



João Manuel Almeida Nabais

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

Avaliação da aderência ao suporte de rebocos de terra

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil- Perfil de Construção

Orientador: Maria Paulina Faria Rodrigues, Professora
Associada, Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade Nova de Lisboa

Presidente: Prof. Doutor Corneliu Cismasiu

Arguente: Prof. Doutora Inês dos Santos Flores Barbosa Colen

Vogal: Prof. Doutora Maria Paulina Santos Forte Faria Rodrigues



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Maio de 2015

Avaliação da aderência ao suporte de rebocos de terra

‘Copyright’ João Manuel Almeida Nabais, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Aos meus pais,

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a todos os que contribuíram directa ou indirectamente para a realização desta dissertação:

À Professora Doutora Paulina Faria, orientadora da presente dissertação, pela total disponibilidade, apoio prestado e conhecimentos que me transmitiu, não só durante o decorrer da dissertação mas também ao longo do meu percurso académico. O rigor, o empenho e a dedicação foram exemplares.

Ao engenheiro Vítor Silva, pelo constante apoio ao longo de toda a campanha experimental, pelas opiniões e acima de tudo pela constante partilha de sabedoria, que sem dúvida enriqueceram o conteúdo desta dissertação.

Ao arquitecto José Lima, pelo material disponibilizado e por todo o apoio na fase inicial dos trabalhos, bem como a disponibilidade no esclarecimento de dúvidas.

Aos meus colegas e amigos Diogo Resende, Tiago Madeira, Cátia Abreu, Gonçalo Lino, Márcio Alves, João Valério, Lara Neves, Tiago Maurício, Pedro Antunes, João Valadares, Carla Gil, Catarina Guerra e Flávio Rodrigues, pelos bons momentos e amizade.

À Inês, por ser quem é, pelo apoio, paciência e motivação essenciais para a conclusão do meu percurso académico.

Aos meus amigos Rui Lopes, João Filipe, Joana Costa, Luís Figueiredo, Mário Lourenço, Sílvia Cristóvão e Susana Ferreira, por toda a amizade partilhada ao longo destes anos todos que nos conhecemos.

Ao meu irmão António e à minha cunhada Ana, por todo o apoio, amor e amizade demonstrados ao longo da minha vida.

Por último e em especial, aos meus pais Catarina e Manuel, pelo amor, dedicação, princípios e valores debaixo dos quais me educaram, a vocês dedico esta dissertação, pois não mais do que eu, é fruto do vosso empenho.

RESUMO

A crescente preocupação ambiental a nível mundial, aliada à necessidade de elevar o conforto e qualidade dos espaços interiores, tem levado ao reaparecimento, em muitos países desenvolvidos, de materiais que caíram em desuso ao longo do tempo, como é o caso dos rebocos de terra. Por constituírem produtos com baixa energia incorporada, comparativamente a outros tipos de rebocos, e a estudos recentes terem realçado as suas qualidades nomeadamente também no que diz respeito ao controlo da qualidade do ar interior, estas argamassas têm suscitado um crescente aumento de interesse por parte da indústria e comunidade científica, sendo prova disso a norma DIN Alemã publicada em 2013 específica para rebocos de argamassas de terra não estabilizadas quimicamente.

No entanto, no que diz respeito à aderência, característica fundamental para o correcto desempenho da função de argamassa de reboco, a informação científica é bastante escassa, tornando difícil a sua comparação e afirmação face a argamassas correntes.

Pretende-se com esta dissertação dar um contributo para a avaliação da aderência de rebocos de argamassas de terra. Avalia-se a aderência de uma argamassa formulada em laboratório através de ensaios à tracção e ao corte em diferentes materiais de suporte (bloco de adobe e tijolo furado corrente), com diferentes preparações do suporte (sem e com aplicação prévia de uma calda de argila) e das amostras a ensaiar (corte a fresco, corte após endurecimento, moldagem com as dimensões para ensaio), e ainda em dois ambientes distintos de humidade relativa (65% e 95%). Os resultados são comparados entre si, avaliando-se a influência dos distintos parâmetros, e com outras argamassas.

Conclui-se que as argamassas de reboco de terra apresentam uma boa prestação no que à aderência diz respeito em ambos os suportes estudados, verificando-se neste aspecto vantajosa a preparação do suporte com calda de argila. A execução das amostras tem influência nos valores obtidos nos ensaios. A humidade relativa apresenta um efeito negativo mas não compromete a estabilidade do reboco. O ensaio de corte revelou-se um instrumento válido, necessitando no entanto divulgação na comunidade científica por forma a ser melhorado.

Termos chave: terra argilosa, argamassa, reboco, aderência, procedimento de ensaio

ABSTRACT

The growing worldwide environmental concern, coupled with the need to raise the quality and comfort of the interior spaces, has led to the reappearance in many developed countries, of materials that had fallen into disuse over time, as in the case of earth plasters. For being products with low embodied energy compared to other types of plasters, and because recent studies have highlighted its qualities in particular regarding to the control of indoor air quality, these mortars have attracted an increasing interest on the part of the industry and scientific community, as evidenced by the DIN German published in 2013 specific to earth mortars renders not chemically stabilized.

However, with regard to adhesion, which is an essential feature for the correct performance of the function of plaster mortar, the scientific data is very sparse, making it difficult for earthen plasters to compare and withstand against current mortars.

The aim of this thesis is to contribute to the assessment of the adhesion proprieties of earthen plasters. An evaluation of the adhesion capacity of a mortar formulated in laboratory is done by tensile and shear tests, on different substrates (adobe block and perforated fired clay brick) applying different preparations of the substrate (with and without prior application of a clay slurry) and executing different cuts of the test samples (cut while fresh, cut after hardening, molding with aimed test dimensions) and also in two different relative humidity environments (65% and 95%). The results are compared with each other, evaluating the influence of the different parameters, and compared with other mortars.

Results showed that earth plaster have a good performance in regard to adhesion on both substrates studied, verifying advantageous in this matter the preparation of the support with clay slurry. The cutting procedure of the samples influences the values obtained in the tests. The relative humidity has a negative effect but does not compromise the stability of the plaster. The shear test proved to be a valid instrument, requiring however dissemination in the scientific community in order to be improved.

Keywords: clayish earth, mortar, plaster, adherence, test procedure

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objectivo e metodologia.....	2
1.3. Organização do texto.....	2
2. ADERÊNCIA DE REBOCOS DE TERRA	5
2.1. Introdução à terra como material de construção	5
2.2. Argamassas de reboco de terra.....	7
2.3. Aderência ao suporte em rebocos de terra	10
2.4. Ensaio de avaliação da aderência de um reboco	12
2.4.1. Ensaio de aderência por tracção <i>Pull-Off</i>	12
2.4.2. Ensaio de aderência por corte.....	15
3. CAMPANHA EXPERIMENTAL.....	19
3.1. Planificação da campanha experimental.....	19
3.2. Execução de moldes e aparelho de ensaio ao corte	21
3.2.1. Moldes em PVC para ensaio <i>Pull-Off</i>	21
3.2.2. Moldes em madeira para ensaio de corte	21
3.2.3. Dispositivo para o ensaio ao corte.....	22
3.3. Caracterização dos suportes e constituintes da argamassa.....	22
3.3.1. Absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten.....	22
3.3.2. Análise granulométrica.....	23
3.3.3. Baridade	24
3.4. Produção de argamassa e execução de provetes.....	25
3.4.1. Amassadura.....	26
3.4.2. Provetes prismáticos.....	26
3.4.3. Provetes sobre tijolo cerâmico e bloco de adobe e amostras para ensaio	27
3.4.4. Condições de endurecimento	30
4. CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA.....	33
4.1. Espalhamento	33
4.2. Massa volúmica no estado fresco.....	33
4.3. Massa volúmica aparente.....	34
4.4. Módulo de Elasticidade Dinâmico.....	34
4.5. Resistência à tracção por flexão.....	35
4.6. Resistência á compressão	37
4.7. Aderência por <i>Pull-Off</i>	38

4.8.	Aderência por Corte	40
5.	DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	43
5.1.	Aderência ao suporte – Pull-Off.....	43
5.1.1.	Ensaio de referência	43
5.1.2.	Influência do tipo de material de suporte	43
5.1.3.	Influência do tratamento do suporte.....	44
5.1.4.	Influência do procedimento de execução dos provetes	46
5.1.5.	Influência da HR de ensaio.....	47
5.1.6.	Avaliação do tipo de roturas verificadas no ensaio.....	50
5.2.	Aderência ao suporte - Corte.....	51
5.2.1.	Ensaio de referência	52
5.2.2.	Influência do tipo de material de suporte	53
5.2.3.	Influência do tratamento do suporte.....	53
5.2.4.	Influência do procedimento de execução dos provetes	54
5.2.5.	Influência da HR de ensaio.....	55
5.3.	Análise global dos resultados	57
6.	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	61
6.1.	Conclusões finais.....	61
6.2.	Desenvolvimentos futuros	62
	Bibliografia.....	63
	Anexo - resultados individuais dos ensaios de aderência	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Construções em terra em Portugal: à esquerda edifício em taipa, à direita edifício alvenaria de adobe.....	5
Figura 2.2 - Esquema dos mecanismos mecânicos de aderência dos revestimentos ao suporte (Thomasson, 1982 citado por Quintela, 2006)	10
Figura 2.3 - Esquema do ensaio de arrancamento por tracção <i>Pull-Off</i>	13
Figura 2.4 – Mecanismos de rotura do ensaio <i>Pull-Off</i> , com base na EN 1015-12 (CEN, 2000)	14
Figura 2.5 – Dispositivo de ensaio ao corte (Stolz & Masuero, 2012).....	16
Figura 2.6 – Dispositivo de ensaio ao corte (Hamard et al., 2013)	16
Figura 3.1 – Diagrama de variáveis estudadas na campanha experimental	19
Figura 3.2 – Aferição das dimensões interior e em altura dos moldes de PVC para ensaio <i>Pull-Off</i> ...	21
Figura 3.3 – Molde em cofragem de contraplacado marítimo com 20 mm de espessura.....	21
Figura 3.4 – Dispositivo para o ensaio de corte baseado no proposto por Hamard et al. (2013).....	22
Figura 3.5 - Curva granulométrica a seco da terra argilosa (após desterroamento), e da areia siliciosa.	24
Figura 3.6 – Ensaio de baridade das fibras de aveia	25
Figura 3.7 - Sequência dos procedimentos de amassadura.....	26
Figura 3.8 – Moldes e provetes prismáticos de dimensões 40x40x160 [mm]	27
Figura 3.9 – À esquerda: aplicação da barbotina; ao centro: molde de espessura do reboco; à direita: caixa de lançamento da argamassa.	28
Figura 3.10 – Execução de amostras por corte endurecido com broca manual.....	29
Figura 3.11 – Execução de amostras por corte a fresco com cilindro manual	29
Figura 3.12 – Execução de amostras moldadas na dimensão definitiva.....	30
Figura 3.13 – À esquerda: sala condicionada $T=20\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $\text{HR}=65\pm 5\%$; à direita: sala de cura húmida $\text{HR}=90\pm 5\%$	31
Figura 4.1 – Prato de espalhamento e molde troncocónico.....	33
Figura 4.2 - Equipamento “ZEUS Resonance Meter” (ZMR 001) com provete em ensaio de módulo de elasticidade dinâmico.....	35
Figura 4.3 - Máquina universal Zwick/Rowell Z050 com dispositivo de flexão por três pontos e provete após rotura	36
Figura 4.4 - Máquina universal Zwick/Rowell Z050 com dispositivo de compressão de dimensões 40x40 [mm] e provete em ensaio.....	37
Figura 4.5 - Equipamento de <i>Pull-Off</i> PosiTest AT-M	39
Figura 4.6 – Ensaio de resistência ao corte com dispositivo sugerido por Hamard et al. (2013)	41
Figura 5.1 - Valores médios da aderência ao suporte do ensaio <i>Pull-Off</i> em condições de $\text{HR}=65\%$.	44
Figura 5.2 - Valores médios da aderência ao suporte do ensaio <i>Pull-Off</i> em condições de $\text{HR}=95\%$.	44
Figura 5.3 - Valores médios e desvio-padrão da aderência ao suporte do ensaio <i>Pull-Off</i> para provetes executados por corte endurecido	48

Figura 5.4 - Valores médios e desvio-padrão da aderência ao suporte do ensaio Pull-Off para provetes executados por corte a fresco	48
Figura 5.5 - Valores médios e desvio-padrão da aderência ao suporte do ensaio Pull-Off para provetes moldados	49
Figura 5.6 - Mecanismos de rotura do ensaio de corte	52
Figura 5.7 – Mecanismos de rotura observados nos ensaios de corte	52
Figura 5.8 - Valores médios da aderência ao suporte do ensaio de corte em condições de HR=65%	53
Figura 5.9 - Valores médios e desvio-padrão da aderência ao suporte por corte para provetes executados por corte endurecido.....	56

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1- Valores de aderência (ensaio Pull-Off) (traduzido de Delinière et al., 2014)	12
Quadro 2.2 - Classes de resistência de aderência, com base na DIN 18947 (DIN, 2013)	15
Quadro 3.1 – Quadro síntese de ensaios realizados e normas seguidas	20
Quadro 3.2 – Resultados do ensaio absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten	23
Quadro 3.3 – Resultados obtidos no ensaio de baridades dos constituintes da argamassa	25
Quadro 3.4 - Tipos e denominação dos tipos de produção das amostras para ensaio	28
Quadro 4.1 – Resultados do ensaio de massa volúmica aparente	34
Quadro 4.2 – Resultados do ensaio de resistência à tracção por flexão	37
Quadro 4.3 – Resultados do ensaio de resistência à compressão	38
Quadro 4.4 – Resultados do ensaio Pull-Off.....	39
Quadro 4.5 – Resultados do ensaio de resistência ao corte	41
Quadro 5.1- Variação de resultados do ensaio Pull-Off em função do tratamento do suporte em suporte de tijolo cerâmico.....	45
Quadro 5.2 – Variação de resultados do ensaio Pull-Off em função do tratamento do suporte em suporte de bloco de adobe	45
Quadro 5.3 - Variação de resultados do ensaio Pull-Off em função do procedimento de execução dos provetes em suporte de tijolo cerâmico	47
Quadro 5.4 - Variação de resultados do ensaio Pull-Off em função do procedimento de execução dos provetes em suporte de tijolo cerâmico	47
Quadro 5.5 - Variação de resultados do ensaio Pull-Off em função da humidade relativa dos provetes em suporte de tijolo cerâmico.....	49
Quadro 5.6 - Variação de resultados do ensaio Pull-Off em função da humidade relativa dos provetes em suporte de bloco de adobe	50
Quadro 5.7 – Ocorrência dos tipos de rotura definidos na norma EN 1015-12 (CEN, 2000) em condições de HR=65%.....	50
Quadro 5.8 - Ocorrência dos tipos de rotura definidos na norma EN 1015-12 (CEN, 2000) em condições de HR=95%.....	51
Quadro 5.9 - Variação de resultados do ensaio de corte em função do tratamento do suporte em suporte de tijolo cerâmico.....	54
Quadro 5.10 - Variação de resultados do ensaio de corte em função do tratamento do suporte em suporte de bloco de adobe	54
Quadro 5.11 - Variação de resultados do ensaio de corte em função do procedimento de execução dos provetes em suporte de tijolo cerâmico	55
Quadro 5.12 - Variação de resultados do ensaio de corte em função do procedimento de execução dos provetes em suporte de bloco de adobe.....	55
Quadro 5.13 - Variação de resultados do ensaio de aderência por corte em função da HR.	56

Quadro 5.14 – Classes de resistência mecânica definidas pela norma DIN 18947 (DIN, 2013) e valores obtidos57

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A utilização da terra como material de construção é conhecida em praticamente todas as civilizações e em diversos tipos de construções uma vez que se trata de um material abundante e disponível em todo o mundo.

Nos tempos modernos a sua utilização como material de construção sofreu um decréscimo significativo, devido ao aparecimento de novos (e supostamente melhores) materiais, que substituíram a sua função, frutos de avanços na engenharia dos materiais de construção e dos seus processos industriais. No entanto, apesar de a sua utilização ter diminuído, esta nunca deixou de existir em vários países do mundo. Recentemente, nos países ocidentais, com o aumento das preocupações ao nível da ecologia e sustentabilidade e dos eventuais malefícios para a saúde dos ocupantes dos edifícios por parte de alguns materiais de construção, a utilização da terra como material de construção voltou a despertar a atenção da indústria da construção. Exemplo disso são os rebocos interiores de terra, sendo-lhe reconhecidas características de eco-eficiência, uma vez que a terra que os constitui é um material que não necessita de muita energia de preparação para ser utilizado, ou seja, com baixa energia incorporada. Diversos estudos recentes revelam os seus benefícios no controlo da qualidade do ambiente interior, não comprometendo a saúde dos ocupantes, classificando-os como materiais de elevada qualidade.

