando se muda o tipo de suporte, especialmente para a CC.3. É possível observar que às 6 horas praticamente não se notam diferenças, às 24 horas já são obtidos melhores valores, com o suporte em betão, sendo evidente uma melhoria aos 7 dias, neste mesmo tipo de suporte. Os modos de rotura, para os suportes em betão, ou em lâmina cerâmica, foram às 6 horas coesivos na cola (CF-S), passando a adesivos entre a cerâmica e a cola (AF-T) ao longo do tempo.

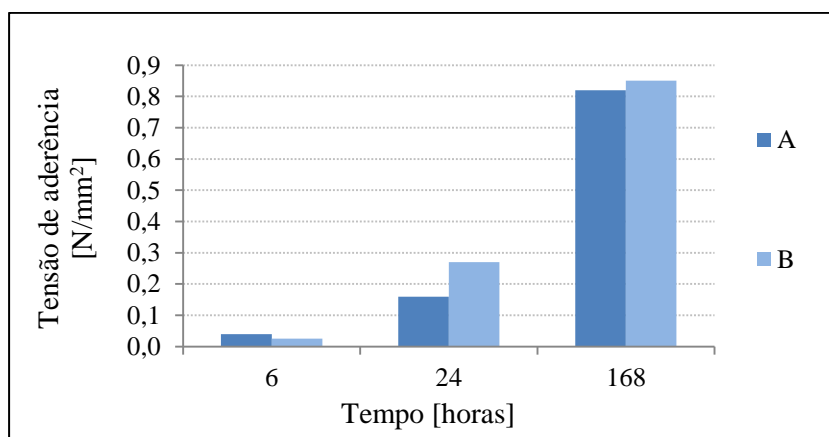


Figura 81: Tensão de aderência às 6, 24 horas e 7 dias, nas posições A e B, para a argamassa CC.3, quando se usa a lâmina com dimensões 400x400mm e o suporte é o betão.

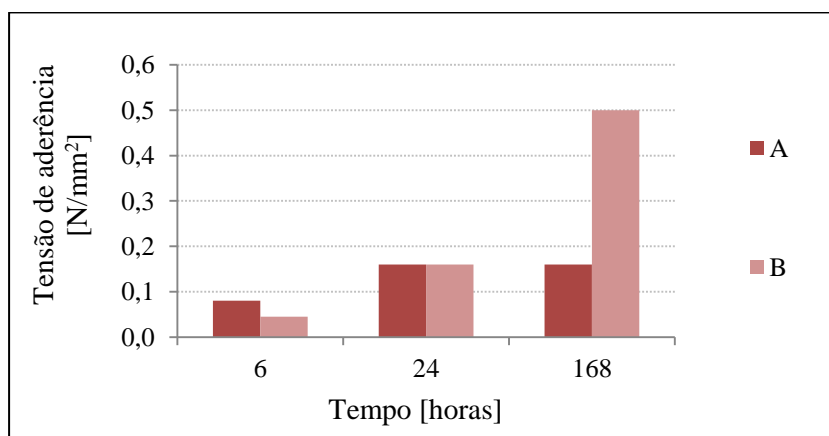


Figura 82: Tensão de aderência às 6, 24 horas e 7 dias, nas posições A e B, para a argamassa CC.3, quando se usa a lâmina com dimensões 400x400mm e o suporte é a lâmina cerâmica.

As perdas de massa (figura 83 e 84) correspondentes a estas aderências, mostraram uma maior perda da quantidade de massa quando o suporte é a lâmina sem rede, evidenciando também uma maior perda na zona central em relação aos cantos. Este facto confirma que, como esperado, a argamassa seca da periferia para o centro.

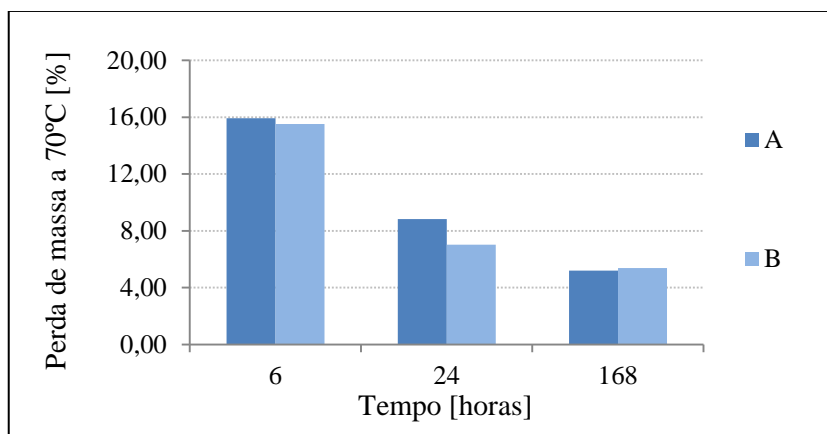


Figura 83: Perda de massa a 70°C, da argamassa CC.3, às 6, 24 horas e 7 dias, nas posições A e B, quando se usa a lâmina com dimensões 400x400mm e o suporte é o betão.

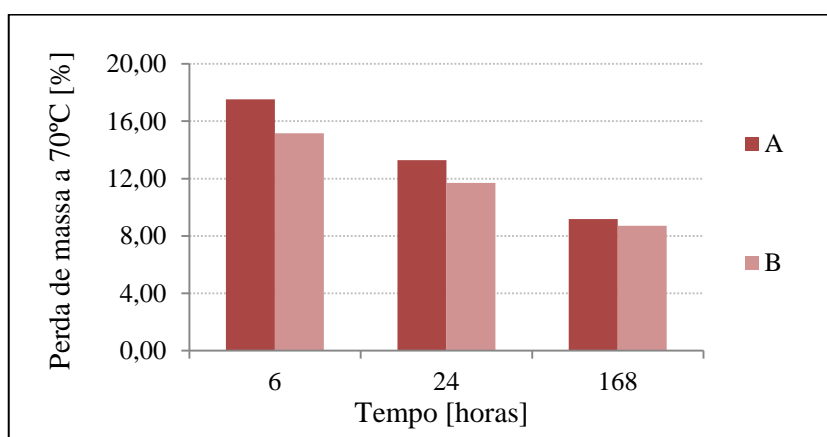


Figura 84: Perda de massa a 70°C, da argamassa CC.3, às 6, 24 horas e 7 dias, nas posições A e B, quando se usa a lâmina com dimensões 400x400mm e o suporte é a lâmina cerâmica.

Estes resultados indicam, portanto, que uma argamassa de presa normal apenas permite obtenção de resultados superiores após 7 dias, independentemente do tipo de suporte utilizado, uma vez que o seu tempo de presa e hidratação continua a ser longo para qualquer dos casos (não obstante, a perda de massa ser mais lenta para o suporte de lâmina).

Quando se realizam os ensaios de tipo inicial e após imersão, com lâminas de dimensão 50x50mm, para as colas CC.3, CC.4 e CC.5, tendo por suporte a placa de betão, obtiveram-se os valores de tensão de aderência expressos no gráfico da figura 85. No gráfico da figura 86

apresentam-se as respectivas perdas de massa, encontrando-se, em anexo, na tabela A13 os resultados detalhados.

A cola CC.5 é a que apresenta melhores valores para os ensaios do tipo inicial. No entanto, no ensaio após imersão nota-se um decréscimo sendo, neste caso, a argamassa CC.3 a que apresenta os melhores resultados.

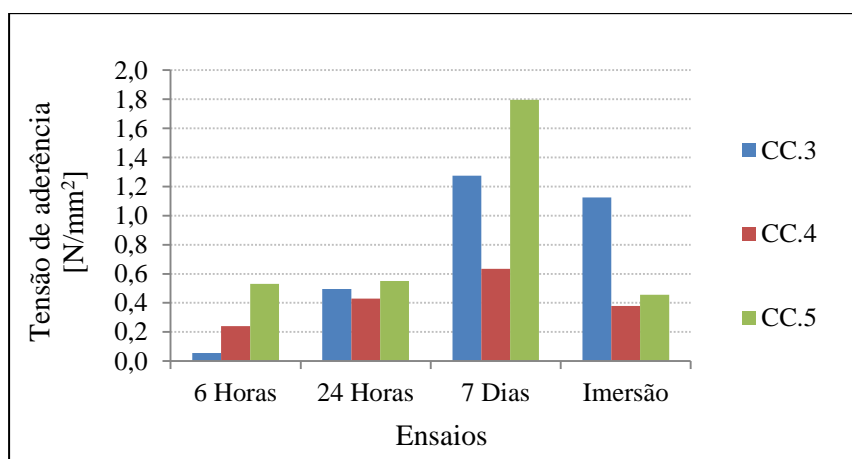


Figura 85: Tensão de aderência das colas CC.3, CC.4 e CC.5, para as várias condições de cura, quando se usa a lâmina cerâmica de dimensões 50x50mm e betão como suporte.

A perda de massa a 70°C evidencia às 6 horas uma perda de massa superior para a argamassa CC.3, sendo às 24 horas e aos 7 dias impercetíveis quaisquer diferenças significativas.

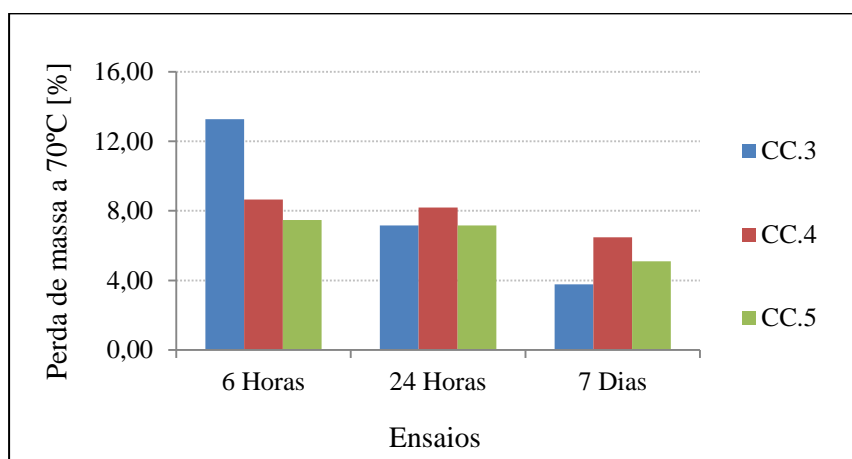


Figura 86: Perda de massa das colas CC.3, CC.4 e CC.5, para as várias condições de cura, quando se usa a lâmina cerâmica de dimensões 50x50mm e betão como suporte.

Considerando que o modo de rotura da argamassa CC.5 nos ensaios anteriores, foi sempre adesivo, talvez devido à presa rápida (01h:00 -01h:30), decidiu-se repetir estes ensaios com o mesmo produto, mas com uma presa mais alongada (03h:35-04h:20).

Os resultados obtidos são apresentados na figura 87.

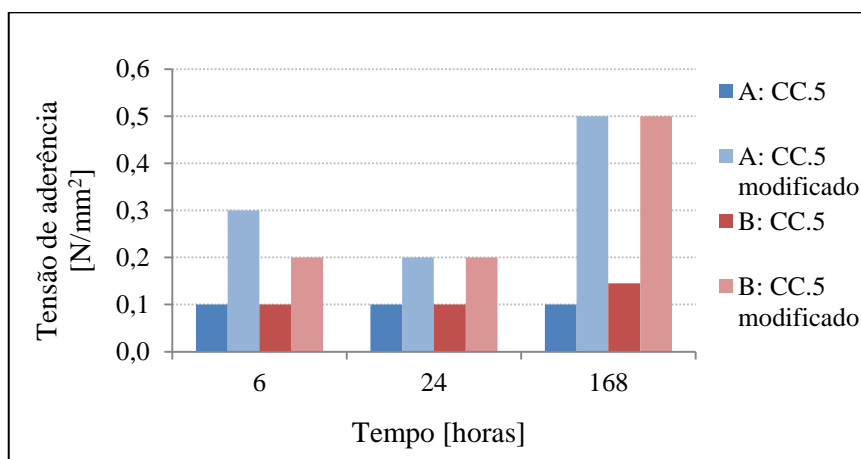


Figura 87: Comparação da argamassa CC.5 com a mesma com um tempo de presa mais alongado.

Às 6 e às 24 horas foram registadas melhorias relativas. Aos 7 dias, são evidentes as melhorias obtidas com a argamassa CC.5, embora o modo de rotura continue a ser adesivo.

4.6. Avaliação do efeito do pente de aplicação

A mudança do tipo de pente de aplicação implica mudanças na quantidade de cola envolvida no processo de colagem de cerâmica. Na figura 88 é possível observar as tensões de aderência aos 7 dias para os vários tipos de colagem (com pente 6x6, pente 8x8 e por colagem dupla) e na figura 90 após imersão em água. Estes ensaios foram realizados apenas para a argamassa-cola CC.3.

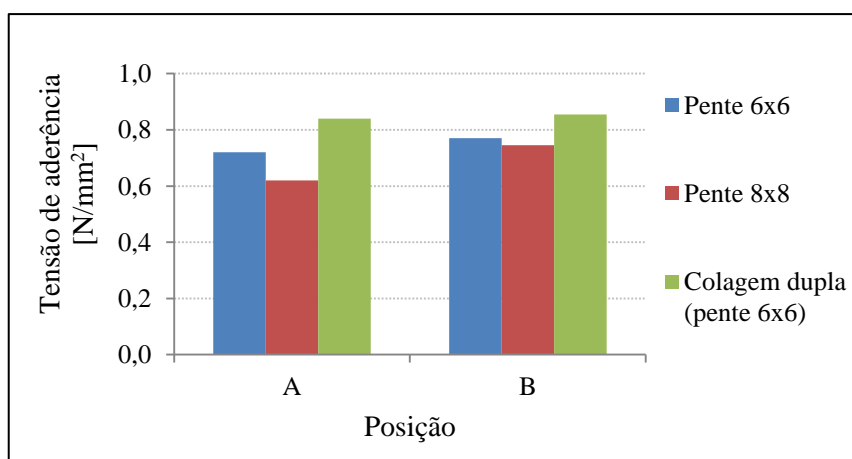


Figura 88: Tensão de aderência aos 7 dias, quando se aplica a lâmina de dimensões 400x400mm com a argamassa-cola CC.3 sobre betão usando diferentes tipos de pente e colagem.

Aos 7 dias não se notam diferenças significativas em termos de valores de tensão de aderência, entre as posições A e B. No entanto, são perceptíveis ligeiros aumentos quando se

usa a colagem dupla. Os modos de rotura, no caso da aplicação com o pente 6x6 e 8x8, foram adesivos entre a cerâmica e a cola (AF-T), notando-se uma melhoria (por alguns vestígios de cola no tardoz) quando se usa colagem dupla (figura 89).

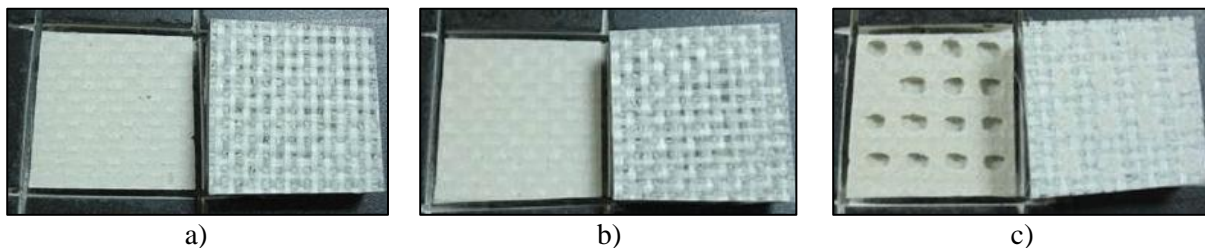


Figura 89: Modos de rotura aos 7 dias: a) Pente 6x6; b) Pente 8x8; c) Colagem dupla.

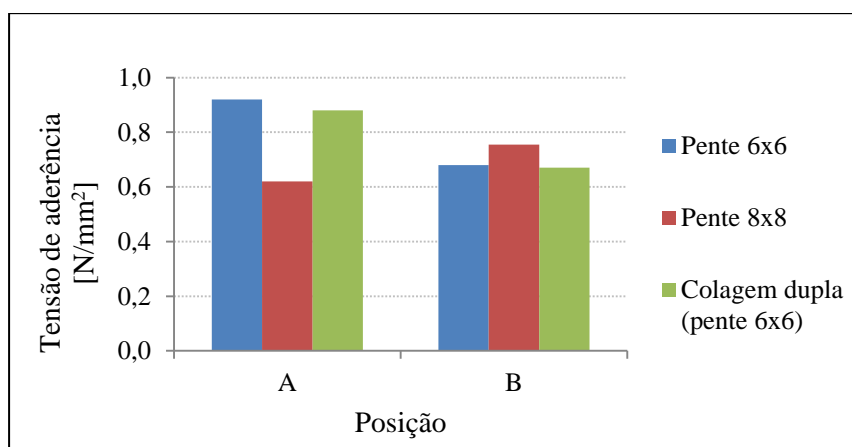


Figura 90: Tensão de aderência após imersão, quando se aplica a lâmina de dimensões 400x400mm com a argamassa-cola CC.3 sobre betão usando diferentes tipos de pente e colagem.