A utilização da terra em argamassas para reboco está também associada a intervenções no âmbito da reabilitação de edifícios, uma vez que na maior parte dos casos de reabilitação a escolha dos materiais a utilizar deve ser feita com base nos materiais e tecnologias construtivas originais do edifício, sendo imprescindível a compatibilidades dos materiais utilizados com os existentes. Existindo um grande património edificado com paredes de terra, os rebocos de terra deveriam constituir um produto recorrente neste tipo de intervenções.

Os rebocos de terra podem ser formulados com ou sem recurso a estabilizantes químicos, caso dos ligantes correntes, sendo a adição de fibras naturais em pequenas quantidades muito frequente. Supostamente essa estabilização tem em vista contribuir para melhorar o seu comportamento face à retracção de secagem, bem como aumentar a sua resistência à tracção, mantendo grande parte das suas características de eco-eficiência.

Em muitos países estas argamassas já são comercializadas em pó pré-doseado, para além de poderem ser também formulados em obra. No ano de 2013 entrou em vigor a norma alemã DIN 18947 (DIN, 2013) (DIN - Deutsches Institut für Normung) que estabelece os termos, definições, requisitos e métodos de ensaio de argamassas de terra sem estabilização química por outro ligante para rebocos, na qual, entre várias características analisadas, consta a aderência ao suporte, realizada com base na norma EN (European Norm) 1015-12 (CEN, 2000) (CEN – Comité Européen de Normalisation), a qual por sua vez foi elaborada especificamente para rebocos correntes à base de cimento.

Ainda assim, a investigação e informação científica disponível sobre este tipo de materiais é reduzida quando comparada com materiais mais correntes. Torna-se assim importante a investigação das características e propriedades deste tipo de rebocos para que se consigam afirmar no mercado.

Sendo a aderência ao suporte uma característica fundamental à adequabilidade de uma argamassa à função de reboco, considera-se importante a sua avaliação bem como perceber quais os factores que a influenciam e qual o melhor procedimento de ensaio para a sua avaliação.

1.2. Objectivo e metodologia

No contexto apresentado na secção anterior, esta dissertação de mestrado tem como objectivo contribuir para uma melhor compreensão dos factores que influenciam a aderência de uma argamassa de terra a um suporte, e dessa forma poder contribuir para o estabelecimento dos métodos de ensaio mais adequados para a avaliação desta característica mecânica para este tipo de produtos da construção.

A campanha experimental pretende, através de ensaios laboratoriais, caracterizar a aderência em função dos seguintes aspectos:

- tipo de suporte onde o reboco é aplicado;
- método de preparação do suporte;
- procedimento de ensaio – diferentes métodos de execução de provetes;
- tipo de ensaio de aderência – *Pull-Off* e ensaio de corte;
- humidade relativa de realização do ensaio.

Na sua realização foi utilizada uma argamassa de terra sem estabilizantes químicos formulada em laboratório, com um traço volumétrico 1:3 (terra argilosa : areia) com a adição de 5% do somatório do volume da terra e da areia em fibra de aveia .

A argamassa foi também submetida a outros ensaios mecânicos de forma a classificá-la mecanicamente de acordo com a recente norma alemã DIN 18947 (DIN, 2013).

1.3. Organização do texto

O texto da presente dissertação de mestrado foi dividido em seis capítulos. O presente e primeiro capítulo – **Introdução** – faz o enquadramento do tema, apresentando o contexto e os motivos que suportam a investigação, bem como os seus objectivos e metodologia descrevendo também a organização do texto.

O segundo capítulo – **Aderência de rebocos de terra** – baseia-se na pesquisa bibliográfica realizada. É feita uma introdução à terra como material de construção, abordando-se posteriormente as argamassas de reboco de terra, a sua constituição e características e por fim os seus mecanismos de aderência ao suporte e os ensaios que a avaliam.

O terceiro capítulo – **Campanha experimental** – apresenta a planificação da campanha experimental onde se definem as variáveis analisadas, os ensaios e normas neles seguidas e os

trabalhos de preparação à execução de provetes. São apresentados os ensaios de caracterização dos materiais e matérias-primas utilizados, descrevendo por último os trabalhos de execução dos provetes de ensaio.

O quarto capítulo – **Caracterização da argamassa** – descreve os ensaios de caracterização da argamassa no estado fresco e no estado endurecido, apresentando e discutindo os resultados obtidos nos ensaios (excepto os de aderência dos quais apenas são apresentados os resultados).

O quinto capítulo – **Discussão de resultados** – discute os resultados obtidos nos ensaios realizados, começando por discutir apenas os resultados dos dois ensaios de aderência sendo por último feita uma análise global dos resultados.

O sexto capítulo – **Conclusões e desenvolvimentos futuros** – apresenta as conclusões resultantes da discussão dos resultados da investigação e são também sugeridos trabalhos futuros no âmbito do presente trabalho.

2. ADERÊNCIA DE REBOCOS DE TERRA

2.1. Introdução à terra como material de construção

A utilização da terra como material de construção remonta às mais antigas civilizações em todo o mundo. Sendo um material abundante e de fácil acesso, a sua utilização na construção conhece várias formas, desempenhando desde funções estruturais a funções estéticas. Nos dias que correm, este tipo de construção está associada aos países em desenvolvimento, onde os materiais industriais e técnicas de construção modernas se revelam insuficientes para garantir as necessidades de toda a população. Na verdade cerca de um terço da população mundial vive em edifícios de terra, chegando a metade nestes países (Minke, 2006).

No entanto, a sua utilização não está apenas associada à sua abundância, uma vez que lhe são reconhecidas diversas características vantajosas, tais como o contributo para um bom desempenho a nível térmico e acústico, a não-toxicidade e incomburência, o facto de ser uma matéria-prima que não necessita de processos de transformação industriais para ser utilizada, bem como a sua capacidade de reutilização (quando não estabilizada com ligantes químicos).

Em Portugal uma grande percentagem do património edificado é constituído por paredes de terra, tendo conhecido vários processos construtivos na sua utilização. A taipa foi o processo construtivo mais utilizado para a construção de paredes até aos anos 50 do século XX, essencialmente no sul do país tendo sido a alvenaria de adobe também muito utilizada (Figura 2.1). Este tipo de construção recorre às matérias-primas locais, sendo os métodos construtivos utilizados adaptados à realidade de cada região. O conhecimento acerca das características físicas do material era empírico, transmitido de mestres para aprendizes e de pais para filhos ao longo de gerações (Faria et al., 2010).



Figura 2.1 – Construções em terra em Portugal: à esquerda edifício em taipa, à direita edifício alvenaria de adobe.

Com o aparecimento da indústria do cimento e, por conseguinte, o surgimento de novos materiais de construção - tais como o betão armado, as paredes de alvenaria e as argamassas

cimentícias, a construção em terra foi considerada obsoleta e incapaz de cumprir as necessidades e exigências do sector, levando ao seu abandono, passando o sector da construção a ser alimentado por uma indústria de materiais transformados, com mais energia incorporada.

A indústria da construção é uma das maiores e mais activas a nível mundial. Tendo em conta o aumento da população mundial, que no último século quadruplicou para 6,4 biliões (Krausmann, et al., 2009) e se espera que atinja os 9,6 biliões em 2050 (UN, 2013 citado por Melià et al., 2013), a nível mundial esta indústria continuará a crescer a um ritmo acelerado: por exemplo a China necessitará de 40 biliões de metros quadrados de espaço edificado entre residências e espaços comerciais nos próximos 20 anos. Ambientalmente falando esta indústria é responsável por 30% das emissões de dióxido de carbono e apresenta um consumo de matérias-primas maior do que qualquer outra indústria (aproximadamente 3000 Mt/ano, quase 50% em peso), revelando claramente que se trata de uma indústria insustentável (Pacheco-Torgal & Jalali, 2011).

Recentemente e pelo acima referido, o sector da construção passou a ser alvo de atenções a nível ambiental, nomeadamente no que diz respeito à produção e consumo de materiais de construção sintéticos, que requerem um elevado consumo energético tanto na fase de produção industrial bem como no que ao transporte diz respeito. Para além disso representam um consumo significativo de matérias-primas não renováveis. Outro factor ambiental relevante nesta indústria é a produção de resíduos, existindo recentemente um esforço para a sua reutilização, incorporando-os na produção de novos materiais.

Foi neste contexto que a terra reconquistou recentemente a atenção do sector, uma vez que pode ser utilizada no estado cru, não necessitando de processos de calcinação, é classificada como um material com baixa energia incorporada (Faria et al., 2014), dispensando unidades de produção industriais, reduzindo os custos de produção bem como os de transporte, uma vez que por vezes é possível a utilização da terra proveniente da própria escavação da obra.

No que diz respeito aos rebocos de terra, segundo Melià et al. (2013) estes superam a nível ambiental os rebocos industriais convencionais, sendo a principal vantagem o reduzido consumo energético na sua produção.

Tal como referido anteriormente, a terra revela ainda um forte potencial como material de construção associado à reabilitação de edifícios antigos, uma vez neste campo se revela essencial a compatibilidade dos materiais aplicados com os materiais utilizados na época de construção, característica que os materiais mais recentes não possuem. Este potencial reside na quantidade de edifícios com paredes de terra que ainda existem nos dias de hoje, e na recente preocupação com a conservação do património cultural, em que o conhecimento vernacular presente na construção em terra se insere.

Desta forma é necessário aprofundar o conhecimento sobre os materiais de construção à base de terra para que estes possam dar o seu contributo nos temas acima expostos.

2.2. Argamassas de reboco de terra

Define-se como argamassa a mistura homogénea de agregados, ligantes e água, com ou sem adições e/ou adjuvantes. As argamassas podem ser organizadas segundo diferentes classificações: natureza do ligante, número de ligantes, consistência, função e tipo de preparação (Teixeira, 2014).

Relativamente à natureza do ligante, as argamassas podem ser aéreas, hidráulicas ou mistas. A diferença entre uma argamassa aérea e hidráulica reside no facto do ligante da primeira ser um ligante aéreo, que sofre um processo de carbonatação em contacto com o CO₂, enquanto na segunda o ligante sofre um processo de hidratação quando em contacto com a água. Assim uma argamassa aérea requer o contacto com o ar durante o processo de cura, não ocorrendo esta se a argamassa se encontrar submersa em água, ao contrário de uma argamassa hidráulica que ganha presa mesmo em contacto com a água. Uma argamassa mista ou bastarda consiste geralmente na mistura de ligantes das duas naturezas, ocorrendo em simultâneo ambos os processos de carbonatação e hidratação. No entanto, uma argamassa de terra, não estabilizada com ligante e em que a argila é o único aglutinante, apenas endurece por secagem da água de amassadura.

O número de ligantes presentes numa argamassa classifica-as como simples ou mistas (bastardas), sendo que as simples apenas possuem um ligante e as mistas possuem dois ou mais ligantes.

A consistência da argamassa no estado fresco define-a como seca, plástica ou fluida, sendo classificadas de acordo com o seu índice de fluidez, onde para valores até 250 mm se considera seca, de 260 mm a 300 mm plástica e superior a 300 mm fluida (Silva, 2008 citado por Teixeira, 2014). No entanto a consistência é normalmente definida em função do ensaio da mesa de espalhamento definido pela EN 1015-3 (CEN, 1999a) e do ensaio de penetração definido pela EN 1015-3 (CEN, 1999a).

O local onde é realizada a preparação da mistura seca define o tipo de preparação, considerando-se uma argamassa como tradicional quando esta é preparada em obra e industrial ou pré-doseada quando esta é realizada em fábrica. Uma argamassa pré-doseada apenas requer a adição de água e amassadura em obra.

As funções a desempenhar por uma argamassa podem ser variadas, enumerando-se entre outras: argamassas de assentamento de alvenarias ou cantarias, argamassas de colagem de ladrilhos, argamassas de reboco, argamassas para fechamento ou tratamento de juntas, argamassas de betonilhas de regularização.

Esta dissertação de mestrado insere-se nas argamassas de reboco interior de alvenarias, particularmente argamassas de terra, definindo-se como argamassa de reboco interior a que tem como função o revestimento (final ou não) de paredes. Esta camada é aplicada com o objectivo de proteger a parede, bem como conferir-lhe qualidades estéticas tais como verticalidade e planeza.

No caso particular das argamassas de reboco de terra, a sua definição consiste na mistura de terra argilosa com areia e água, em que a terra deverá apresentar granulometria fina pelo que é previamente desterroada e/ou moída. A argila cumpre a função de ligante ou aglutinante na mistura, sendo necessário que a terra utilizada tenha um teor suficiente em argila de forma a conferir boa

trabalhabilidade à argamassa no estado fresco e suficiente dureza no estado seco, sendo assim essencial a correcta escolha da terra a utilizar. Tal como referido antes, neste tipo de argamassas o endurecimento acontece através do processo de secagem, através do qual a argila adquire a sua capacidade de ligante. No entanto, se a terra for muito argilosa, adiciona-se areia para a realização da argamassa.

A escolha da areia a utilizar numa argamassa revela-se também um factor importante para o seu comportamento. A areia de uma argamassa cumpre um papel importante na sua trabalhabilidade e é essencial para a resistência mecânica da mistura, uma vez que esta vai cumprir o papel de esqueleto granular. A geometria do agregado é um aspecto a ter em conta, uma vez que geometrias angulares conferem uma estrutura mais estável face a geometrias arredondadas. A dimensão do agregado tem também influência na sua estabilidade, sendo que argamassas com maior quantidade de agregado fino têm maior predisposição a fissurar. Para a boa formulação de uma argamassa de terra, a quantidade de areia não pode ser demasiado elevada uma vez que uma relação entre agente ligante e areia muito baixa compromete a sua resistência mecânica. O teor de argila de uma terra pode ser corrigido através da adição de argila em pó, enriquecendo a capacidade ligante da terra.

Uma vez que o agregado escolhido tem uma influência importante na massa volúmica da argamassa, é comum a adição de agregados minerais leves, estando prevista na norma DIN 18947 (DIN, 2013) a possibilidade da sua utilização, uma vez que estes permitem diminuir a massa volúmica da mistura. Como exemplos destes agregados temos a argila expandida, a pedra-pomes.

Com o objectivo de melhorar o comportamento das argamassas de terra é frequente recorrer-se a estabilizantes, os quais podem ser de três tipos: químicos, físicos e mecânicos. Esta necessidade deve-se em muito ao facto do agente responsável pela ligação dos vários componentes da argamassa ser a argila, que devido às suas propriedades físicas e químicas sofre significativas mudanças na presença de água (plastificando na sua presença e endurecendo na sua ausência), apresentando assim um endurecimento reversível que pode comprometer a resistência e estabilidade da argamassa. Assim é frequente a adição de ligantes minerais tais como cais e cimentos, que através de processos químicos supostamente melhoram a resistência da argamassa, bem como o seu comportamento face à água e à humidade. No entanto esta influência não está ainda cientificamente provada e pode variar com os tipos de materiais em presença e a sua proporção. Uma vez utilizados estabilizantes químicos, o seu endurecimento não é reversível, podendo comprometer a possibilidade de reutilização do material no futuro.

Um método de estabilização física de argamassas de terra frequentemente utilizado consiste na adição de fibras vegetais e por vezes animais. Os objectivos destas adições são a obtenção de um melhor comportamento mecânico, melhor coesão, menor porosidade e redução das variações de volume, controlo da retracção e fendilhação e melhorar a resistência à abrasão e permeabilidade à água líquida (Santos, 2014). A adição de fibras vegetais, tais como a palha, é muito frequente neste tipo de argamassas, permitindo evitar a fissuração durante o processo de secagem nas argamassas de reboco de paredes, uma vez que as fibras conseguem distribuir uniformemente as tensões geradas pela secagem e endurecimento da argamassa (Santos et al., 2014). A estabilização das argamassas através de fibras vegetais, como palha ou feno picado com 5 a 10 centímetros de

comprimento, melhoram as suas propriedades mecânicas em especial a resistência à tracção (Torraca, 2009). Com este tipo de adições verifica-se uma redução da massa volúmica da argamassa, uma vez que as fibras vegetais são em geral materiais com baixa baridade, contribuindo para a melhoria do comportamento térmico e acústico (Santos et al., 2014), aumentando ligeiramente a quantidade de água necessária para obter uma boa trabalhabilidade.

No entanto e apesar de todas as suas vantagens, a adição de fibras vegetais requer especial atenção, uma vez que, sendo matéria orgânica, expõe a argamassa ao risco de contaminação biológica, especialmente se a presença de água ou humidade na argamassa se verificar por períodos prolongados. Este risco agrava-se nos casos da percentagem de adição ser elevada, motivo pelo qual actualmente as formulações de argamassas de terra tendem a conter baixas percentagem de fibras vegetais. Este risco vê-se reduzido nas argamassas estabilizadas também quimicamente, sendo que ainda assim a argila revela uma boa capacidade de manter a palha seca (Santos et al., 2014).

Estudos recentes revelam que a utilização deste tipo de rebocos em espaços interiores tem um impacto positivo na qualidade do ar, revelando uma boa capacidade na regulação da humidade relativa interior. Este facto deve-se à boa capacidade de absorção e desabsorção de vapor de água dos rebocos de terra, que dentro de determinados intervalos de humidade relativa apresentam uma boa capacidade de reter e libertar humidade do ar, desempenhando assim uma função reguladora (Faria et al., 2014). Estas características revelam-se importantes no campo da saúde do ocupante, uma vez que o controlo da humidade limita o desenvolvimento de microorganismos, podendo contribuir para o bem-estar de ocupantes que sofram de problemas respiratórios (Lima, 2013). Segundo Faria & Santos (2014) estas características não são muito alteradas pela granulometria da areia utilizada na argamassa nem pela adição de fibras.

Outra característica dos rebocos de terra é a sua compatibilidade com alvenarias de terra. Este tipo de alvenarias apresentam valores de módulo de elasticidade que variam entre 0,5 e 3 GPa, que se compatibilizam com os valores das argamassas de terra, que variam entre 1 e 5 GPa (Röhen & Ziegert, 2011), destacando-se no entanto de materiais como o betão armado com valores a oscilar entre 15 e 50 GPa.

Estas argamassas apresentam ainda uma componente estética interessante, destacando a sua cor e textura, podendo dispensar a aplicação de tinta. São ainda de fácil reparação, uma vez que a capacidade ligante da argila é reversível na presença de água.

Na presente dissertação vai avaliar-se a aderência de uma argamassa de terra com adição de fibras de aveia não estabilizada quimicamente.

2.3. Aderência ao suporte em rebocos de terra

A aderência ao suporte de uma argamassa é uma característica fundamental à sua adequabilidade à função de reboco, uma vez que é a adesividade que permite a sua correcta fixação ao suporte, pressuposto necessário ao cumprimento de todas as restantes funções e requisitos exigidos a um reboco (segurança, estética, etc.). Define-se aderência como a capacidade de um reboco resistir a tensões normais ou tangenciais na sua interface com o suporte, dependendo fundamentalmente de dois fenómenos mecânicos: penetração da calda (água com finas partículas de ligante) da argamassa nos poros do suporte e ligações de superfície que consistem na ancoragem da argamassa às rugosidades do substrato, influenciadas pela extensão de aderência, também este um fenómeno que a influencia. A extensão de aderência é a razão entre a área de contacto efectivo e a área total possível de ser unida, ou seja, o grau de contacto entre a argamassa e a base (Antunes et al., 2012).

O fenómeno da penetração da calda nos poros do suporte da argamassa (Figura 2.2) permite, após a sua secagem, criar um enlace entre as duas camadas (Quintela, 2006). Assim pode-se considerar a porosidade do suporte como uma propriedade fundamental para a ocorrência deste fenómeno, porosidade esta que, apesar de essencial, não deverá ser demasiado elevada de forma a evitar uma absorção de água da argamassa demasiado elevada e que pode potenciar fenómenos de retracção e conseqüente diminuição da aderência. A rugosidade do substrato influencia este processo na medida em que uma maior rugosidade aumenta a superfície de contacto com a argamassa e, conseqüentemente, uma maior área para a penetração da calda.

As ligações de superfície são directamente influenciadas pela rugosidade do suporte, uma vez que é esta que permite o travamento mecânico da argamassa.

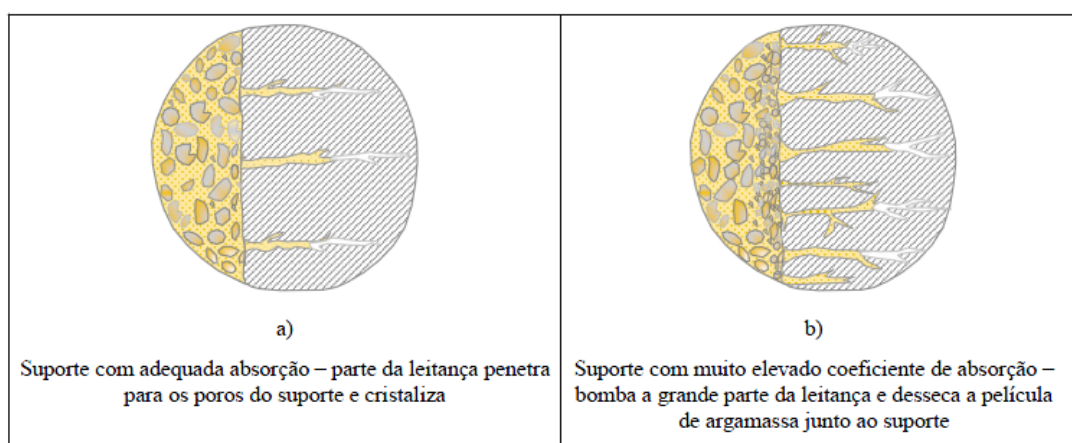


Figura 2.2 - Esquema dos mecanismos mecânicos de aderência dos revestimentos ao suporte (Thomasson, 1982 citado por Quintela, 2006)

A aderência de um reboco de terra ao suporte pode ser influenciada por diversos factores, tais como: o traço da argamassa; o tipo de suporte e o seu estado de limpeza; o tratamento do suporte aquando da aplicação do reboco; a espessura do reboco; as condições termohigrométricas.

A influência que o traço da argamassa tem na aderência desta ao suporte deve-se principalmente à maior ou menor quantidade de argila existente na mistura, uma vez que neste tipo de rebocos não estabilizados a argila cumpre o papel de ligante na mistura. Uma mistura com um teor em argila fraco pode não proporcionar uma ligação suficientemente forte ao suporte, bem como um teor em argila demasiado elevado pode originar tensões demasiado elevadas no reboco e levar à sua fendilhação. Segundo Hamard et al. (2013), o aumento da quantidade de argila numa argamassa aumenta a sua resistência à flexão, fortalecendo o reboco, mas em contrapartida aumenta a retracção, o que pode enfraquecer o interface reboco-suporte, existindo assim um teor de argila que otimiza os resultados.

O tipo de suporte, como referido acima, influencia a aderência devido à sua porosidade e também à sua rugosidade. A porosidade é essencial no processo de penetração da calda acima referido, podendo a limpeza do suporte influenciar o acesso desta ao interior dos poros, representando a sujidade um obstáculo. Um suporte mais rugoso promove uma melhor aderência do reboco à sua superfície, uma vez que a área de contacto com o reboco é maior, proporcionando também condições para uma melhor ancoragem da argamassa.

Uma forma de melhorar a aderência de uma argamassa é a execução de pré-tratamentos no suporte, tendo estes como principais objectivos aumentar a rugosidade da superfície e regular a absorção de água (Scartezini, et al., 2001). Tradicionalmente o pré-tratamento aplicado ao suporte das argamassas de reboco é o chapisco, que consiste geralmente - referindo-me ao caso das argamassas cimentícias correntes – na aplicação de uma camada irregular de argamassa de cimento e areia média de traço 1:3, tendo por objectivo aumentar a rugosidade e consequentemente a área de contacto efectivo (Pereira, 2014). No estudo realizado por Deliniere et al. (2014) onde argamassas de reboco de terra aplicadas em suportes de betão foram submetidas a ensaios de aderência (*Pull-Off*), após obtenção de resultados insatisfatórios (chegando por vezes a valores de resistência quase nulos) e por sugestão de um especialista em rebocos de terra, os testes de três amostras foram repetidos aplicando um tratamento ao suporte. Este tratamento consistiu na aplicação de uma calda composta por água e argila (barbotina), pincelada directamente no suporte. Após a absorção da água da barbotina pelo suporte de betão foi aplicada a argamassa de reboco. Os ensaios de aderência destas três novas amostras evidenciaram resultados mais consistentes, obtendo valores de resistência entre os 111 e 140 kPa, valores estes coerentes com os limites impostos na norma DIN18947 (DIN, 2013). Os valores obtidos por Delinière et al. (2014) encontram-se representados no Quadro 2.1 (Valores de aderência (ensaio *Pull-Off*) (Delinière et al., 2014)), onde o “procedimento standard” corresponde à aplicação da argamassa directamente no suporte e o “procedimento modificado” à aplicação da barbotina antes da aplicação da argamassa. Na presente dissertação será avaliado o tratamento do suporte, recorrendo ao uso de barbotina.

Quadro 2.1- Valores de aderência (ensaio Pull-Off) (traduzido de Delinière et al., 2014)

Amostra	Procedimento Standard					Procedimento modificado			Categoria	
	1	2	3	4	5	1	2	3	S I	S II
	74									
			18	25		106	98			
Aderência	38	2	22	32	4	128	100	78		
[KPa]	42	5	32	103	5	169	100	79		
	47	8	32	110	7	175	125	141	≥50	≥100
	58	8	34	150	9	188	137	147		
Média										
[KPa]	46	6	28	84	6	140	120	111		

A influência das condições atmosféricas na aderência de um reboco de terra deve-se à relação que o seu ligante (aglutinante), a argila, tem com a presença de água. Na presença de água, a argila adquire propriedades plásticas, perdendo solidez, pondo assim em risco a aderência do reboco. No entanto, é de referir que este tipo de rebocos apresenta uma boa capacidade de absorção e libertação de água, e que se a presença desta no seu interior for breve, não apresenta problemas para a solidez do reboco.

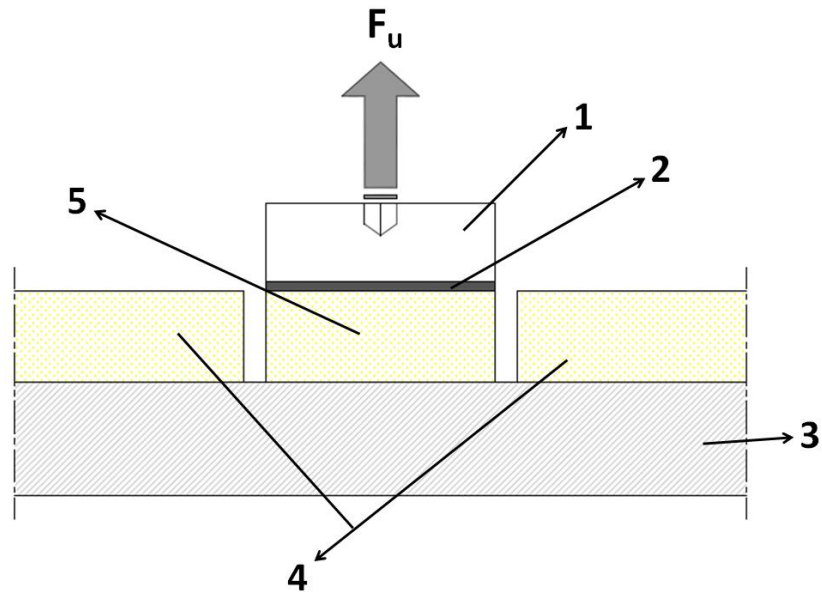
A espessura do reboco condiciona a aderência na medida em que quanto maior a espessura deste, maior a carga que tem de vencer, necessitando assim uma ligação mais forte ao suporte.

2.4. Ensaios de avaliação da aderência de um reboco

Como referido anteriormente, a aderência de um reboco ao suporte pode ser avaliada em relação à tracção e ao corte. No entanto o ensaio de tracção é geralmente o ensaio escolhido, existindo, ao contrário do ensaio de corte, várias normas que definem o seu procedimento.

2.4.1. Ensaio de aderência por tracção *Pull-Off*

O ensaio de arrancamento por tracção *Pull-Off* caracteriza a aderência de uma argamassa ao suporte em função da força de tracção necessária para arrancar a argamassa do seu suporte através da colagem de um disco metálico à superfície desta. A colagem do disco é feita após perfuração da argamassa até ao suporte, de forma a criar uma descontinuidade e isolar a área de teste da restante argamassa. A Figura 2.3 ilustra o esquema do ensaio.



1 - pastilha metálica, 2 - camada de cola, 3 - suporte, 4 – camada de reboco,
 F_u – força de rotura

Figura 2.3 - Esquema do ensaio de arrancamento por tracção *Pull-Off*

A tensão máxima de tracção é obtida pelo quociente entre a força de rotura ou força máxima e a área arrancada de reboco.

A recente norma alemã DIN 18947 (DIN, 2013) remete o ensaio de aderência para a norma europeia EN 1015-12 (CEN, 2000) onde esta é avaliada em relação à tracção através de um ensaio *Pull-Off* (arrancamento).

Para a realização deste ensaio a norma define os seus princípios, simbologia, especificações do aparelho de ensaio, preparação e número de amostras a ensaiar, condições de endurecimento dos provetes e procedimento de ensaio. No entanto, existem outras normas e especificações técnicas para este tipo de ensaio, apresentando por vezes diferenças nas recomendações de realização do ensaio, bem como nos aspectos gerais do ensaio (Lopes, 2012).

Segundo Antunes et al. (2012) este ensaio tem como característica a variabilidade dos seus resultados, agravada ainda pela complexidade e quantidade de factores envolvidos no mecanismo de aderência de revestimentos de argamassa, pelo comportamento mecânico frágil da argamassa, somadas ainda às variações decorrentes do próprio método de ensaio. Entre os vários aspectos que influenciam os resultados do ensaio *Pull-Off*, Flores-Colen, et al. (2009) referem os seguintes: parâmetros instrumentais, tipo de equipamento, profundidade do corte, processo de corte, velocidade de carga e sua excentricidade e a dimensão da amostra de teste (proвете).

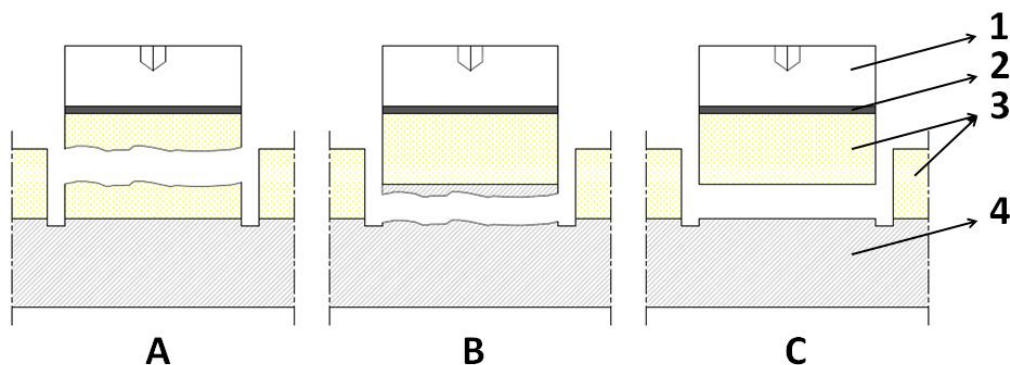
Em geral estas normas não definem nenhum tipo de aparelho de ensaio específico, definindo apenas os requisitos que este deve ter, nomeadamente a velocidade a que a força deve ser exercida no provete. Assim é relevante referir a importância da escolha do equipamento nos resultados do ensaio, uma vez que apesar de os requisitos serem cumpridos, as diferenças de maneabilidade e dimensão de equipamentos podem influenciar a execução do ensaio. Num estudo realizado por Antunes et al. (2012) onde se analisou a influência do equipamento neste ensaio, comparando um

sistema de alavanca simples com dois adímetros de mecanismo distinto um do outro, concluiu-se que o equipamento de manuseamento mais fácil obteve uma menor variação de resultados. Segundo Cincotto et. al. (1995) citada por Antunes (2012), o ensaio de aderência à tração apresenta coeficiente de variação de 10% a 35% , atribuído a factores inerentes ao procedimento de ensaio, os quais podem interferir no resultado obtido. Dentre estes factores, os autores destacam o ângulo de aplicação da tensão e o equipamento utilizado no corte do revestimento, além da forma e da velocidade de aplicação da carga de arrancamento.