Relativamente aos ensaios após imersão em água, pode observar-se que se obtêm valores de tensão de aderência superiores na posição A, com exceção da aplicação com o pente 8x8. No entanto, ao contrário do esperado, não foi com a colagem dupla que se obtiveram os melhores valores de tensão de aderência. Quanto ao modo de rotura (figura 91), quando se usa a colagem dupla, este passa a ser parcialmente coesivo na cola (CF-A).

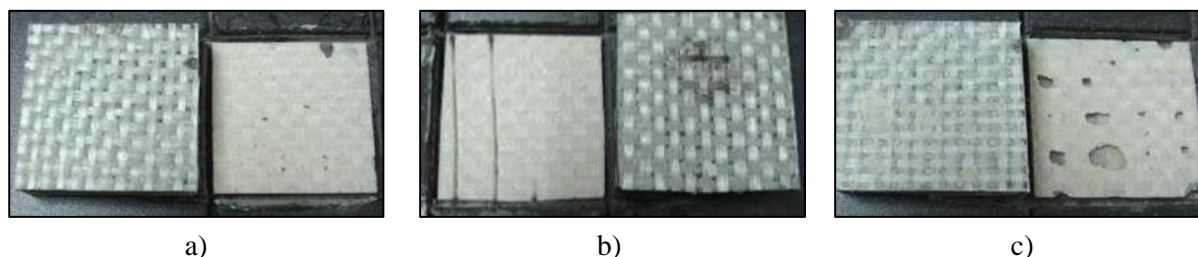


Figura 91: Modos de rotura após imersão em água: a) Pente 6x6; b) Pente 8x8; c) Colagem dupla.

A partir dos resultados indicados nas figuras 92 e 93, novamente relativas a comparação entre colagem simples com dupla (com pente 6x6), verifica-se uma melhoria dos valores da

tensão de aderência e conduz a alterações no modo de rotura (que se apresenta mais do tipo CF-A) quando se procede a colagem dupla. Também se observa pouca diferença de resultados entre as posições A e B.

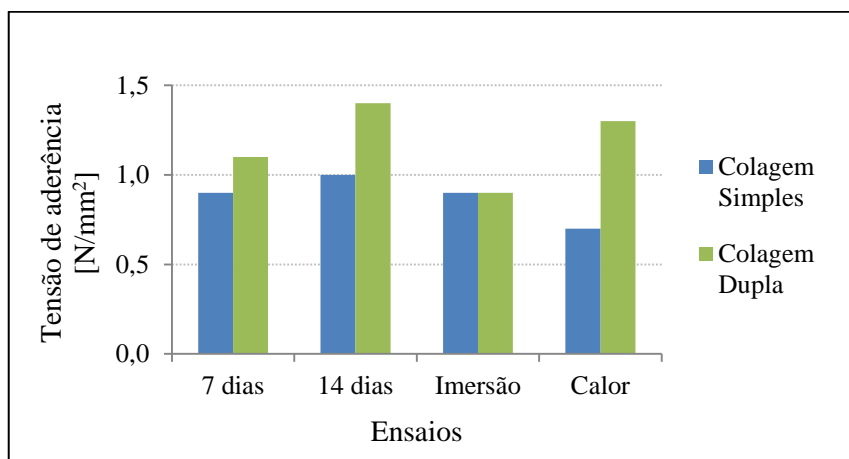


Figura 92: Tensão de aderência na posição central (A), quando se aplica a lâmina de dimensões 400x400mm com a argamassa-cola CC.3 sobre betão para diferentes tipos de colagem.

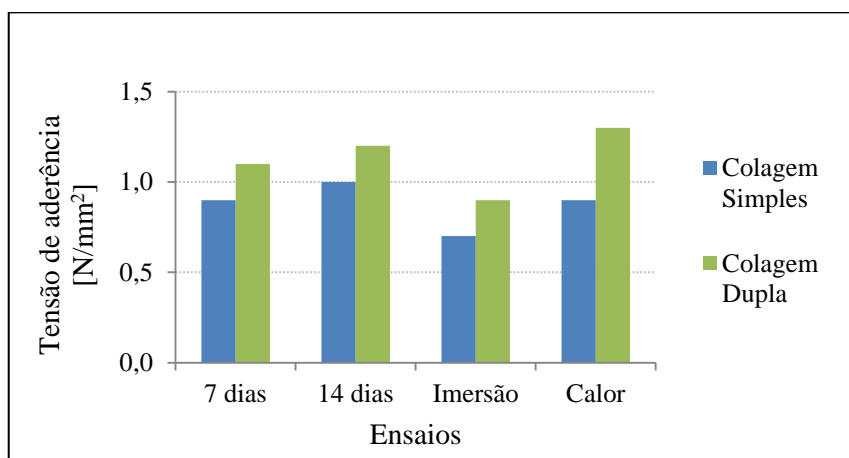


Figura 93: Tensão de aderência na periferia (B), quando se aplica a lâmina de dimensões 400x400mm com a argamassa-cola CC.3 sobre betão para diferentes tipos de colagem.

4.7. Ensaio *in situ*

Para ser possível a investigação em lâminas de dimensões maiores, procedeu-se a aplicações *in situ*, com lâminas de dimensões 1000x1000mm e 400x400mm, conforme descrito na secção 3.7. Realizaram-se, numa primeira fase, ensaios sobre betonilha e, posteriormente, sobre lâmina cerâmica. Os ensaios de resistência à tração foram realizados nas posições C1, C2, d1,1, d1,0 e d2,0, que correspondem, respetivamente, ao centro da cerâmica de maiores dimensões, ao centro da cerâmica de menores dimensões, à periferia da

lâmina 1000x1000mm, a uma posição intermédia entre o centro e a periferia da lâmina 1000x1000mm e à periferia da lâmina 400x400mm (ver figura 44).

Os resultados obtidos estão indicados nos gráficos das figuras 94 e 95.

Os ensaios sobre betonilha mostraram uma evolução ao longo do tempo nos valores das tensões de aderência, não se notando diferenças em termos de posições, em princípio estando apenas relacionadas com a falta de pressão homogênea. O modo de rotura foi parcialmente coesivo para as 6 e 24 horas e, aos 7 dias, totalmente adesivo. De salientar que às 6 horas o material já se apresentou seco, podendo caminhar-se sobre a lâmina sem afetar a sua estabilidade mecânica.

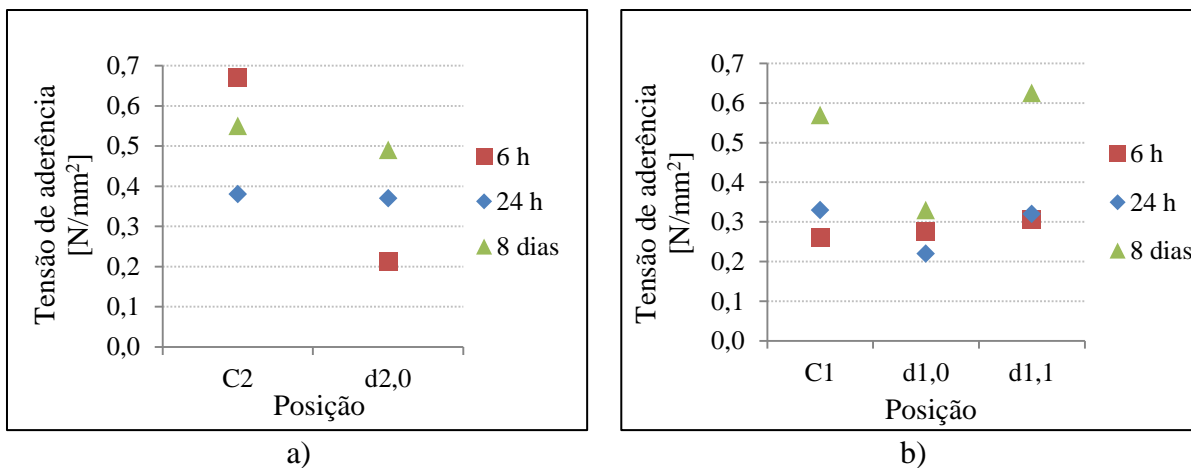


Figura 94: Evolução temporal da tensão de aderência quando o suporte é uma betonilha: a) Lâmina 400x400mm; b) Lâmina 1000x1000mm.