Conforme especificado na norma EN 1015-12 (CEN, 2000), os provetes deverão ser circulares com diâmetro de 50 mm e cortados na superfície da argamassa com uma broca craniana com a argamassa no estado endurecido ou cortados a fresco no caso de a argamassa se encontrar no estado fresco. Após a sua execução, de acordo com a DIN 18947 (DIN, 2013) estes devem ser mantidos durante um mínimo de 7 dias antecedentes à realização do ensaio à temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e humidade relativa de $50 \pm 5\%$.

A norma EN 1510-12 (CEN, 2000) define três tipos de rotura possíveis:

- rotura coesiva da argamassa: o valor de resistência de aderência ao suporte é superior ao valor obtido;
- rotura coesiva do suporte: o valor de resistência de aderência ao suporte é superior ao valor obtido;
- rotura adesiva no interface argamassa-suporte: o valor de resistência de aderência ao suporte é igual ao valor obtido.



1 - pastilha metálica, 2 - camada de cola, 3 - camada de reboco, 4 – suporte, A – rotura coesiva da argamassa, B – rotura coesiva do suporte, C – rotura adesiva no interface argamassa-suporte

Figura 2.4 – Mecanismos de rotura do ensaio *Pull-Off*, com base na EN 1015-12 (CEN, 2000)

Nos ensaios em que a rotura do provete se dê pela película de cola, estes deverão ser rejeitados. Este fenómeno poderá ser evitado se for garantida a correcta secagem da argamassa; no entanto é possível que possa ocorrer em ambientes de humidade relativa mais elevada e, por

consequente, a argamassa absorver alguma humidade, alterando a ligação da película de cola epóxi ao suporte.

De acordo com Röhen & Ziegert (2011) as argamassas de reboco de terra deverão apresentar um valor de aderência ao suporte mínimo igual a $0,03 \text{ N/mm}^2$, sendo comuns valores na ordem dos $0,15 \text{ N/mm}^2$. No trabalho realizado por Santos (2014) onde a aderência ao suporte de uma argamassa de terra foi ensaiada em tijolo cerâmico e blocos de betão, os resultados obtidos pela autora apresentaram uma elevada variação, tendo registado valores entre os $0,02 \text{ N/mm}^2$ e os $0,15 \text{ N/mm}^2$. A variação de resultados observados pela autora não é estranha pelos factores inerentes ao ensaio acima mencionados.

Refere-se ainda que a aderência ao suporte deste tipo de argamassas de reboco, quando comparada com rebocos de outra natureza, tendem a ser inferiores, como é o caso das argamassas de cal, que costumam apresentar valores na ordem dos $0,2 \text{ N/mm}^2$.

As argamassas de reboco de terra não estabilizadas quimicamente são classificadas pela norma DIN 18947 (DIN, 2013) no que à resistência de aderência diz respeito em duas categorias conforme apresentado no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Classes de resistência de aderência, com base na DIN 18947 (DIN, 2013)

Classe de Resistência	Resistência de aderência [N/mm ²]
SI	≥0,05
SII	≥0,10

2.4.2. Ensaio de aderência por corte

A caracterização da aderência de um reboco ao suporte apenas por meio de um ensaio de tracção pode ser discutível, uma vez que a aplicação de uma força perpendicular ao suporte pode não ser a melhor maneira de simular as tensões a que um reboco se encontra sujeito num suporte vertical. Segundo Delinière et al. (2014) um ensaio às tensões de corte poderá ser mais apropriado.

Conforme referido acima, este tipo de ensaio não se encontra normalizado, existindo vários trabalhos que recorrem a diferentes métodos e dispositivos para a sua realização. No trabalho desenvolvido por Stolz & Masuero (2012), onde se analisou a área real de contacto de argamassas na resistência ao corte, o aparelho utilizado consistia num aderímetro adaptado através de um mecanismo metálico desenvolvido especificamente para o ensaio, onde os provetes são submetidos à tensão de corte na horizontal conforme esquematizado na Figura 2.5. Este dispositivo apresentou segundo a autora resultados satisfatórios. No entanto a sua construção revela-se mais complicada e dispendiosa quando comparado com mecanismos mais simples.

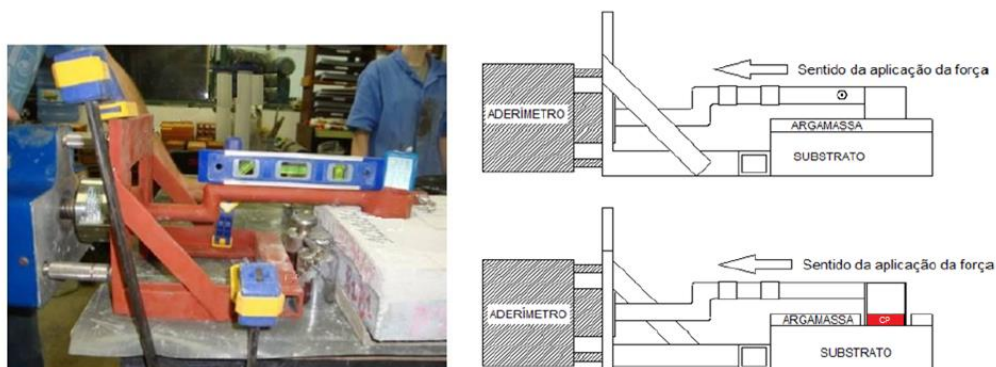


Figura 2.5 – Dispositivo de ensaio ao corte (Stolz & Masuero, 2012)

Um exemplo de um dispositivo simples de ensaio ao corte é o preconizado por Hamard et al. (2013), que recorre a um mecanismo de carregamento simples, aplicado em provetes de dimensões 40x50x20 [mm] carregados com massas de 250 g em intervalos de 10 segundos, registando-se a massa total correspondente à rotura do provete. Este ensaio encontra-se esquematizado na Figura 2.6.

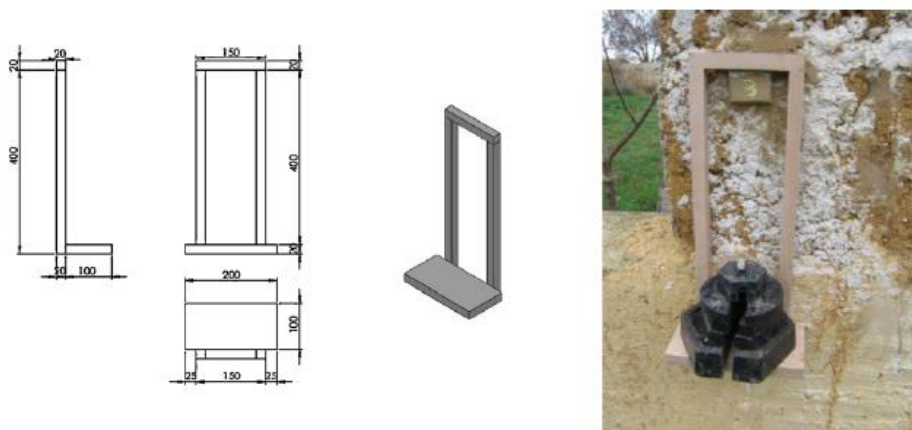


Figura 2.6 – Dispositivo de ensaio ao corte (Hamard et al., 2013)

Uma vez que se trata de um dispositivo não estandardizado, pensado para realização do ensaio in-situ e cujo mecanismo apresenta alguma simplicidade, Hamard et al. (2013) referem que este pode ser adaptado e melhorado, sendo apenas necessário garantir o bom contacto do dispositivo com o topo de provete, bem como minimizar o contacto com a parede, por forma a minorar o atrito. Os provetes deste ensaio são recortados directamente no suporte, tentando que a sua dimensão seja a mais aproximada possível à acima referida. Uma vez que o corte de provetes de dimensão exacta é difícil realizar, todos os provetes são medidos antes de serem ensaiados.

No seu estudo, Hamard et al (2013) avaliou a influência da percentagem de argila da argamassa na aderência ao suporte e procurou aperfeiçoar o ensaio de resistência ao corte acima descrito de forma a torná-lo um ensaio de fácil execução in-situ. Esta avaliação consistiu em duas etapas: uma primeira onde por avaliação visual se constatou a ocorrência ou não de fendilhação devido a fenómenos de retracção e uma segunda onde o ensaio de resistência ao corte acima

referido foi realizado. Os provetes que apresentaram fendilhação foram rejeitados e não submetidos ao ensaio de corte. Os resultados obtidos no ensaio de corte apresentaram alguma variabilidade, sendo que para argamassas estabilizadas mecanicamente com fibras vegetais os resultados obtidos para variam entre os 16 e 22 kPa (argamassa com 18% de argila) e entre 20 e 29 kPa (argamassa com 12% de argila). Por fim foi sugerido pelos autores um protocolo final para este ensaio: em primeiro lugar o suporte deverá ser preparado de maneira igual à da aplicação final da argamassa; Deverão ser executados pelo menos cinco provetes que deverão ter as seguintes dimensões mínimas: 50x40x20 [mm]; um mínimo de dois provetes deve encontrar-se numa zona de junta e outros dois apenas nos elementos; quando os provetes secarem estes devem ser carregados com uma força de 20 N durante 30 segundos; se durante esse período não ocorrer rotura do provete então a formulação da argamassa é validada como adequada para o suporte em causa.

Na presente dissertação de mestrado, o ensaio de corte foi realizado recorrendo ao dispositivo sugerido por Hamard et al. (2013). No entanto o procedimento de ensaio utilizado não foi o por ele sugerido mas sim o por ele realizado no seu estudo. Este facto deve-se a que o procedimento final sugerido pelos autores apenas valida ou rejeita a formulação, não permitindo avaliar a capacidade total de resistência ao corte; uma vez que na presente dissertação se pretende avaliar também a influência de factores externos ao procedimento de ensaio, torna-se importante carregar os provetes até à sua rotura.

3. CAMPANHA EXPERIMENTAL

3.1. Planificação da campanha experimental

Como referido anteriormente, a campanha experimental preconizada pretende dar um contributo para o conhecimento da capacidade de aderência dos rebocos de terra, caracterizando um reboco de terra considerado representativo através das seguintes variáveis:

- tipo de suporte onde o reboco é aplicado;
- método de preparação do suporte;
- procedimento de ensaio – diferentes métodos de execução de provetes;
- tipo de ensaio de aderência – Pull-Off e ensaio de corte;
- humidade relativa de realização do ensaio.

Na Figura 3.1 esquematizam-se as variáveis analisadas na campanha experimental.

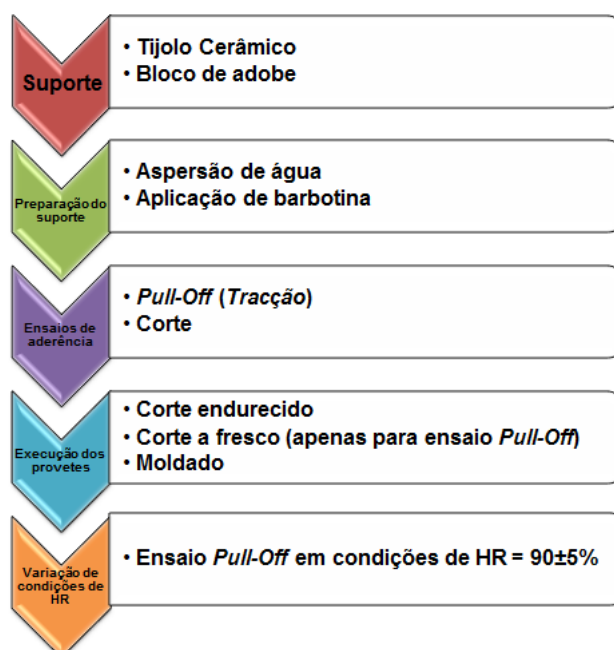


Figura 3.1 – Diagrama de variáveis estudadas na campanha experimental

Todos os ensaios foram realizados nas instalações do DEC-FCT UNL (Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa).

A campanha experimental divide-se em três fases: uma primeira fase de execução de moldes e caracterização dos constituintes da argamassa e dos suportes, uma segunda fase onde se realizou a amassadura da argamassa e a execução dos provetes de ensaio e por fim uma terceira fase de ensaios mecânicos (aderência e outros complementares).

Dadas as potencialidades para aplicação deste tipo de reboco no campo da construção nova e no campo da reabilitação decidiu-se avaliar a aderência em dois tipos de suporte: tijolo cerâmico e

bloco de adobe. A aderência da argamassa foi avaliada recorrendo a dois tratamentos prévios aquando da execução do reboco em ambos os suportes: aspersão de água e aplicação de barbotina. Foram executados dois tipos de ensaio: ensaio de tracção Pull-Off e ensaio de corte. Em ambos os ensaios foi avaliada a influência da técnica utilizada na moldagem/corte dos provetes: no ensaio Pull-Off realizaram-se provetes recorrendo ao corte após endurecimento da argamassa aplicada no suporte, corte ainda com a argamassa fresca e moldagem já nas dimensões pretendidas para o provete; no ensaio ao corte realizaram-se provetes recorrendo ao corte após endurecimento da argamassa e moldagem já nas dimensões pretendidas para o provete.

Adicionalmente avaliou-se a influência da humidade relativa na resistência de aderência através da realização do ensaio de arrancamento Pull-Off em condições de $HR=90\pm 5\%$.

Para a avaliação das características da argamassa no estado endurecido, executaram-se provetes prismáticos de dimensão 40x40x160 [mm]. Estes provetes permitem realizar três ensaios mecânicos: módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tracção e resistência à compressão.

O Quadro 3.1 apresenta os ensaios realizados bem como as normas por eles seguidas.

Quadro 3.1 – Quadro síntese de ensaios realizados e normas seguidas

Âmbito do ensaio	Ensaio	Tipo de material	Documento seguido
Caracterização dos suportes	Absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten	Tijolo cerâmico e bloco de adobe	Fe Pa 39 (LNEC, 2000) e EN 16302 (CEN, 2013)
	Baridade	Areia, terra e fibras de aveia	NP EN 1097-3 (IPQ, 2000)
Caracterização dos constituintes da argamassa	Análise granulométrica por via seca	Areia e terra	EN 1015-1 (CEN, 1998a)
	Consistência por espalhamento	Argamassa de terra traço terra-areia (1:3) + 5% fibras de aveia	EN 1015-3 (CEN, 1999a)
Massa volúmica	EN 1015-6 (CEN, 1998d)		
Caracterização da argamassa no estado endurecido	Massa volúmica aparente	Provetes prismáticos 4x4x16 [mm]	DIN 18947 (DIN, 2013) e EN 1015-10/A1 (CEN, 2006)
	Módulo de elasticidade dinâmico		NP EN 14146 (IPQ, 2007)
	Resistência à tracção por flexão		DIN 18947 (DIN, 2013) e EN 1015-11 (CEN, 1999b)
	Resistência à compressão		DIN 18947 (DIN, 2013) e EN 1015-11 (CEN, 1999b)
Caracterização da resistência de aderência ao suporte	Ensaio de arrancamento por tração	Reboco aplicado sobre tijolo furado e bloco de adobe: provetes circulares de $\phi=50\text{mm}$	DIN 18947 (DIN, 2013) e EN 1015-12 (CEN, 2000)
	Ensaio de corte	Reboco aplicado sobre tijolo furado e bloco de adobe: provetes rectangulares 50x40x20[mm]	Hamard et al. (2014)

3.2. Execução de moldes e aparelho de ensaio ao corte

3.2.1. Moldes em PVC para ensaio Pull-Off

Para a execução dos provetes moldados, procurou-se encontrar uma tubagem com diâmetro interior o mais aproximado possível aos 50 mm definidos para as pastilhas metálicas utilizadas no ensaio. Foi utilizado uma tubagem em PVC com diâmetro interior 47,5 mm, tendo-se recortado moldes com espessura de 20 mm (Figura 3.2). Foi escolhido um PVC de parede espessa, de forma a conferir um maior peso próprio ao molde, evitando movimentos deste durante a execução do provete. Todos os moldes foram preparados com óleo descofrante no seu interior antes da aplicação da argamassa por forma a facilitar a desmoldagem.

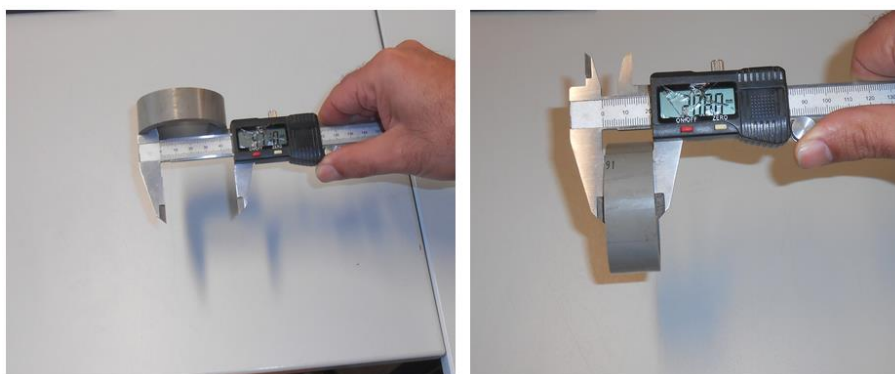


Figura 3.2 – Aferição das dimensões interior e em altura dos moldes de PVC para ensaio Pull-Off

3.2.2. Moldes em madeira para ensaio de corte

Na execução dos moldes para os provetes rectangulares do ensaio de corte recorreu-se a cofragem de contraplacado marítimo com 20 mm de espessura (Figura 3.3). O interior dos moldes foi preparado com óleo descofrante de forma a facilitar a desmoldagem. Na execução dos moldes procurou-se cumprir as dimensões alvo dos provetes 50x40x20 [cm].



Figura 3.3 – Molde em cofragem de contraplacado marítimo com 20 mm de espessura

3.2.3. Dispositivo para o ensaio ao corte

A execução do dispositivo para o ensaio de corte (Figura 3.4) foi realizada com recurso ao modelo proposto por Hamard et al. (2013). O material utilizado é também de aglomerado marítimo. A escolha deste material reside na sua boa resistência e no facto de a sua superfície ser lisa, o que minimiza o atrito num eventual contacto com o suporte durante o ensaio.



Figura 3.4 – Dispositivo para o ensaio de corte baseado no proposto por Hamard et al. (2013)

3.3. Caracterização dos suportes e constituintes da argamassa

3.3.1. Absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten

Este ensaio tem como objectivo avaliar a permeabilidade à água líquida de um material através da quantidade de água absorvida ao longo do tempo por uma determinada área de absorção. O ensaio realizou-se de acordo com a ficha de ensaio Fe Pa 39 (LNEC, 2002) (LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil) e com a EN 16302 (CEN, 2013). Determinou-se para os suportes de tijolo furado e de adobe.

Fixam-se os tubos de Karsten ao suporte nos pontos seleccionados recorrendo à aplicação de plasticina em todo o seu perímetro, garantindo a sua estanquidade e o contacto da área central do tubo com o suporte. Os tubos de Karsten são graduados de 0 a 4 ml e cheios de água até à marca de 0 ml, que corresponde a um volume de 4 ml. Inicia-se a cronometragem do tempo. Quando a água atinge as marcas de 1 ml, 2 ml, 3 ml e 4 ml registam-se os tempos correspondentes, até à duração máxima do ensaio que é de uma hora. No final da hora estipulada para o ensaio regista-se a quantidade de água absorvida. São realizados três ensaios para cada material, sendo calculada a média final de água absorvida. O coeficiente de absorção é determinado aos 60 minutos de ensaio pela equação 1.

$$ca = \frac{Wm60 \times 10^{-3}}{\phi_m^2 \times \frac{\pi}{4} \times 10^{-6} \times \sqrt{60}}$$

Equação 1

Onde: ca – coeficiente de absorção [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{min}})$]; $Wm60$ – quantidade média de água absorvida em 60 minutos [ml]; ϕ_m – diâmetro médio da água em contacto com o bloco de alvenaria [mm].

Apresentam-se os valores obtidos no ensaio do Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Resultados do ensaio absorção de água sob baixa pressão por tubos de Karsten

	ca [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{min}})$]	
	Tijolo cerâmico	Bloco de adobe
Média	0,82	0,45
Desvio Padrão	0,06	0,08

Verifica-se que o tijolo cerâmico apresentou um coeficiente de absorção superior ao tijolo cerâmico. Os resultados são consistentes com os obtidos por Santos (2014).

3.3.2. Análise granulométrica

A terra argilosa utilizada tem origem nacional, mais precisamente no barrocal Algarvio, onde existe uma grande variedade de solos argilosos, originados pela erosão de rochas duras (calcário e dolomita) e rochas moles (margas) presentes na região, bem como por processo de carstificação do calcário e dolomita existentes na região (Lima & Faria, 2014). A argila é íltica devido à elevada concentração de minerais de ilita, que lhe conferem uma boa capacidade adsorção de vapor de água com reduzida variação de tamanho. A areia utilizada é uma areia siliciosa de granulometria média.

A análise granulométrica da areia e da terra argilosa desterroada foi realizada segundo a norma EN 1015-1 (CEN, 1998a). O método utilizado foi o de peneiração mecânica por via seca, que consiste na separação do agregado em partes consoante a sua dimensão recorrendo a peneiros graduados. Neste ensaio foram utilizados os peneiros da série principal. Através desta análise fica-se a conhecer que percentagens das várias dimensões existem no agregado.

Uma amostra de agregado foi mantida à temperatura de 60°C durante o período de 24h. Desta amostra seca foram pesados aproximadamente 1,5 kg de agregado (precisão de 0,1g), que se fizeram passar por agitação mecânica e acção da força gravítica pelos peneiros ordenados descendentemente em dimensão. A amostra foi colocada no peneiro de maior dimensão e iniciou-se a vibração mecânica, mantida durante o período de 5 minutos. Após este período o material retido em cada peneiro foi pesado, com especial atenção à remoção com uma escova das partículas de material retidas nas malhas mais finas. Repetiu-se o procedimento duas vezes de forma a obter um valor médio e minimizar possíveis erros.

O material retido em cada peneiro é pesado e é calculada a sua percentagem correspondente, através da qual é possível calcular a percentagem de agregado que passa em cada um dos peneiros, traçando-se posteriormente a curva granulométrica (a seco). A curva granulométrica a seco da terra argilosa, após desterroamento, e da areia são apresentadas na Figura 3.5.

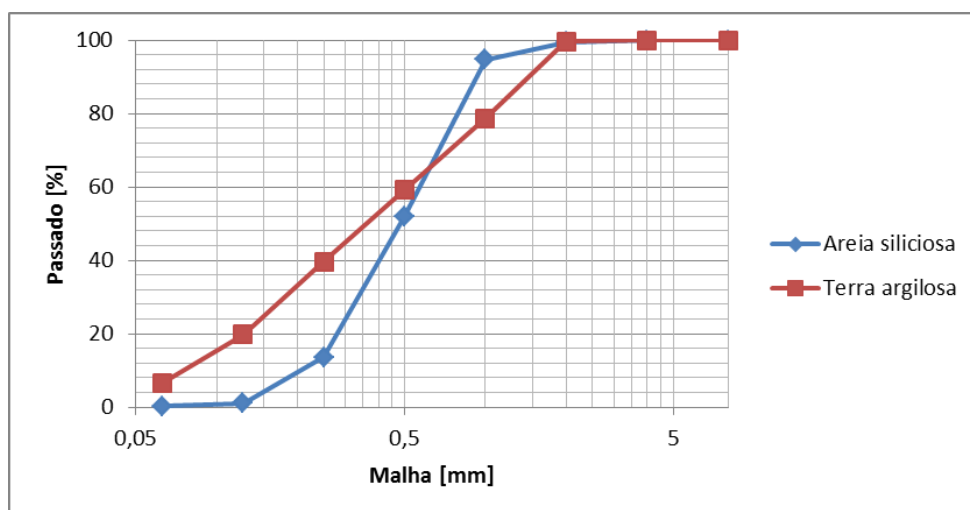


Figura 3.5 - Curva granulométrica a seco da terra argilosa (após desterroamento), e da areia siliciosa.

Verifica-se que a areia apresenta uma curva granulométrica que, comparativamente à terra argilosa desterroada, apresenta maior percentagem de partículas de dimensões entre os 0,25 mm e 1 mm, enquanto a argila apresenta uma melhor distribuição das percentagens, apresentando também como esperado uma maior percentagem de finos.

3.3.3. Baridade

Este ensaio foi realizado com o objectivo de conhecer o traço da argamassa, em massa dos seus constituintes, e seguiu as especificações da norma NP (Norma Portuguesa) EN 1097-3 (IPQ, 2000) (IPQ – Instituto Português da Qualidade).

O ensaio consiste em preencher um recipiente cilíndrico metálico de massa e volume conhecidos com material granular seco (Figura 3.6). A diferença entre a massa do recipiente preenchido e a do recipiente vazio dá o valor da massa do volume de material.

O material a ensaiar foi colocado num funil com orifício tapado a uma altura inferior a 50 mm do recipiente, fixo por um suporte metálico. O orifício foi destapado e o material caiu por acção da gravidade para o recipiente. Quando o recipiente ficou cheio nivelou-se a superfície do material à face da superfície do recipiente pesando-se de seguida.

A baridade do material é obtida pela equação 2.

$$B = \frac{m_{r+m} - m_r}{V_r}$$

Equação 2

onde: B – baridade do material [Kg/dm³]; m_{r+m} – massa do recipiente cheio de material; m_r – massa do recipiente vazio; V_r – Volume do recipiente cilíndrico (0,749 dm³).

O procedimento foi repetido três vezes para a areia e terra e seis vezes para a fibra de aveia de forma a obter valores médios e minimizar possíveis erros.

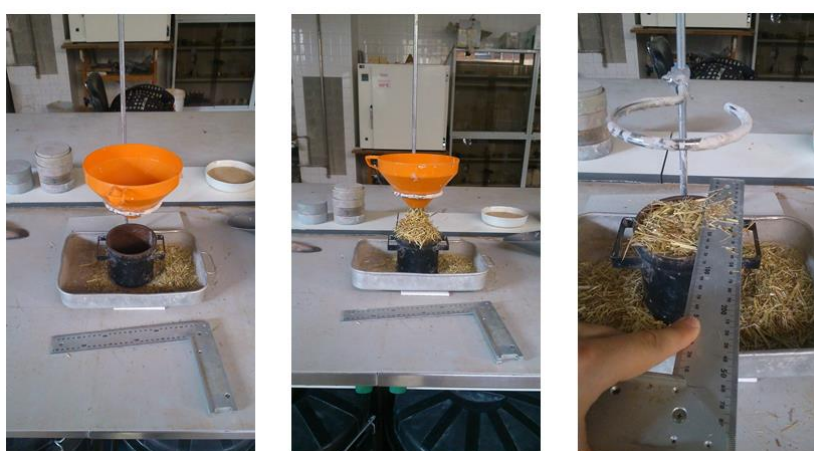


Figura 3.6 – Ensaio de baridade das fibras de aveia

Os resultados do ensaio apresentam-se no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Resultados obtidos no ensaio de baridades dos constituintes da argamassa

Baridade [Kg/m ³]	Média	Desvio Padrão
Terra argilosa	1317,0	1,8
Areia	1591,8	0,6
Fibra de aveia	62,5	4,9

Verifica-se que a baridade da areia siliciosa é superior à da terra argilosa. Comparativamente a fibra de aveia apresenta, tal como expectável, uma baridade muito baixa.

3.4. Produção de argamassa e execução de provetes

A argamassa produzida para a campanha experimental define-se como uma argamassa de terra sem estabilizantes químicos, com um traço volumétrico 1:3 (terra argilosa : areia), tendo a

adição de 5% do somatório do volume da terra e da areia em fibra de aveia. Em massa esta argamassa apresenta um traço 1:3,6:0,01 (terra argilosa:areia:fibra).

3.4.1. Amassadura

A amassadura da argamassa realizou-se de acordo com a norma DIN18947 (DIN, 2013), específica para este tipo de argamassas. Recorreu-se a um misturador mecânico de laboratório com capacidade para 3 litros (Figura 3.7).

A norma DIN18947 (DIN, 2013) define o seguinte procedimento de amassadura:

1. colocar a água na cuba do misturador;
2. adicionar os constituintes sólidos durante 30 segundos com o misturador em velocidade baixa;
3. accionar a velocidade máxima do misturador e deixar misturar durante 30 segundos adicionais;
4. desligar o misturador durante 5 minutos;
5. ligar o misturador na velocidade máxima e deixar misturar durante 30 segundos;

Devido às características do misturador utilizado, o segundo passo do procedimento teve de ser feito manualmente, tendo todos os restantes sido cumpridos conforme especificado.

Os vários constituintes foram pesados e misturados nas devidas proporções do traço volumétrico 1:3 a seco e só depois se procedeu à amassadura.



Figura 3.7 – Sequência dos procedimentos de amassadura

3.4.2. Provetes prismáticos

Foram produzidos provetes prismáticos de dimensões 40x40x160 [mm] em moldes metálicos (Figura 3.8), tendo os moldes sido preparados com a aplicação de óleo descofrante de forma a facilitar a desmoldagem depois de endurecida a argamassa.

A argamassa foi inserida no molde em duas camadas, sendo cada camada compactada através de 20 pancadas através de um compactador mecânico. Após compactação os moldes foram

rasados com o auxílio de uma régua metálica de forma a retirar o excesso de argamassa. Todos os provetes foram numerados de forma a facilitar o seu ensaio.



Figura 3.8 – Moldes e provetes prismáticos de dimensões 40x40x160 [mm]

3.4.3. Provetes sobre tijolo cerâmico e bloco de adobe e amostras para ensaio

Realizaram-se provetes de argamassa com 2 cm de espessura aplicada sobre dois tipos de suporte: tijolo cerâmico com 7 cm de espessura e bloco de adobe com as dimensões 30x15x7 [cm].

Primeiramente o suporte foi preparado com o tratamento correspondente, tendo sido aplicados dois tipos de tratamentos: aspersão de água e aplicação de barbotina. A barbotina aplicada consiste na mistura de água com argila na proporção 1:1 em massa. A escolha desta proporção teve origem em várias misturas realizadas, tendo esta apresentado a consistência de calda pretendida. A água foi aspergida manualmente, tendo-se mergulhado uma escova em água a qual foi de seguida sacudida na direcção do suporte, quando toda a superfície do suporte se encontrava aspergida cessou-se a aspersão. A barbotina foi aplicada recorrendo também a uma escova mas desta vez a aplicação consistiu na escovagem do suporte após mergulhar a escova na barbotina, até toda a superfície do suporte se encontrar preenchida, tendo a argamassa sido aplicada após o suporte absorver uma parte da calda, perdendo assim o aspecto “molhado” que a barbotina lhe confere (Figura 3.9 à esquerda).

Para a execução dos provetes os suportes foram colocados dentro de um molde cuja altura é 2 cm superior à dos suportes (medida à face do suporte), de forma a conferir ao provete os 2 cm de espessura da camada de argamassa pretendida (Figura 3.9 ao centro). De seguida e com o objectivo de simular a projecção do reboco efectuada em obra, colocou-se uma caixa de lançamento em cima dos moldes, sendo a argamassa deixada cair de uma altura de 70cm, reproduzindo uma energia de aplicação constante (Figura 3.9 à direita). Após a aplicação da argamassa foi retirada a caixa de lançamento e rasou-se a argamassa de forma a uniformizar a superfície da camada.



Figura 3.9 – À esquerda: aplicação da barbotina; ao centro: molde de espessura do reboco; à direita: caixa de lançamento da argamassa.

Os provetes foram denominados consoante o suporte, a preparação do suporte e o tipo de corte executado.

Foram executados três tipos de preparações das amostras para o ensaio Pull-Off (corte com a argamassa fresca, com a argamassa endurecida e molde da amostra na dimensão definitiva) e dois tipos para o ensaio de corte (corte com a argamassa endurecida e molde da amostra na dimensão definitiva). O Quadro 3.4 classifica e descreve os métodos de execução.