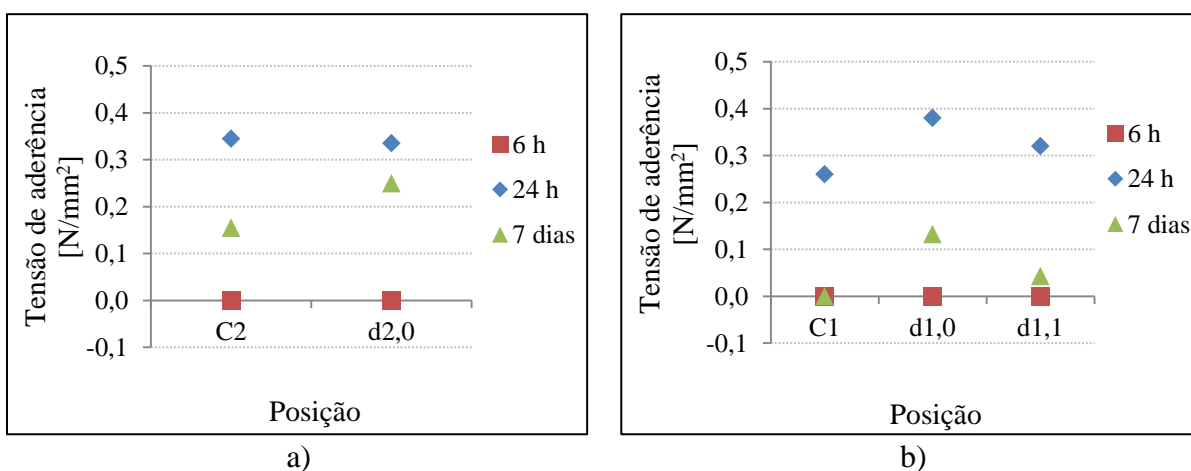


Figura 95: Evolução temporal da tensão de aderência quando o suporte é a lâmina cerâmica: a) Lâmina 400x400mm; b) Lâmina 1000x1000mm.

Usando a lâmina como suporte, notou-se um decréscimo significativo no valor das tensões de aderência. Às 6 horas, estes valores foram todos nulos, pois o material ainda estava em pasta, piorando da periferia para o centro, sendo o tipo de rotura totalmente coesiva.

Às 24 horas, o produto já se encontrava endurecido e a rotura passou a parcialmente coesiva na cola. Aos 7 dias, a rotura passou a adesiva entre a cola e o suporte, mas os valores não se apresentaram superiores.

Os ensaios realizados em laboratório, face aos resultados *in situ*, sobre lâmina, são apresentados nos gráficos da figura 96. Às 6 horas, *in situ* ou em laboratório, o valor da tensão de aderência é nulo. Às 24 horas obtiveram-se valores de tensão de aderência mais elevados *in situ*, e aos 7 dias, para a posição central (C2), obtiveram-se os melhores resultados em laboratório e para a posição periférica (d2,0) *in situ*.

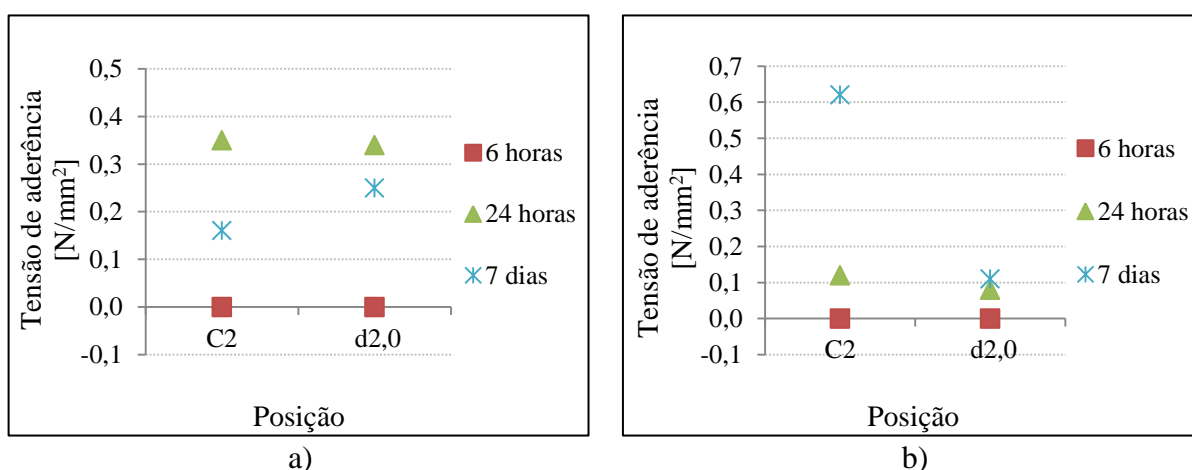


Figura 96: Evolução temporal da tensão de aderência quando o suporte é a lâmina cerâmica: a) *In situ*; b) Laboratório.

Quanto ao modo de rotura, para os ensaios realizados *in situ* e em laboratório, às 6 horas, foi coesivo na cola (CF-A), passando às 24 horas a parcialmente coesivo. Aos 7 dias, *in situ*, o modo de rotura tornou-se totalmente adesivo entre a cerâmica e a cola (AF-T) e entre a cola e o suporte (AF-S). Em laboratório foi adesivo entre a cerâmica e a cola.

Constatou-se ainda que em ambos os ensaios às 6 horas, a argamassa ainda estava fresca, e que às 24 horas já estava endurecida.

4.8. Avaliação do uso de primários na aderência

A avaliação do uso de primários de aderência, na aplicação de lâmina cerâmica, realizou-se com dois tipos primários, PAD.1 e PAD.2. Estes, são primários de base acrílico, modificado com pontos de aderência de origem epóxi ou silicone.

A avaliação do uso de primários consistiu na determinação do valor da tensão de aderência nas seguintes amostras:

- Primário no tardo das lâminas cerâmicas, tendo por suporte betão;
- Primário no tardo das lâminas cerâmicas, tendo por suporte lâmina;
- Primário no tardo das lâminas cerâmicas, tendo por suporte lâmina com primário;
- Lâminas cerâmicas, tendo por suporte lâmina com primário.

Os gráficos das figuras 97 a 100, apresentam os valores de tensão de aderência obtidos para as 4 amostras em estudo, nos ensaios aos 7 e 14 dias, após imersão em água e após envelhecimento por ação do calor. Os valores da tensão de aderência, bem como os modos de rotura obtidos, são apresentados detalhadamente em anexo na tabela A14.

A figura 97 também apresenta valores sem aplicação de primário, para efeitos de comparação.

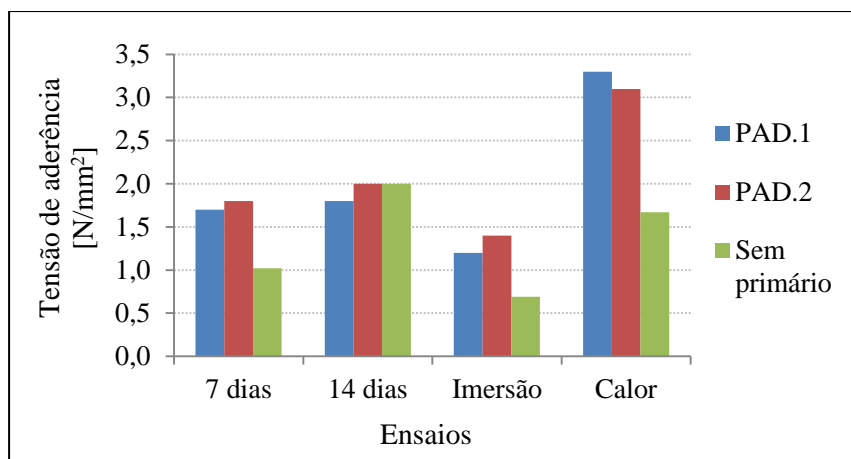


Figura 97: Tensão de aderência quando o suporte é betão e o primário aplicado no tardo das lâminas.