Quadro 3.4 - Tipos e denominação dos tipos de produção das amostras para ensaio

Ensaio	Denominação do corte	Descrição do tipo de corte
Pull-Off	Corte endurecido	Corte realizado após endurecimento da argamassa recorrendo a uma broca craniana
	Corte a fresco	Corte realizado com a argamassa no estado fresco recorrendo a ferramenta tubular de diâmetro 50 mm
	Moldado	Provete moldado recorrendo a moldes em PVC
Ensaio de corte	Corte endurecido	Corte realizado após endurecimento da argamassa recorrendo a uma serra
	Moldado	Provetes moldados recorrendo a moldes em madeira com as dimensões alvo

Amostras por corte endurecido

Para os provetes circulares utilizados no ensaio de Pull-Off este corte é realizado recorrendo a uma broca craniana (Figura 3.10). A sua execução consiste em friccionar a broca através de movimentos circulares manuais de direcção alternada na superfície do reboco, após e endurecimento deste. Salienta-se o facto de, à medida que o provete é cortado, as partículas de argamassa depositam-se na área de corte, tendo sido utilizado um aspirador durante o corte de forma a remover

estas partículas e não permitir a sua acumulação - que caso contrário aplicaríamos tensões no provete, podendo levar à sua rotura.

Para os provetes rectangulares utilizados no ensaio de corte, estes foram cortados recorrendo a uma serra, tendo sido também aspiradas as partículas de argamassa provenientes do corte.



Figura 3.10 – Execução de amostras por corte endurecido com broca manual

Amostras por corte a fresco

Este tipo de corte foi apenas executado para os provetes circulares utilizados no ensaio de Pull-Off. O corte executou-se recorrendo a um tubo metálico de diâmetro interior igual a 50mm após uma hora da aplicação da argamassa no suporte (Figura 3.11). Posicionou-se o tubo na superfície do reboco e exerceu-se manualmente pressão na direcção perpendicular ao reboco, removendo o tubo do interior da argamassa com um ligeiro movimento circular. Este não pode ser muito brusco, caso contrário a superfície do provete não fica plana, dificultando a colagem da pastilha de arrancamento.



Figura 3.11 – Execução de amostras por corte a fresco com cilindro manual

Amostras moldadas na dimensão definitiva

Para o ensaio de Pull-Off foram executados provetes moldados recorrendo a moldes de PVC. Os moldes foram posicionados no suporte antes da aplicação da argamassa. Na sua aplicação, e apesar de o PVC escolhido para o molde ser espesso e possuir um peso próprio considerável, os

moldes foram fixos recorrendo a um “prego de massa” (aplicação de argamassa na periferia do molde) (Figura 3.12), de forma a evitar movimentos do molde aquando do lançamento da argamassa. Após a aplicação da argamassa os moldes foram rasados com o auxílio de uma pá de pedreiro. Após endurecimento da argamassa os moldes foram removidos cuidadosamente de forma a não danificar o provete.

Para o ensaio de corte foram executados provetes moldados, desta vez rectangulares, recorrendo a moldes de madeira. Também estes foram fixos com um “prego de massa” após posicionamento no suporte e rasados após aplicação da argamassa. Após endurecimento da argamassa os moldes foram removidos através de desmontagem, tarefa que requereu especial cuidado uma vez que a desmontagem do molde se fez através da remoção de parafusos.



Figura 3.12 – Execução de amostras moldadas na dimensão definitiva

3.4.4. Condições de endurecimento

Após execução dos provetes, estes foram mantidos numa sala condicionada (Figura 3.13 à esquerda) durante o período de um mês em condições higrotérmicas constantes: $T=20\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $\text{HR}=65\pm 5\%$. Todos os provetes, após executadas as amostras (corte endurecido) e após colagem de pastilhas metálicas, permaneceram durante um período de 7 dias nas condições acima referidas antes de serem ensaiados. Os provetes sujeitos a ensaio em condições de HR elevada endureceram em condições exteriores não controladas, tendo antes do ensaio sido mantidos na sala de cura húmida (Figura 3.13 à direita) em condições de $\text{HR}=90\pm 5\%$.



Figura 3.13 – À esquerda: sala condicionada $T=20\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $\text{HR}=65\pm 5\%$; à direita: sala de cura húmida $\text{HR}=90\pm 5\%$

4. CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA

4.1. Espalhamento

O ensaio de espalhamento foi realizado segundo a norma EN 1015-3 (CEN, 1999a). Este ensaio permite caracterizar a consistência de uma argamassa, permitindo avaliar o seu estado de trabalhabilidade, sendo esta influenciada pela quantidade de água presente na argamassa.

Procedeu-se à limpeza do prato de espalhamento e do molde troncocónico (Figura 4.1) com um pano húmido, de forma a que as superfícies que entram em contacto com a argamassa se encontrassem húmidas durante o ensaio. Centrou-se o molde no prato de espalhamento e imediatamente após a amassadura da argamassa inseriram-se duas camadas de argamassa no interior do molde, sendo cada camada compactada com 10 inserções (mínimas) do pilão. O excesso de água existente em redor do molde e no prato de espalhamento foi removido, retirando o molde cuidadosamente de seguida. Imediatamente após a remoção do cone foram dadas 15 pancadas ao ritmo de uma pancada por segundo. Por último, foi medido o diâmetro da argamassa espalhada em duas direcções ortogonais recorrendo a uma craveira. O resultado do ensaio é dado pela média destas duas medições, no caso $176\pm 1,5$ mm. Este valor encontra-se no intervalo de 175 ± 5 mm que a norma DIN 18947 (DIN, 2013) estipula.



Figura 4.1 – Prato de espalhamento e molde troncocónico

4.2. Massa volúmica no estado fresco

Este ensaio foi realizado segundo a norma EN 1015-6 (CEN, 1998d). Colocou-se um recipiente metálico de forma cilíndrica com capacidade de 1 l, vazio, numa balança com precisão de 0,1g e de seguida tarou-se a balança. Após a realização da amassadura da argamassa encheu-se metade do recipiente e procedeu-se à sua compactação, em quatro direcções distintas, apoiando o recipiente de um lado e elevando o lado oposto em 3 cm, largando-o de seguida para que o impacto efectue a compactação (processo realizado para quatro lados em duas direcções opostas). De seguida encheu-se o recipiente por completo e o processo de compactação foi repetido. Rasou-se o topo do recipiente com o auxílio de uma colher de pedreiro de forma a remover o excesso de argamassa e procedeu-se à sua pesagem. O valor obtido corresponde à massa volúmica da

argamassa no estado fresco. O ensaio foi realizado para duas amostras recolhidas durante a fase de amassadura, sendo o valor médio obtido $2,06 \text{ kg/dm}^3$. Este valor é superior ao estipulado como mínimo na norma DIN 18947 (DIN, 2013), sendo este $1,2 \text{ kg/dm}^3$.

4.3. Massa volúmica aparente

A massa volúmica aparente é obtida através do quociente entre a massa do provete prismático da argamassa e o seu volume, após endurecimento com base na norma EN 1015-10/A1 (CEN, 2006). A massa dos provetes foi medida recorrendo a uma balança com precisão $0,001 \text{ g}$ e os valores do comprimento, altura e largura medidos com uma craveira digital, tendo sido realizadas duas medições em pontos distintos para cada uma destas dimensões, visando o cálculo de um valor médio para cada provete. Todas as medições foram efectuadas após um mês de permanência dos provetes na sala condicionada em condições higrotérmicas de $T=23\pm 2^\circ\text{C}$ e $HR=65\pm 5\%$.

Os valor médio obtido no ensaio para os 6 provetes ensaiados (Quadro 4.1) permite classificar a argamassa segundo a norma DIN 18947 (DIN, 2013) no que a este parâmetro diz respeito como pertencente à classe 2,0 (valores pertencentes ao intervalo de $1,81$ a $2,00 \text{ kg/dm}^3$).

Quadro 4.1 – Resultados do ensaio de massa volúmica aparente

Provete	Massa [kg]	Volume [dm^3]	Massa volúmica aparente [kg/dm^3]
1	0,48374	0,246	1,97
2	0,48272	0,247	1,96
3	0,48453	0,244	1,98
4	0,47441	0,240	1,98
5	0,47845	0,242	1,98
6	0,48571	0,244	1,99
		Média	1,97
		DP	0,01

4.4. Módulo de Elasticidade Dinâmico

O ensaio recorre ao método da ressonância forçada e foi realizado de acordo com a norma NP EN 14146 (IPQ, 2006). O objectivo do ensaio é medir a frequência fundamental de ressonância para uma vibração induzida na direcção longitudinal do provete através do equipamento “ZEUS Resonance Meter” (ZMR 001) (Figura 4.2) ao qual está associado um software de cálculo específico.



Figura 4.2 - Equipamento “ZEUS Resonance Meter” (ZMR 001) com provete em ensaio de módulo de elasticidade dinâmico

Os provetes ensaiados foram mantidos em condições de temperatura e humidade relativa controladas na sala condicionada ($T=23\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $HR=65\pm 5\%$) até à realização do ensaio, tendo sido medidas as suas dimensões e massa. O provete foi colocado no suporte do equipamento, ficando um dos topos em contacto com o emissor de vibrações e o outro com o receptor. Após introdução das características do provete a ensaiar (massa em gramas e dimensões em milímetros) no software dá-se início ao ensaio e registam-se as leituras do módulo de elasticidade. O provete é rodado de forma a serem efectuadas um mínimo de quatro medições por cada provete. O ensaio foi executado para cada um dos seis prismas executados.

O software de cálculo do equipamento determina o valor do módulo de elasticidade dinâmico com base na equação 3.

$$E_d = (2 \times L \times f_0)^2 \times \frac{\rho}{g} \times 10^{-6}$$

Equação 3

onde: E_d – módulo de elasticidade dinâmico [MPa]; L – comprimento do provete [mm]; f_0 – frequência de ressonância longitudinal [Hz]; ρ – massa volúmica do provete [N/m^3]; g – Aceleração gravítica [$9,806655 \text{ m/s}^2$].

Os resultados obtidos neste ensaio permitiram calcular um valor médio de 4230,8 MPa com um desvio-padrão de 86,0 MPa para o módulo de elasticidade. Os valores obtidos no ensaio são coerentes com os valores obtidos por Santos (2014) para uma argamassa de formulação semelhante, tendo a autora chegado a um valor médio igual a $3837\pm 57,05$ MPa.

4.5. Resistência à tracção por flexão

Concluído o ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico, submeteram-se os provetes ao ensaio de resistência à tracção por flexão seguindo a norma EN 1015-11 (CEN, 1999).

Para a realização do ensaio recorreu-se a uma máquina universal Zwick/Rowell Z050 equipada com uma célula de carga de 2 kN associada a um dispositivo de flexão por três pontos (Figura 4.3). O provete foi colocado nos apoios, tendo estes uma distância de 100 mm entre si. A colocação do provete no equipamento requer atenção para que a face rugosa fique disposta lateralmente, ficando as faces lisas em contacto com o equipamento, de forma a evitar que os resultados sejam influenciados pelas irregularidades da superfície carregada. Foi também verificada a perpendicularidade entre o provete e a célula de carga. Colocado correctamente o provete deu-se início ao ensaio que consiste no carregamento do provete a uma velocidade de 0,2 mm/min. O software associado ao equipamento regista e representa graficamente a força aplicada ao longo do tempo, permitindo obter a força que causa a rotura do provete. Foi realizado um ensaio para cada um dos seis prismas executados.

A resistência à tracção por flexão é obtida através da equação 4.

$$R_t = 1,5 \times \frac{F_f \times l}{b \times d^2}$$

Equação 4

onde: R_t – resistência à tracção por flexão [N/mm^2]; F_f – força máxima aplicada; l – distância entre apoios: 100mm; $b=d$ – lado da secção quadrada do provete: 40mm.

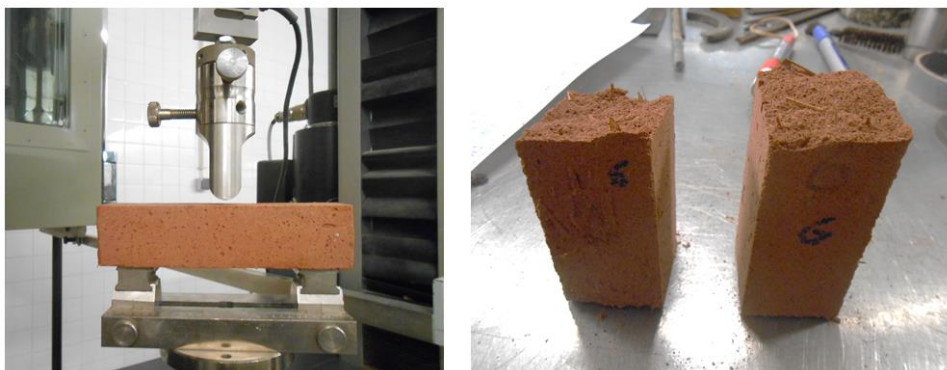


Figura 4.3 - Máquina universal Zwick/Rowell Z050 com dispositivo de flexão por três pontos e provete após rotura

O ensaio permitiu obter um valor médio de resistência à tracção por flexão de $0,24 \text{ N/mm}^2$, que apesar de se encontrar dentro dos intervalos de resultados de outros autores se esperava que fosse superior a $0,25 \text{ N/mm}^2$, valor obtido por Lima & Faria (2014) para uma argamassa de traço volumétrico igual (e argila idêntica) ao da argamassa avaliada na presente dissertação, uma vez que nesta foi adicionada fibra de aveia. Os resultados individuais do ensaio apresentam-se no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Resultados do ensaio de resistência à tracção por flexão

Provete	Rt [N/mm ²]
1	0,21
2	0,21
3	0,26
4	0,27
5	0,26
6	0,25
Média	0,24
DP	0,02

4.6. Resistência à compressão

Após o ensaio de resistência à tracção por flexão realizou-se o ensaio de compressão, utilizando para tal uma metade do provete prismático submetido ao ensaio anterior. Este ensaio segue a norma EN 1015-11 (CEN, 1999) e recorre novamente à máquina universal Zwick/Rowell Z050, desta vez com uma célula de carga de 50 kN e um dispositivo de compressão de dimensões 40x40 [mm] (Figura 4.4). Colocou-se o provete no dispositivo de compressão, novamente com atenção à colocação lateral da superfície rugosa do provete. Deu-se início ao ensaio, sendo o provete carregado à velocidade constante de 0,7 mm/min até à sua rotura. O software do equipamento regista e apresenta graficamente os valores de força ao longo do tempo, bem como a força máxima de compressão que leva o provete à rotura.

A resistência à compressão em MPa é obtida pelo quociente entre a força de compressão que leva o provete à rotura, em N, e a área de carga (1600mm²)



Figura 4.4 - Máquina universal Zwick/Rowell Z050 com dispositivo de compressão de dimensões 40x40 [mm] e provete em ensaio

Os ensaios realizados permitiram obter um valor médio igual a 0,81 N/mm², valor que se encontra dentro do intervalo de resultados obtidos por outros autores para argamassas semelhantes. Os resultados individuais do ensaio apresentam-se no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Resultados do ensaio de resistência à compressão

Provete	Rc [N/mm ²]
1	0,67
2	0,40
3	0,86
4	0,99
5	0,96
6	0,99
Média	0,81
DP	0,22

4.7. Aderência por Pull-Off

O ensaio de Pull-Off foi realizado de acordo com a norma DIN 18947 (DIN, 2013) que remete o ensaio para a norma EN 1015-12 (CEN, 2000). Foi utilizado o equipamento de Pull-Off PosiTest AT-M em conjunto com pastilhas metálicas de 50 mm de diâmetro (Figura 4.5). Os provetes foram retirados da sala condicionada e o equipamento foi posicionado perpendicularmente ao provete a ensaiar com auxílio de um suporte regulável em altura. Cuidadosamente foi feita a ligação entre a pastilha metálica e o equipamento e ajustada a altura do suporte, verificando o seu correcto apoio. De seguida foi exercida a força de tracção, sem choque e com uma taxa uniforme, de maneira a que a rotura ocorra entre os 20 e 60 segundos de carga. Após rotura o equipamento regista a tensão máxima em MPa para uma área correspondente a uma circunferência com 50 mm de diâmetro (área da pastilha metálica). O provete ensaiado é então medido em duas direcções de forma a obter uma medida média para o seu diâmetro. A tensão de aderência do provete ensaiado é calculada pelo quociente entre a força máxima exercida em Newton e a área ensaiada em milímetros; assim a tensão máxima real é então obtida através da equação 5.

$$f_u = \frac{F_u}{A} \quad <=> \quad f_u = \frac{f_{u \text{ medido}} \times A_{\text{pastilha}}}{A}$$

Equação 5

onde: f_u – tensão de aderência [N/mm²]; F_u – força de rotura [N]; A – área de ensaio [mm²]; $f_{u \text{ medido}}$ – tensão de aderência medida no equipamento [MPa]; A_{pastilha} – área da pastilha metálica [mm²]

A tensão de aderência é calculada pela média de 5 ensaios de Pull-Off expressa em [N/mm²].