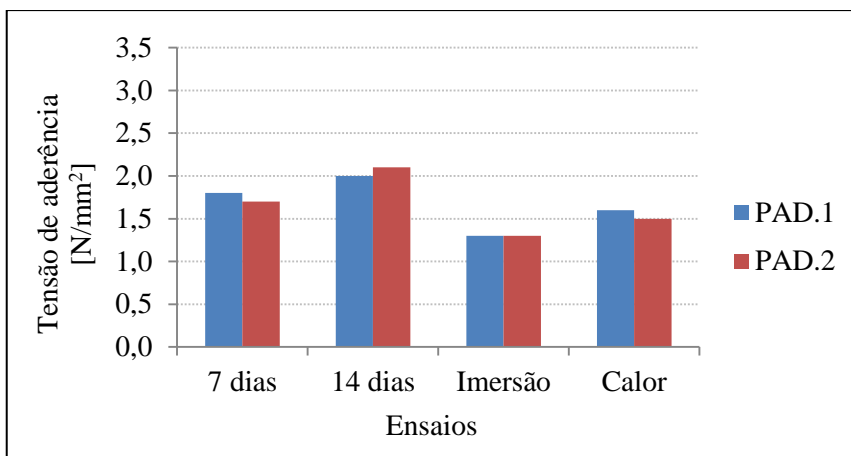


Figura 98: Tensão de aderência quando o suporte é a lâmina cerâmica e o primário aplicado no tardo das lâminas.

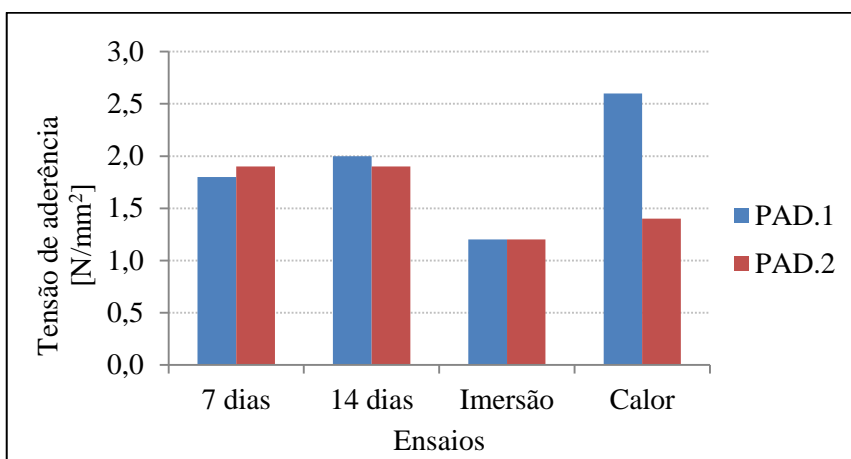


Figura 99: Tensão de aderência quando o suporte é a lâmina cerâmica e o primário aplicado no tardo das lâminas e no suporte.

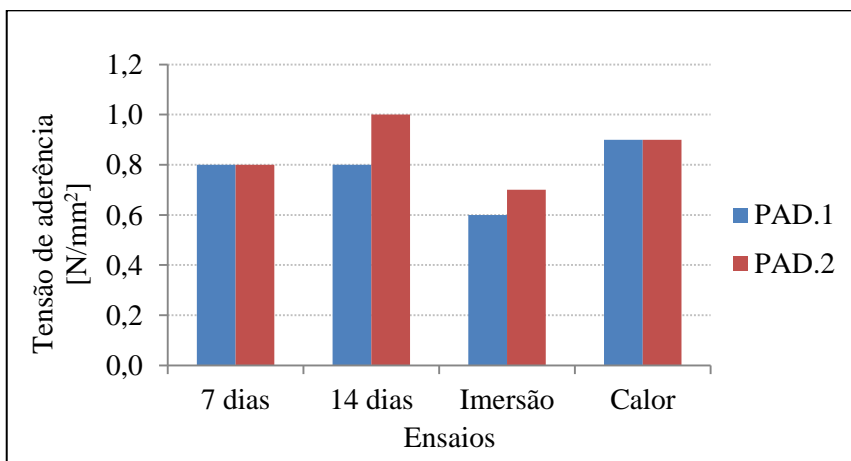


Figura 100: Tensão de aderência quando o suporte é a lâmina cerâmica e o primário aplicado no suporte.

De um modo geral, os resultados obtidos foram satisfatórios, com incremento de valores de aderência. A exceção corresponde à situação onde se utilizou primários apenas no suporte.

Nas amostras em que se usaram os primários apenas no tardez das lâminas e se variou o tipo de suporte, não são notadas diferenças significativas, com exceção do ensaio após envelhecimento por calor, em que se obteve valores bastante mais altos (no caso do suporte de betão).

A aplicação de primários no tardez das lâminas e no suporte, não mostrou ter qualquer vantagem em relação à aplicação de primários apenas no tardez das lâminas, o que sugere, como esperado, que o maior impacto se deve apresentar no tardez da lâmina, dado ser esta superfície a que se apresenta como maior limitação de aderência.

Não se verificam diferenças significativas entre os dois primários.

Em relação ao modo de rotura, nota-se que a aplicação dos primários no tardez da lâmina, melhora significativamente, porque se apresenta maioritariamente coesivo na cola (CF-A). No entanto, o modo de rotura no ensaio à imersão continua a ser sobretudo do tipo adesivo (AF-T).

4.9. Utilização de câmara termográfica para avaliar a frente de secagem da argamassa CC.3

Com o objetivo de perceber a “frente” de secagem da argamassa, decidiu-se realizar um ensaio de aplicação de lâmina sobre o vidro. Consequentemente, recorreu-se à análise com a câmara termográfica nos diversos pontos, não sendo possível notar quaisquer diferenças de temperatura nos mesmos, para quaisquer dos tempos analisados.

O ensaio não apresentou, por isso, a relevância teoricamente prevista pelo que se abdicou da sua continuidade.

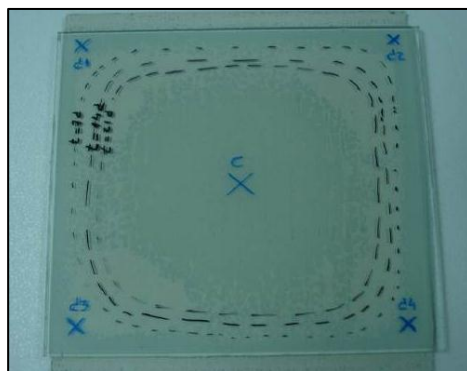


Figura 101: Aspecto visual da lâmina cerâmica aplicada sobre vidro, decorridos 75 dias da sua execução.

Relativamente à inspeção visual, até aos 21 dias foi possível delimitar a área de secagem, aos 28 dias deixou de se conseguir distinguir e após 75 dias de secagem apresenta o aspeto demonstrado na figura 101.

5. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Comprovou-se que a lâmina cerâmica sem reforço é um sistema frágil, pelo que é necessário recorrer ao uso da rede de fibra de vidro no seu tardo. Outro facto que também se comprovou, foi que o uso desta rede no tardo da lâmina prejudica a aderência entre esta e a argamassa-cola, por falta de compatibilidade química entre ambas.

Dos resultados obtidos em laboratório, pode concluir-se que as argamassas que melhor se adequam a este tipo de cerâmica são as resinas de base epoxídica (RE.1 e RE.2). Foi ainda possível concluir que uma argamassa de base cimentícia do tipo C2S2 (CC.3) é também capaz de garantir os requisitos de tensão de aderência. No entanto, no ensaio de imersão em água revelou-se estar no limite, ou seja, o valor foi pouco superior a $0,5\text{N/mm}^2$. Posto isto, conclui-se que a aplicação da lâmina cerâmica com a referida argamassa-cola de base cimentícia é válida, desde que não sujeita a situações severas, como é o caso das aplicações em fachadas.

Os primeiros ensaios realizados em laboratório para avaliar o processo de presa/endurecimento, permitiram concluir que os valores da resistência à tração perpendicular (aderência), dependem fortemente da dimensão da peça cerâmica e que, quanto maior o elemento, maior a dificuldade em garantir o total espalhamento da argamassa.

A avaliação da lâmina, com as colas de presa rápida, permitiu concluir que o tempo de presa interfere na capacidade de ligação da argamassa ao tardo da lâmina cerâmica com rede. Assim, a melhor abordagem para uma boa ligação será uma argamassa com um tempo de presa moderado (não rápido), preferencialmente entre 3 e 5 horas. A argamassa capaz de garantir uma melhor homogeneidade é a CC.5, após modificação do tempo de presa, o que permite concluir que a homogeneidade de espalhamento/aplicação é afetada pelo tempo de presa da argamassa.

Com os ensaios de estudo da influência do tipo de colagem no processo de adesão da lâmina à argamassa, pode-se concluir que a colagem dupla introduz melhorias, quer no valor da tensão de aderência, quer no modo de rotura.

A partir dos ensaios *in situ* pode constatar-se que, quanto maiores as dimensões da lâmina, maior a dificuldade em garantir uma homogeneidade de resultados em toda a área da peça, corroborando algumas observações de laboratório.

Pelo estudo realizado para avaliação da aderência quando se usam os primários de aderência, pode concluir-se que o uso destes melhora os resultados obtidos. No entanto, após imersão, apesar do valor da tensão de aderência ser elevado, quando comparado com o valor obtido na ausência de primários de aderência, o modo de rotura continua a ser adesivo.

Como conclusão final, com o desenvolvimento de todo o trabalho, pode concluir-se que as melhores argamassas para colagem de lâmina cerâmica são as argamassas de resina epóxi, tendo no entanto um custo muito elevado. Com uma argamassa de base cimentícia do tipo C2S2, conseguem-se igualmente valores razoáveis, usando colagem dupla. Os melhores resultados foram obtidos quando se usa a argamassa C2S2 e se aplica primário de aderência no tardo da lâmina. No entanto, em obra não é viável aplicar primário no tardo de todas as lâminas uma hora antes da colagem da cerâmica.

Como proposta de trabalhos futuros, considera-se o desenvolvimento de uma argamassa-cola mono-componente, capaz de atingir os valores de tensão de aderência obtidos quando se usam os primários de aderência. Esta argamassa deve ser ainda capaz de garantir uma total homogeneidade na aplicação. O desenvolvimento desta argamassa, passará pela modificação do tipo de resina e de cimento usados na sua composição. O primeiro para garantir aderência sobre esta superfície difícil e, o segundo, para garantir um endurecimento o mais independente possível da evaporação de água inerente às argamassas.

Também se recomenda uma análise mais detalhada à utilização da técnica de termografia, ou outras, de forma a interpretar com maior precisão os movimentos de água ao longo de toda a superfície de argamassa aplicada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, J.; Henriques, L., “Influência da composição no desempenho de argamassas adesivas”, APFAC: 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, 2007.

Almeida, A.; Sichieri, E., “Propriedades microestruturais de argamassas de cimento Portland com adições minerais e poliméricas utilizadas na fixação de porcelanato”, Cerâmica 52, Brasil, 2006, p. 174-179.

Alvarez, J.; Sequeira, C.; Costa, M., “Ensaios a retirar do passado histórico das argamassas”, APFAC: 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, 2005.

APFAC - Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas de construção, “Argamassas de construção”, <http://www.apfac.pt/>, (consultado em 6/11/11).

APFAC - Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas de construção, “Lista de Normas relacionadas com argamassas”, <http://apfac.pt/docs/Lista%20de%20Normas%20relacionadas%20com%20Argamassas.pdf>, (consultado em 6/11/11).

Botas, S., “Avaliação do comportamento de argamassas em climas frios”, Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, 2009.

Cahiers du CSTB (2669-4) - “Modalités d'essais- A1.2: Taux de cendres”.

Cahiers du CSTB (2669-4) - “Modalités d'essais- Retencion d'eau”.

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”, Tese de Doutoramento, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

Cass, C., “Achieving 100% adhesive coverage: na industry- wide approach”, Qualicer 2004, p.42-48.

Chaves, A. - “Patologia e reabilitação de revestimentos de fachada”, Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 2009.

Collen, I.; Brito, J.; Branco, A., “Avaliação in-situ da aderência de materiais de revestimento”, APFAC: 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, 2007.

Costa, L., “O uso de argamassas tradicionais e pré-doseadas para impermeabilização em revestimentos exteriores”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Trás-os-Montes, 2008.

Coutinho, A., “Fabrico e Propriedades do Betão”, 3ª edição, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1997, ISBN 972-49-0326-5.

Edmeades, R.; Hewlett, P. - 15 - “Lea's Chemistry of Cement and Concrete”, Cement Admixtures, 4th Edition, Oxford, 2003, ISBN 978-0-7506-6256-7, p. 841-905.

EMO - EMODICO. http://www.euromortar.com/emodico/dic_start.php, (consultado em 5/11/11).

EN 1015-3: 1999 - “Methods of test for mortar of masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)”

EN 1015-11:1999 – “Methods of test for mortar of masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar”

EN 1015-19:1998 – “Methods of test for mortar for masonry – Part 19: Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars”

EN 12002:2002 – “Adhesives for tiles – Determination for transverse deformation for cementitious adhesives and grouts”

EN 12003:2008 – “Adhesive for tiles – Determination of shear adhesion strength of reaction resin adhesives”

EN 1324:2007 – “Adhesives for tiles – Determination of shear adhesion strength of dispersion adhesives”

EN 1346:2007 – “Adhesives of tiles – Determination of open time”

EN 1347:2007 – “Adhesives for tiles – Determination of wetting capability”

EN 1348:2007 – “Adhesives for tiles – Determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives”

EN 13497:2002 – “Thermal insulation products for building applications – Determination of the resistance to impact of external thermal insulation composite systems (ETICS)”

EN 196-3:2000 – “Methods of testing cement – Part3: determination of setting times and soundness”

EN 197-1:2011 - “Cemente - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements”

EN ISO 10545-3:1997 – “Ceramic tiles – Part 3: Determination of water absorption, apparent porosity, apparent relative density and bulk density”

Felixberger, K., “Stresses in the composite system: tile-fixing mortar-base”, Qualicer 2006.

Griese, B., “Thin tiles: concerns and expectations”, 2010, p.48-50, <http://www.Tilemagline.com>, (consultado em 11/11).

Lucas, J.; Abreu, M., “Revestimentos cerâmicos colados: Descolamento”, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2005, ISBN 972-49-2029-1.

Marques, S., “Estudo de argamassas de reabilitação de edifícios antigos”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2005.

- Martins, A., “Estudo da Influência da dosagem de cimento no desempenho de argamassas de reboco”, Dissertação de Mestrado, Universidade técnica de Lisboa, 2008.
- Martins, J.; Paiva, P., “Materiais de Construção I: Ligantes”, Apontamentos da disciplina de Materiais de Construção I do curso de Engenharia Civil, Universidade Fernando Pessoa, 2010.
- Marvão, S.; Sequeira, P.; Silva, L., “Lâmina cerâmica. Desafios de uma inovação”, APFAC: 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, 2012.
- NP EN 12004:2008 – “Colas para ladrilhos – Requisitos, avaliação da conformidade, classificação e designação”
- Oliveira, S. [et al.], “Comportamento de argamassas e elementos de alvenaria antiga sujeitos à ação de sais”, APFAC: 2º Congresso Português de Argamassas de Construção, 2007.
- Oliveira, S., “Desenvolvimento de métodos expeditos de caracterização de argamassas de construção de um fabricante do mercado português”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2008.
- Paiva, H. [et al.], “Efeito da natureza do ligante no comportamento em fresco de uma argamassa de reabilitação”, APFAC: 2º Congresso Português de Argamassas de Construção, 2007.
- Paiva, H., “Caracterização reológica de argamassas”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2005.
- Paulo, R., “Caracterização de argamassas industriais”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2006.
- Santos, S., “Argamassas pré-doseadas para rebocos de edifícios recentes”, Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, 2009.
- Seabra, P. [et al.], “Efeito dos adjuvantes no comportamento reológico de argamassas de cal aérea”, APFAC: 2º Congresso Português de Argamassas de Construção, 2007.
- UNE 83-207-85 - “Aditivos para hormigones, morteros e pastas . Determinación de la pérdida por calcination a $1050\pm 25^{\circ}\text{C}$ ”.
- Wetzel, A.; Herwegh, M.; Zurbriggen, R.; Winnefeld, F., “Influence of shrinkage and water transport mechanisms on microstructure and crack formation of tile adhesive mortars”, Cement and Concrete Research, ISSN 0008-8846, Vol. 42, n.º 1, 2012, p. 39-50.
- Wetzel, A.; Zurbriggen, R.; Herwegh, M. - “Spatially resolved evolution of adhesion properties of large porcelain tiles”, Cement and Concrete Composites, ISSN 0958-9465, Vol. 32, n.º 5, 2010, p. 327-338.
- Winnefeld, F. [et al.], “Moisture induced length changes of tile adhesive mortars and their impact on adhesion strength”, Construction and Building Materials, ISSN 0950-0618, Vol. 30, 2012, p. 426-438.

ANEXOS

Tabela A1: Tensão de aderência da argamassa-cola CC.1, após diferentes condições de cura.