Os resultados dos ensaios apresentam-se no

Quadro 4.4 e serão discutidos no capítulo seguinte.

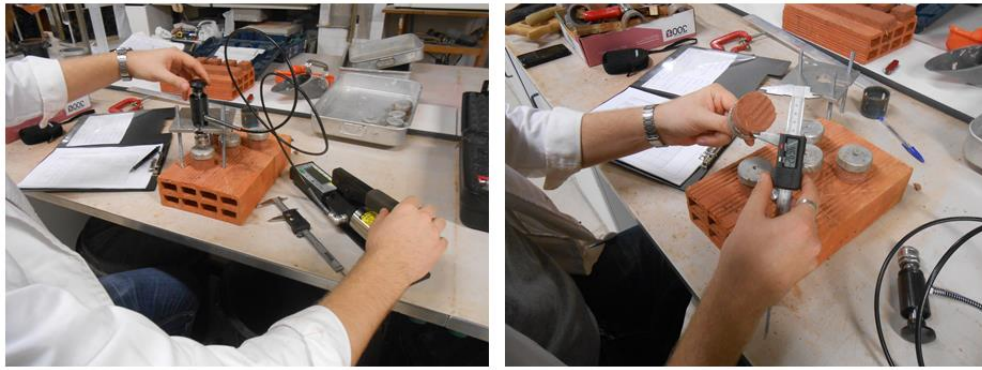


Figura 4.5 - Equipamento de Pull-Off PosiTest AT-M

Quadro 4.4 – Resultados do ensaio Pull-Off

Suporte	HR de ensaio	Preparação do suporte	Tipo de Ensaio	Aderência Média	DP
				[N/mm ²]	
Tijolo Cerâmico	65±5%	Aspersão de água	Corte	0,09	0,01
			Endurecido	0,13	0,01
			Corte a Fresco	0,14	0,02
		Aplicação de Barbotina	Corte	0,12	0,01
			Endurecido	0,13	0,00
			Corte a Fresco	0,14	0,02
Bloco de Adobe	65±5%	Aspersão de água	Endurecido	0,11	0,01
			Corte a Fresco	0,13	0,01
			Moldado	0,15	0,01
		Aplicação de Barbotina	Corte	0,13	0,01
			Endurecido	0,14	0,01
			Corte a Fresco	0,15	0,01
Tijolo cerâmico	90±5%	Aspersão de água	Corte	0,08	0,00
			Endurecido	0,07	0,00
			Corte a Fresco	0,07	0,00
		Aplicação de Barbotina	Moldado	0,09	0,01
			Corte	0,07	0,00
			Endurecido	0,08	0,00
Bloco de Adobe	90±5%	Aspersão de água	Corte a Fresco	0,08	0,01
			Endurecido	0,07	0,01
			Moldado	0,08	0,00
		Aplicação de Barbotina	Corte	0,08	0,00
			Endurecido	0,08	0,01
			Corte a Fresco	0,08	0,01
			Moldado	0,08	0,00

4.8. Aderência por Corte

Este ensaio não se encontra normalizado; o procedimento abaixo descrito foi o seguido na campanha experimental realizada (em condições laboratoriais). Tal não impede que o mesmo tipo de ensaio possa ser realizado recorrendo a métodos e equipamentos diferentes, bastando apenas que estes cumpram o requisito da força aplicada ao provete gerar nele tensões de corte.

O ensaio recorre a um dispositivo que, quando colocado na face superior do provete, permite aplicar tensões de corte no provete à medida que é carregado com pesos (Figura 4.6). Todos os provetes são medidos antes do ensaio, sendo registadas duas medidas para cada uma das suas dimensões, de forma a calcular uma altura e largura médias. Os pesos aplicados durante o ensaio têm uma massa calibrada numa balança com precisão de 0,001 g igual a 250 g. Uma vez que o dispositivo apresentava uma massa superior a 250 g, decidiu-se calibrá-lo para 500 g, correspondendo este ao primeiro carregamento do ensaio. O dispositivo é colocado no provete, garantindo um correcto contacto com a superfície e a ausência de excentricidades no carregamento, de forma que a força aplicada gere apenas tensões de corte. O posicionamento do dispositivo requer especial atenção pois é determinante no sucesso do ensaio, sendo também essencial minimizar o atrito com o suporte. Colocado o dispositivo, são cronometrados 10 segundos, passados os quais, se não se der a rotura, procede-se ao seu carregamento através da aplicação de um peso de massa igual a 250 g. Após novo carregamento voltam a ser cronometrados 10 segundos repetindo-se este procedimento até se dar a rotura do provete. Ocorrida a rotura é registado o total de massa aplicada no dispositivo, sendo a força total aplicada ao provete o somatório da massa dos pesos aplicados e do dispositivo multiplicado pela aceleração gravítica. A tensão de corte é calculada pelo quociente da força aplicada na rotura pela área do provete ensaiado conforme a equação 6.

$$\tau_u = \frac{m_t \times g}{A}$$

Equação 6

Nesta: τ_u – tensão de aderência [N/mm^2]; m_t – massa total aplicada no provete; g - aceleração gravítica [$9,806655 \text{ m}/\text{s}^2$]; área do provete ensaiado [mm^2].

A tensão de aderência é calculada pela média de 5 ensaios de corte expressa em [N/mm^2].



Figura 4.6 – Ensaio de resistência ao corte com dispositivo sugerido por Hamard et al. (2013)

Os resultados dos ensaios apresentam-se no Quadro 4.5 e serão discutidos no capítulo seguinte.

Quadro 4.5 – Resultados do ensaio de resistência ao corte

Suporte	HR de ensaio	Preparação do suporte	Tipo de Ensaio	Média	DP
				[N/mm ²]	
Tijolo cerâmico	65±5%	Aspersão de água	Corte Endurecido	0,04	0,01
			Moldado	0,04	0,00
		Aplicação de Barbotina	Corte Endurecido	0,05	0,00
			Moldado	0,04	0,00
Bloco de Adobe	65±5%	Aspersão de água	Corte Endurecido	0,05	0,00
			Moldado	0,01	0,00
		Aplicação de Barbotina	Corte Endurecido	0,05	0,01
			Moldado	0,03	0,01
Tijolo cerâmico	90±5%	Aspersão de água	Corte Endurecido	0,03	0,00
		Aplicação de Barbotina	Corte Endurecido	0,03	0,00
Bloco de Adobe	90±5%	Aspersão de água	Corte Endurecido	0,03	0,00
		Aplicação de Barbotina	Corte Endurecido	0,03	0,00

5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A discussão de resultados irá ser feita com base nos valores obtidos nos ensaios de aderência, bem como por comparação com resultados de outros autores. Serão avaliadas as variações dos resultados decorrentes das variáveis analisadas.

5.1. Aderência ao suporte – Pull-Off

5.1.1. Ensaio de referência

Para a discussão dos resultados obtidos, definiu-se como ensaio de referência o ensaio onde os provetes foram executados por corte endurecido conforme recomendado na norma EN 1015-12 (CEN, 2000). Apesar de a norma EN 1015-12 (CEN, 2000) prever também a realização do ensaio em provetes executados por corte a fresco, esta escolha recaiu no facto de o corte endurecido ser o mais utilizado, permitindo a comparação de resultados. Considerou-se ainda que o tratamento de suporte de referência seria a aspersão de água no suporte.

Para as condições de ensaio acima referidas obteve-se um valor de aderência ao suporte igual a $0,09 \text{ N/mm}^2$ para o tijolo cerâmico e igual a $0,11 \text{ N/mm}^2$ para o bloco de adobe. Estes valores encontram-se dentro do intervalo esperado, quando comparados com os resultados de outros autores. Lima & Faria (2014) obtiveram um resultado de aderência ao suporte de valor igual a $0,07 \text{ N/mm}^2$ para uma argamassa com traço volumétrico 1:3 sem adição de fibras, com argila idêntica à utilizada também na presente dissertação. O suporte utilizado no ensaio realizado pelos autores foi o tijolo cerâmico. Assim pode-se concluir que a adição de fibras contribui positivamente para o fenómeno de aderência.

No ensaio de referência, os valores obtidos para o bloco de adobe revelaram-se superiores aos do tijolo cerâmico, podendo este facto ser atribuído à maior compatibilidade entre os módulos de elasticidade dos materiais (argamassa e adobe), bem como ao coeficiente de absorção do suporte. Esta última propriedade terá particular importância na forma como a calda da argamassa consegue penetrar na estrutura porosa do suporte e na forma como a aderência se desenvolve durante o endurecimento e mesmo após secagem.

5.1.2. Influência do tipo de material de suporte

Pela análise dos resultados obtidos na bateria de ensaios realizada, verificou-se que, à semelhança do ensaio de referência, a argamassa de reboco de terra estudada, em condições de $HR=65\%$ apresenta valores de aderência sempre superiores para o suporte de adobe face ao suporte cerâmico, conforme se constata no gráfico da Figura 5.1. Esta tendência verificou-se para ambos os tratamentos do suporte e para os três tipos de preparação das amostras. Esta tendência é atribuída aos mesmos factores referidos no caso do ensaio de referência. Os valores obtidos são satisfatórios uma vez que se verificou a tendência esperada para esta avaliação.

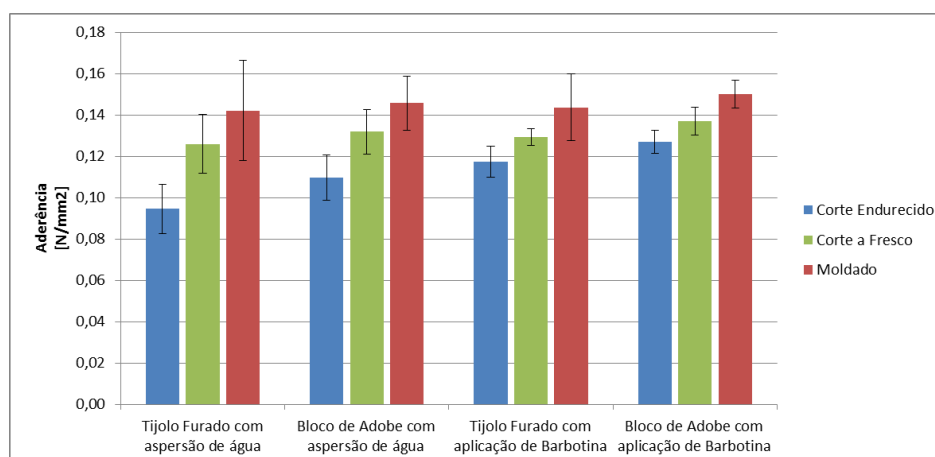


Figura 5.1 - Valores médios da aderência ao suporte do ensaio Pull-Off em condições de HR=65%

Para valores de HR=95%, verificou-se que a tendência acima referida se inverteu (Figura 5.2), embora a diferença dos valores de aderência entre os diferentes suportes com o mesmo tratamento seja mínima. Este facto poderá dever-se à possibilidade do bloco de adobe ter uma maior capacidade de absorção de humidade face ao tijolo cerâmico, uma vez que é um material constituído por terra. Assim, nas condições de HR elevada, o suporte cerâmico apresentou um melhor desempenho face à aderência por Pull-Off.

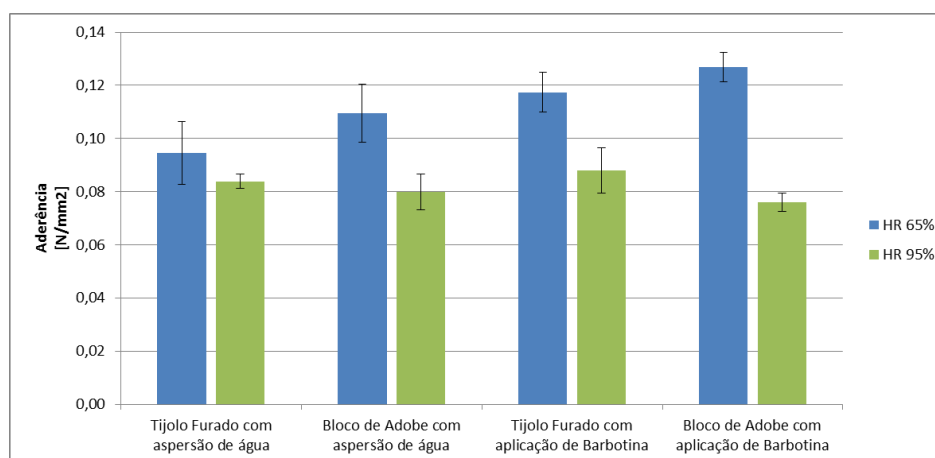


Figura 5.2 - Valores médios da aderência ao suporte do ensaio Pull-Off em condições de HR=95%

5.1.3. Influência do tratamento do suporte

Os resultados obtidos verificaram uma variação significativa dos valores de aderência entre os suportes aspergidos com água e os suportes onde foi aplicada a barbotina, podendo afirmar-se que a aplicação da barbotina influencia positivamente a aderência ao suporte.

Provetes em suporte de tijolo cerâmico

O Quadro 5.1 apresenta as variações de resultados obtidas para os dois tratamentos de suporte estudados.

Quadro 5.1- Variação de resultados do ensaio Pull-Off em função do tratamento do suporte em suporte de tijolo cerâmico

Tijolo cerâmico	Aderência [N/mm ²]					
	Corte Endurecido		Corte a Fresco		Moldado	
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.
Aspersão de água	0,09	0,01	0,13	0,01	0,14	0,02
Aplicação de barbotina	0,12	0,01	0,13	0,00	0,14	0,02
% variação devido ao tratamento do suporte	24%		3%		1%	

Nos ensaios conduzidos em suporte de tijolo cerâmico, a maior variação de resultados verificou-se para o corte endurecido, sendo esta de 24%. Para os outros tipos de corte as variações registadas foram pequenas, 1% e 3%.

Provetes em suporte de bloco de adobe

O Quadro 5.2 apresenta as variações de resultados obtidas para os dois tratamentos de suporte estudados.

Quadro 5.2 – Variação de resultados do ensaio Pull-Off em função do tratamento do suporte em suporte de bloco de adobe

Bloco de adobe	Aderência [N/mm ²]					
	Corte Endurecido		Corte a Fresco		Moldado	
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.
Aspersão de água	0,11	0,01	0,13	0,01	0,15	0,01
Aplicação de barbotina	0,13	0,01	0,14	0,01	0,15	0,01
% variação devido ao tratamento do suporte	16%		4%		3%	

A maior variação observada neste tipo de suporte foi de 16% e verificou-se novamente para o corte endurecido. Os outros dois tipos de corte apresentaram mais uma vez variações pequenas, 4% e 3%.

Os resultados obtidos nos dois tipos de suporte vão de encontro aos resultados esperados, sendo coerentes com a variação de resultados verificada por Delinière et al.(2014), onde os provetes aplicados no suporte aplicado de barbotina apresentaram valores significativamente superiores.

Verifica-se assim que a barbotina fortalece as ligações entre o suporte e a argamassa, justificando-se a maior variação de resultados nos provetes realizados por corte endurecido devido precisamente ao facto de a execução do corte aplicar inevitavelmente tensões no reboco, o que é colmatado pela aplicação da barbotina.

Salienta-se o facto de o suporte de adobe apresentar valores de aderência superiores para ambos os tratamentos de suporte. Este facto pode dever-se ao menor coeficiente de absorção de água que o bloco de adobe apresenta, criando condições para a ocorrência de ligações mais fortes durante o processo de secagem da argamassa.

Relativamente à variação dos valores obtidos nos ensaios, os valores de desvio padrão obtidos não foram tão altos como se esperava que pudessem ser, o que se revela positivo.

5.1.4. Influência do procedimento de execução dos provetes

A análise de resultados desta variável será realizada em relação ao procedimento do ensaio de referencia, conforme a norma EN 1015-12 (CEN, 2000). A variação dos resultados decorrente do tipo de corte executado será feita para os dois tipos de suporte.