CC.1							
Ensaio / Força		dN	dN	dN	dN	dN	Média [N/mm ²]
Inicial	7 dias	300 AF-T	240 AF-T	280 AF-T	260 AF-T	240 AF-T	1,1
	14 dias	320 10%CF-A 90%AF-T	350 10%CF-A 90%AF-T	300 10%CF-A 90%AF-T	300 10%CF-A 90%AF-T	305 10%CF-A 90%AF-T	1,3
	28 dias	470 30%CF-A 70%AF-T	390 30%CF-A 70%AF-T	390 30%CF-A 70%AF-T	430 30%CF-A 70%AF-T	-	1,7
Imersão		260 AF-T	240 AF-T	290 AF-T	260 AF-T	220 AF-T	1,0
Calor		90 AF-T	110 AF-T	150 AF-T	140 AF-T	100 AF-T	0,5
TO (30 min)		290 20%CF-A 80%AF-T	290 20%CF-A 80%AF-T	300 20%CF-A 80%AF-T	420 20%CF-A 80%AF-T	340 20%CF-A 80%AF-T	1,2

Tabela A2: Tensão de aderência da argamassa-cola CC.2, após diferentes condições de cura.

CC.2							
Ensaio / Força		dN	dN	dN	dN	dN	Média [N/mm ²]
Inicial	7 dias	420 10%CF-A 90%AF-T	380 10%CF-A 90%AF-T	410 10%CF-A 90%AF-T	380 10%CF-A 90%AF-T	420 10%CF-A 90%AF-T	1,6
	14 dias	450 30%CF-A 70%AF-T	445 30%CF-A 70%AF-T	465 30%CF-A 70%AF-T	435 30%CF-A 70%AF-T	445 30%CF-A 70%AF-T	1,8
	28 dias	420 50%CF-A 50%AF-T	420 50%CF-A 50%AF-T	520 50%CF-A 50%AF-T	460 50%CF-A 50%AF-T	390 50%CF-A 50%AF-T	1,8
Imersão		260 20%CF-A 80%AF-T	260 20%CF-A 80%AF-T	250 20%CF-A 80%AF-T	260 20%CF-A 80%AF-T	250 20%CF-A 80%AF-T	1,0
Calor		440 CF-A	520 CF-A	520 CF-A	520 CF-A	400 CF-A	2,0
TO (30 min)		300 50%CF-A 50%AF-T	400 50%CF-A 50%AF-T	360 50%CF-A 50%AF-T	450 50%CF-A 50%AF-T	320 50%CF-A 50%AF-T	1,4

Tabela A3: Tensão de aderência da argamassa-cola CC.3, após diferentes condições de cura.

CC.3							
Ensaio / Força		dN	dN	dN	dN	dN	Média [N/mm ²]
Inicial	7 dias	730 BT	680 BT	840 CF-S	660 BT	580 BT	2,8
	14 dias	820 CF-S	720 CF-S	710 CF-S	730 CF-S	830 CF-S	3,1
	28 dias	340 BT	700 CF-S	700 CF-S	430 BT	740 CF-S	2,9
Imersão		320 AF-T	420 AF-T	460 AF-T	420 AF-T	440 AF-T	1,7
Calor		700 CF-S	550 BT	800 CF-S	700 CF-S	800 CF-S	2,8
TO (30 min)		300 AF-T	440 AF-T	320 AF-T	320 AF-T	290 AF-T	1,2

Tabela A4: Tensão de aderência da argamassa-cola RE.1, após diferentes condições de cura.

RE.1							
Ensaio / Força		dN	dN	dN	dN	dN	Média [N/mm ²]
Inicial	7 dias	720 AF-T	820 BT	-	-	-	3,1
	14 dias	910 AF-T	850 AF-T	-	-	-	3,5
	28 dias	980 AF-T	810 AF-T	880 AF-T	-	-	3,6
Imersão		480 AF-T	300 AF-T	260 AF-T	280 AF-T	200 AF-T	1,2
Calor		480 CF-S	670 CF-S	390 CF-S	-	-	2,1

Tabela A5: Tensão de aderência da argamassa-cola RE.2, após diferentes condições de cura.

RE.2							
Dias / força		dN	dN	dN	dN	dN	Média [N/mm ²]
Inicial	7 dias	720 BT	940 CF-S	760 CF-S	740 BT	850 BT	3,2
	14 dias	810 BT	780 CF-S	840 BT	770 CF-S	690 CF-S	3,1
	28 dias	720 BT	910 CF-S	820 CF-S	890 CF-S	780 BT	3,3
Imersão		910 CF-S	820 CF-S	820 CF-S	680 CF-S	810 CF-S	3,2
Calor		>1000 -	>1000 -	>1000 -	>1000 -	880 BT	3,9
TO (30 min)		720 CF-T	580 CF-T	700 CF-T	520 CF-T	815 CF-T	2,7

Tabela A6: Tensão de aderência da argamassa-cola CC.2, obtida para os cerâmicos do tipo V1, LCSR e LCCRI, após diferentes condições de cura.

Aderências	CC.2								
	LCSR			Cerâmico tipo V1			LCCRI		
	dN	Tipo de rotura	N/mm ²	dN	Tipo de rotura	N/mm ²	dN	Tipo de rotura	N/mm ²
7 dias	310	CF-A	1,4	380	CF-A	1,6	260	AF-T	1,0
	380	CF-A		410	CF-A		240	AF-T	
14 dias	480	CF-A	2,0	380	CF-A	1,8	290	CF-A	1,1
	500	CF-A		520	CF-A		280	CF-A	
28 dias	510	CF-A	2,0	400	CF-A	1,8	290	AF-T	1,2
	480	CF-A		540	CF-A		320	AF-T	
	490	CF-A		420	CF-A		280	AF-T	
Imersão	260	30%CF-A 70%AF-T	1,1	270	30%CF-A 70%AF-T	1,2	130	AF-T	0,6
	300	30%CF-A 70%AF-T		320	30%CF-A 70%AF-T		160	AF-T	
	290	30%CF-A 70%AF-T		300	30%CF-A 70%AF-T		160	AF-T	
	300	30%CF-A 70%AF-T		320	30%CF-A 70%AF-T		160	AF-T	
	260	30%CF-A 70%AF-T		330	30%CF-A 70%AF-T		120	AF-T	
Calor	380	AF-S	1,9	450	AF-S	1,9	300	AF-T	1,1
	540	AF-S		480	AF-S		270	AF-T	
	500	AF-S		480	AF-S		250	AF-T	

Tabela A7: Tensão de aderência da argamassa-cola CC.3, obtida para os cerâmicos do tipo V1, LCSR e LCCRI, após diferentes condições de cura.

Aderências	CC.3								
	LCSR			Cerâmico tipo V1			LCCRI		
	dN	Tipo de rotura	N/mm ²	dN	Tipo de rotura	N/mm ²	dN	Tipo de rotura	N/mm ²
7 dias	400	AF-T	1,5	420	AF-T	1,8	250	AF-T	1,0
	360	AF-T		460	AF-T		260	AF-T	
14 dias	500	BT	2,3	710	CF-S	2,8	500	CF-A	2,0
	660	CF-S		690	CF-S		500	CF-A	
28 dias	620	AF-T	2,4	720	AF-T	3,0	260	AF-T	1,4
	610	AF-T		800	AF-T		390	AF-T	
	560	AF-T		700	BT		400	AF-T	
Imersão	420	AF-T	1,6	540	AF-T	2,1	150	AF-T	0,7
	420	AF-T		540	AF-T		150	AF-T	
	400	AF-T		530	AF-T		200	AF-T	
	360	AF-T		490	AF-T		200	AF-T	
	380	AF-T		500	AF-T		160	AF-T	
Calor	700	BT	3,0	660	BT	2,7	440	AF-T	1,7
	740	CF-S		580	BT		380	AF-T	
	820	BT		780	BT		430	AF-T	

Tabela A8: Tensão de aderência da resina epoxídica RE.1, obtida para os cerâmicos do tipo V1, LCSR e LCCRI, após diferentes condições de cura.

Aderências	RE.1								
	LCSR			Cerâmico tipo V1			LCCRI		
	dN	Tipo de rotura	N/mm ²	dN	Tipo de rotura	N/mm ²	dN	Tipo de rotura	N/mm ²
7 dias	600	CF-S	2,4	720	AF-T	3,1	880	CF-S	3,7
	620	BT		820	BT		980	CF-S	
14 dias	740	CF-S	3,1	910	AF-T	3,5	1000	BT	4,1
	810	BT		850	AF-T		1060	BT	
28 dias	1020	CF-T	4,0	980	AF-T	3,7	1060	CF-S	4,2
	960	CF-S		810	AF-T		1020	CF-S	
	1020	CF-S		880	AF-T		1070	CF-S	
Imersão	580	CF-S	2,5	480	AF-T	1,2	770	CF-S	2,8
	860	CF-S		300	AF-T		800	CF-S	
	590	CF-S		260	AF-T		440	CF-S	
	560	CF-S		280	AF-T		760	CF-S	
	560	CF-S		200	AF-T		780	CF-S	
Calor	810	BT	2,9	480	CF-S	2,1	920	CF-S	4,0
	440	BT		670	CF-S		1060	CF-S	
	920	CF-S		390	CF-S		1000	CF-S	

Tabela A9: Tensão de aderência da resina epoxídica RE.2, obtida para os cerâmicos do tipo V1 e LCCRI, após diferentes condições de cura.

Aderências	RE.2					
	Cerâmico do tipo V1			LCCRI		
	dN	Tipo de rotura	N/mm ²	dN	Tipo de rotura	N/mm ²
7 dias	720	BT	3,2	770	CF-S	2,8
	940	CF-S		580	CF-S	
	760	CF-S		720	CF-S	
	740	BT		660	CF-S	
	850	BT		720	CF-S	
14 dias	810	BT	3,1	820	CF-S	3,4
	780	CF-S		880	CF-S	
	840	BT		970	CF-S	
	770	CF-S		680	CF-S	
	690	CF-S		870	CF-S	
28 dias	720	BT	3,3	1020	CF-S	3,8
	910	CF-S		920	CF-S	
	820	CF-S		880	CF-S	
	890	CF-S		900	CF-S	
	780	BT		1060	CF-S	
Imersão	910	CF-S	3,2	730	CF-S	2,9
	820	CF-S		780	CF-S	
	820	CF-S		760	CF-S	
	680	CF-S		580	CF-S	
	810	CF-S		750	CF-S	
Calor	>1000	-	3,9	>1000	-	> 4,0
	>1000	-		>1000	-	
	>1000	-		>1000	-	
	>1000	-		>1000	-	
	880	BT		>1000	-	

Tabela A10: Tensão de aderência obtida com as lâminas com superfícies preparadas com a cola RE.1.

Aderências	RE.1					
	LCSR+ rede reforçada			LCSR + rede reforçada + granulado G		
	dN	Tipo de rotura	N/mm ²	dN	Tipo de rotura	N/mm ²
7 dias	440	AF-T	1,6	180	AF-T	0,7
	360			160		
14 dias	560	10% CF-A 90% AF-T	2,4	140	AF-T	0,5
	640			110		
Imersão	110	AF-T	0,4	60	AF-T	0,2
	120			50		
	100			50		
Calor	300	AF-T	1,3	70	AF-T	0,4
	300			115		
	340			75		

Tabela A11: Tensão de aderência obtida com as lâminas com superfícies preparadas com a cola PAD.1.

Aderências	PAD.1								
	LCSR+ rede reforçada			LCSR + rede reforçada + granulado F			LCSR + rede reforçada + granulado G		
	dN	Tipo de rotura	N/mm ²	dN	Tipo de rotura	N/mm ²	dN	Tipo de rotura	N/mm ²
7 dias	460	CF-A	1,8	300	Rotura coesiva do PAD	1,2	120	AF-T	0,5
	420			300			120		
14 dias	450	AF-T	1,9	300	Rotura coesiva do PAD	1,3	110	AF-T	0,5
	480			370			160		
Imersão	200	Rotura coesiva do PAD	0,9	140	Rotura coesiva do PAD	0,6	40	AF-T	0,2
	180			170			50		
	280			150			50		
Calor	870	CF-A	2,9	480	Rotura coesiva do PAD	2,1	100	AF-T	0,4
	550	BT		600			115		
	780	CF-A		480			100		

Tabela A12: Tensão de aderência obtidas para lâmina cerâmica com rede no tardo com dimensões faciais de 400x400mm, sendo o suporte lâmina cerâmica sem rede.

PRODUTO / TEMPO		ADERÊNCIAS					
			A	B1	B2	B3	B4
CC.3	6 h	N/mm ²	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
		Tipo rotura	80% CF-A 20% AF-T	10% CF-A 90% AF-T	20% CF-A 80% AF-T	20% CF-A 80% AF-T	20% CF-A 80% AF-T
	24 h	N/mm ²	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
		Tipo rotura	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T
	7 d	N/mm ²	0,2	0,4	0,6	0,3	0,7
		Tipo rotura	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T	AF-S
CC.4	6 h	N/mm ²	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1
		Tipo rotura	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T
	24 h	N/mm ²	0,2	0,1	0,1	0,4	0,1
		Tipo rotura	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T
	7 d	N/mm ²	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2
		Tipo rotura	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T
CC.5	6 h	N/mm ²	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
		Tipo rotura	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T
	24 h	N/mm ²	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
		Tipo rotura	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T
	7 d	N/mm ²	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
		Tipo rotura	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T

Tabela A13: Tensão de aderência obtida para lâmina cerâmica com rede no tardo com dimensões faciais de 50x50mm, sendo o suporte a placa de betão.

PRODUTO / TEMPO		ADERÊNCIAS				
			1	2	3	4
CC:3	6 h	N/mm ²	0,0	0,1	0,1	0,1
		Tipo rotura	30%CF-A 70%AF-T	30%CF-A 70%AF-T	30%CF-A 70%AF-T	30%CF-A 70%AF-T
	24 h	N/mm ²	0,6	0,5	0,5	0,5
		Tipo rotura	10%CF-A 90%AF-T	10%CF-A 90%AF-T	10%CF-A 90%AF-T	10%CF-A 90%AF-T
	7 d	N/mm ²	1,3	1,1	1,4	1,2
		Tipo rotura	10%CF-A 90%AF-T	10%CF-A 90%AF-T	10%CF-A 90%AF-T	10%CF-A 90%AF-T
	Imersão	N/mm ²	1,0	1,0	1,2	1,2
		Tipo rotura	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T
CC:4	6 h	N/mm ²	0,2	0,3	0,3	0,2
		Tipo rotura	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T
	24 h	N/mm ²	0,4	0,4	0,5	0,4
		Tipo rotura	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T
	7 d	N/mm ²	0,5	0,7	0,7	0,6
		Tipo rotura	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T
	Imersão	N/mm ²	0,4	0,4	0,3	0,4
		Tipo rotura	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T
CC:5	6 h	N/mm ²	0,5	0,7	0,4	0,5
		Tipo rotura	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T
	24 h	N/mm ²	0,6	0,6	0,6	0,5
		Tipo rotura	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T
	7 d	N/mm ²	1,8	1,7	1,8	1,8
		Tipo rotura	10%CF-A 90%AF-T	10%CF-A 90%AF-T	10%CF-A 90%AF-T	10%CF-A 90%AF-T
	Imersão	N/mm ²	0,5	0,4	0,4	0,5
		Tipo rotura	AF-T	AF-T	AF-T	AF-T

Tabela A14: Tensão de aderência [N/mm^2], obtida a quando da aplicação de primários de aderência.

SEM APLICAÇÃO DE PRIMÁRIO						
		7 dias	14 dias	Imersão	Calor	
SUPORTE	BETÃO	1,0 AF-T	2,0 CF-A	0,7 AF-T	1,7 AF-T	
PAD.1						
		7 dias	14 dias	Imersão	Calor	
SUPORTE	BETÃO	primário aplicado no tardoz das peças 50x50	1,7 CF-A +AF-T	1,8 CF-A +AF-T	1,2 AF-T	3,3 CF-A
	LÂMINA	primário aplicado no tardoz das peças 50x50	1,8 CF-A +AF-T	2,0 CF-A +AF-T	1,3 AF-S	1,6 CF-A +AF-S
		primário aplicado no tardoz das peças 50x50 + no suporte	1,8 CF-A +AF-T	2,0 CF-A +AF-T	1,2 CF-S	2,6 CF-A
		primário aplicado no suporte	0,8 AF-T	0,8 AF-T	0,6 AF-T	0,9 AF-T
PAD.2						
		7 dias	14 dias	Imersão	Calor	
SUPORTE	BETÃO	primário aplicado no tardoz das peças 50x50	1,8 CF-A +AF-T	2,0 CF-A +AF-T	1,4 AF-T	3,1 CF-A +AF-T
	LÂMINA	primário aplicado no tardoz das peças 50x50	1,7 AF-S	2,1 CF-A +AF-T	1,3 AF-S	1,5 CF-A +AF-S
		primário aplicado no tardoz das peças 50x50 + no suporte	1,9 CF-A	1,9 CF-A +AF-T	1,2 CF-A +AF-T	1,4 CF-A +AF-T
		primário aplicado no suporte	0,8 AF-T	1,0 AF-T	0,7 AF-T	0,9 AF-T