Os resultados observados revelam que o método utilizado para a execução dos provetes tem influência no valor da aderência obtido no ensaio. Assim, verificou-se que dos três tipos de preparação das amostras estudados, o sugerido pela norma EN 1015-12 (CEN, 2000) é o que apresenta resultados mais baixos de aderência ao suporte. Este facto deve-se a este tipo de corte poder ser considerado “destrutivo” quando comparado com os outros dois. O recurso a uma broca para a execução do provete causa inevitavelmente tensões no reboco aquando da execução do corte. O corte a fresco, também previsto na norma EN 1015-12 (CEN, 2000), apesar de recorrer a um dispositivo muito similar à broca craniana, é executado sem exercer tensões no reboco, uma vez que, estando a argamassa ainda no estado fresco, não oferece resistência à penetração do dispositivo de corte. Esta ocorre quase naturalmente por acção gravítica, sendo apenas necessário aplicar força de forma a garantir a perfuração até ao suporte e também a planeza do provete. Os provetes moldados, quando correctamente executados e untados com óleo descofrante, libertam-se sem dificuldade, não sendo o provete exposto a tensões antes do ensaio de Pull-Off.

O Quadro 5.3 apresenta as variações de resultados obtidas para os diferentes tipos de execução das amostras para ensaio em provetes com suporte de tijolo cerâmico.

Quadro 5.3 - Variação de resultados do ensaio Pull-Off em função do procedimento de execução dos provetes em suporte de tijolo cerâmico

Tijolo cerâmico	Aderência [N/mm ²]		% variação devido ao tipo de corte	Aderência [N/mm ²]		% variação devido ao tipo de corte
	Aspersão de água			Aplicação de barbotina		
	Média	Desv. Pad.		Média	Desv. Pad.	
Corte Endurecido	0,09	0,01	-	0,12	0,01	-
Corte a Fresco	0,13	0,01	33%	0,13	0,00	37%
Moldado	0,14	0,02	50%	0,14	0,02	52%

O Quadro 5.4 apresenta as variações de resultados obtidas para os diferentes tipos de execução das amostras para ensaio em provetes em suporte de bloco de adobe.

Quadro 5.4 - Variação de resultados do ensaio Pull-Off em função do procedimento de execução dos provetes em suporte de tijolo cerâmico

Bloco de adobe	Aderência [N/mm ²]		% variação devido ao tipo de corte	Aderência [N/mm ²]		% variação devido ao tipo de corte
	Aspersão de água			Aplicação de barbotina		
	Média	Desv. Pad.		Média	Desv. Pad.	
Corte Endurecido	0,11	0,01		0,13	0,01	
Corte a Fresco	0,13	0,01	20%	0,14	0,01	8%
Moldado	0,15	0,01	33%	0,15	0,01	18%

Em ambos os tipos de suporte, os provetes moldados (em moldes de PVC) foram os que obtiveram uma variação maior em relação ao corte endurecido, sendo que em suporte de tijolo cerâmico os valores obtidos são na ordem de 50% superiores em ambos os tratamentos de suporte. No entanto é de salientar que os provetes executados com corte a fresco apresentam menor desvio padrão face aos moldados, podendo indicar que os valores obtidos poderão ser mais consistentes.

5.1.5. Influência da HR de ensaio

A análise dos resultados obtidos permite afirmar que a humidade relativa afecta a aderência dos rebocos de terra, tendo-se registado valores de aderência inferiores aos registados em condições de temperatura e humidade relativa definidas pela norma. Apesar de ter uma influência negativa na aderência, verificou-se que a humidade relativa elevada não chega a comprometer a estabilidade do reboco. Com efeito verifica-se um decréscimo da aderência ao suporte devido ao aumento da humidade relativa, estando esta variação entre os 11% e 49%. De uma forma geral, a aderência ao suporte tendeu para valores na ordem dos 0,08 N/mm², não se registando nestas condições grandes variações decorrentes do método de execução do provete. A influência do tipo de suporte e do seu

tratamento também se esbateu. No que à aplicação da barbotina diz respeito, o facto de a argila que a constitui ser susceptível ao efeito da humidade poderá justificar esta ultima situação, sendo as variações nos valores da aderência associadas a estas variáveis demasiado pequenas para se considerarem expressivas. Seria interessante realizar um estudo em que se aplicasse uma calda por exemplo de cal, avaliando assim se, em condições de HR elevada, o efeito do tratamento do suporte seria mais expressivo.

Assim, conclui-se que que, relativamente ao ensaio Pull-Off, a humidade relativa elevada tem um efeito negativo, baixando o valor da aderência. Ainda assim os valores obtidos encontram-se acima do valor mínimo de 0.05 N/mm^2 estipulado pela norma DIN 18947 (DIN,2013),

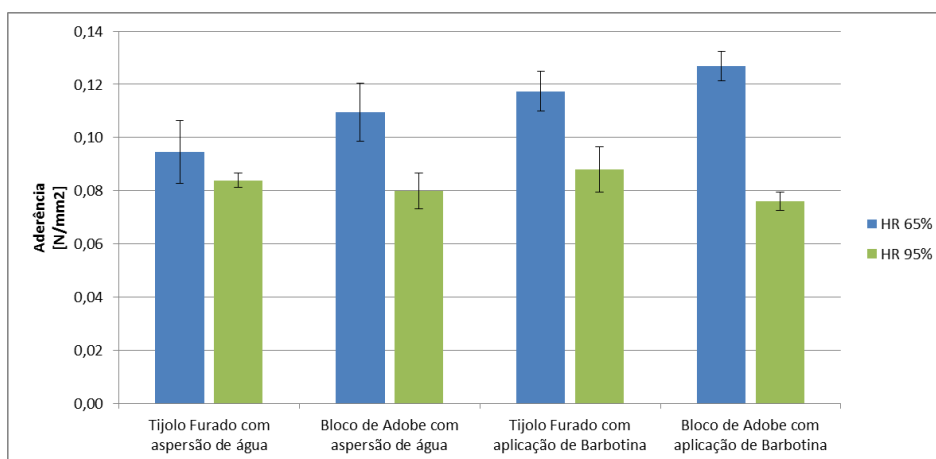


Figura 5.3 - Valores médios e desvio-padrão da aderência ao suporte do ensaio Pull-Off para provetes executados por corte endurecido

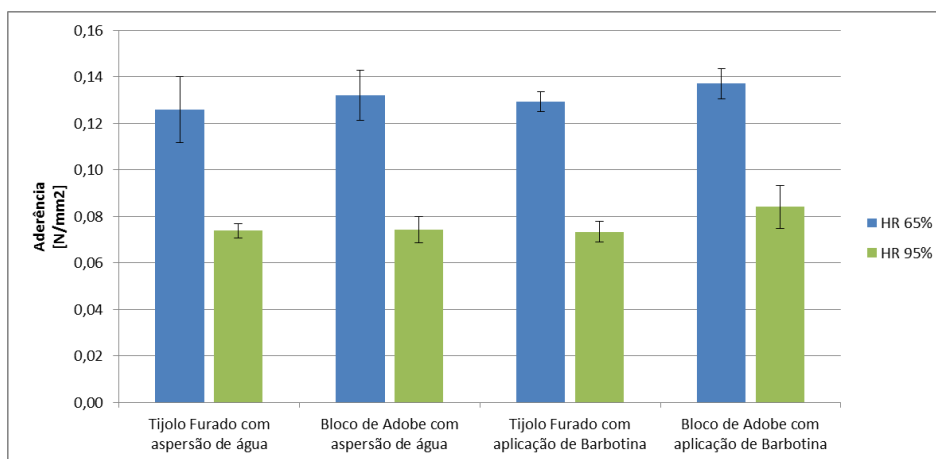


Figura 5.4 - Valores médios e desvio-padrão da aderência ao suporte do ensaio Pull-Off para provetes executados por corte a fresco

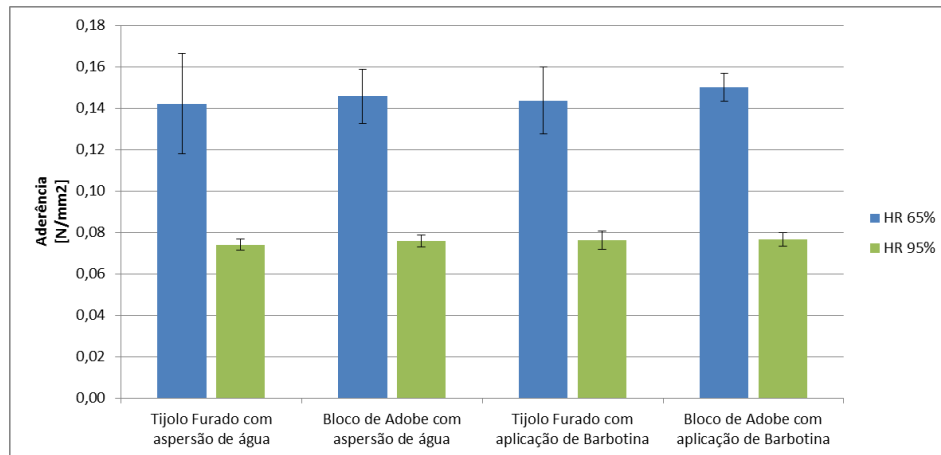


Figura 5.5 - Valores médios e desvio-padrão da aderência ao suporte do ensaio Pull-Off para provetes moldados

O Quadro 5.5 apresenta as variações de resultados obtidas para as duas HR em provetes em suporte de tijolo cerâmico.

Quadro 5.5 - Variação de resultados do ensaio Pull-Off em função da humidade relativa dos provetes em suporte de tijolo cerâmico

Tijolo cerâmico		Aderência [N/mm ²]		% Variação devido ao aumento de HR	Aderência [N/mm ²]		% Variação devido ao aumento de HR
		Aspersão de água			Aplicação de barbotina		
		Média	Desv. Pad.		Média	Desv. Pad.	
Corte endurecido	HR=65%	0,09	0,01		0,12	0,01	
	HR=95%	0,08	0	-11%	0,09	0,01	-25%
Corte a fresco	HR=65%	0,13	0,01		0,13	0,00	
	HR=95%	0,07	0,00	-41%	0,07	0,00	-43%
Moldado	HR=65%	0,14	0,02		0,14	0,02	
	HR=95%	0,07	0,00	-48%	0,08	0,00	-47%

O Quadro 5.6 apresenta as variações de resultados obtidas para as duas HR em provetes em suporte de bloco de adobe.

Quadro 5.6 - Variação de resultados do ensaio Pull-Off em função da humidade relativa dos provetes em suporte de bloco de adobe

Bloco de adobe	Aderência [N/mm ²]	% Variação devido ao aumento de HR			% Variação devido ao aumento de HR		
		Aspersão de água		Aplicação de barbotina	Aderência [N/mm ²]		Aplicação de barbotina
		Média	Desv. Pad.		Média	Desv. Pad.	
Corte endurecido	HR=65%	0,11	0,01		0,13	0,01	
	HR=95%	0,08	0,01	-27%	0,08	0,00	-40%
Corte a fresco	HR=65%	0,13	0,01		0,14	0,01	
	HR=95%	0,07	0,01	-44%	0,08	0,01	-39%
Moldado	HR=65%	0,15	0,01		0,15	0,01	
	HR=95%	0,08	0,00	-48%	0,08	0,00	-49%

5.1.6. Avaliação do tipo de roturas verificadas no ensaio

Esta avaliação visou perceber até que ponto pode o método de execução dos provetes influenciar o tipo de rotura obtida no ensaio. Foram analisadas as roturas dos 120 provetes ensaiados para o teste Pull-Off em condições de HR=65% e HR=95%. Os resultados apresentam-se no Quadro 5.7 e 5.8.

Quadro 5.7 – Ocorrência dos tipos de rotura definidos na norma EN 1015-12 (CEN, 2000) em condições de HR=65%

	Corte endurecido		Corte a fresco		Moldado		Global
	Nº. ocorr.	% de ocorr.	Nº. ocorr.	% de ocorr.	Nº. ocorr.	% de ocorr.	
Rotura adesiva no interface argamassa-suporte	9	45%	9	45%	13	65%	52%
Rotura coesiva do provete	11	55%	11	55%	7	35%	48%
Rotura coesiva do suporte	0	0%	0	0%	0	0%	0%

Observando os resultados obtidos em condições de HR=65%, pode afirmar-se que os provetes moldados obtiveram uma maior percentagem de roturas pela interface argamassa-suporte face aos restantes. No entanto entende-se que, para afirmar que este facto se deve ao método de execução do provete, necessitaríamos de analisar uma quantidade maior de provetes. Globalmente pode-se afirmar que a ocorrência da rotura coesiva pelo suporte não é comum, não tendo acontecido nesta bateria de ensaios, possivelmente devido ao facto de o corte ter sido executado manualmente,

não chegando a penetrar expressivamente no suporte. A ocorrência dos restantes mecanismo de rotura apresenta valores aproximados.

Quadro 5.8 - Ocorrência dos tipos de rotura definidos na norma EN 1015-12 (CEN, 2000) em condições de HR=95%

Rotura	Corte endurecido		Corte a fresco		Moldado		Global
	Nº. ocorr.	% de ocorr.	Nº. ocorr.	% de ocorr.	Nº. ocorr.	% de ocorr.	
Rotura adesiva na interface argamassa-suporte	13	65%	14	70%	20	100%	78%
Rotura coesiva do provete	7	35%	6	30%	0	0%	22%
Rotura coesiva do suporte	0	0%	0	0%	0	0%	0%

Os resultados obtidos em condições de HR=95% permitem verificar que comparativamente aos resultados obtidos para condições de HR=65%, a ocorrência de roturas pela interface argamassa-suporte foi superior, tendo os provetes moldados apresentado apenas roturas desse tipo. Pode assim afirmar-se que a HR elevada tem um impacto na aderência ao suporte superior ao impacto que tem na estabilidade interna da argamassa. Uma vez que as condições de humidade relativa de ensaio são diferentes, não se considera possível reforçar conclusões relativas à influência do tipo de corte no tipo de rotura obtida.

5.2. Aderência ao suporte - Corte

Durante a realização dos ensaios, e por observação dos provetes após a sua rotura, verificou-se que o mecanismo pelo qual esta ocorre, tal como no ensaio de Pull-Off, nem sempre é o mesmo. Por analogia com os mecanismos de rotura definidos na norma EN 1015-12 (CEN, 2000) para o ensaio Pull-Off e por observação dos provetes ensaiados, foi possível definir três tipos de rotura:

- Rotura coesiva da argamassa: o valor de resistência de aderência ao suporte é superior ao valor obtido.
- Rotura coesiva do suporte: o valor de resistência de aderência ao suporte é superior ao valor obtido.
- Rotura adesiva no interface argamassa-suporte: o valor de resistência de aderência ao suporte é igual ao valor obtido.

A Figura 5.6 esquematiza os mecanismos acima enumerados. Na Figura 5.7 é possível observar exemplos dos mecanismos obtidos no ensaio.

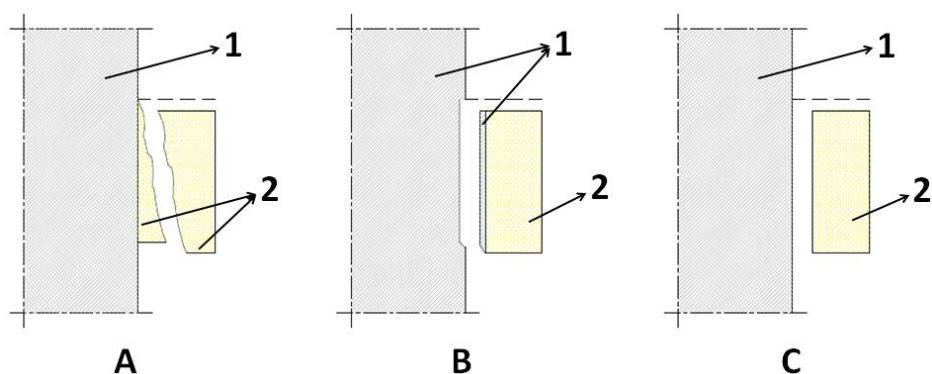


Figura 5.6 - Mecanismos de rotura do ensaio de corte

1 - suporte, 2 – provete de argamassa, A – rotura coesiva da argamassa, B – rotura coesiva do suporte, C – rotura adesiva no interface argamassa-suporte



Figura 5.7 – Mecanismos de rotura observados nos ensaios de corte

No ensaio conduzido, onde o dispositivo de ensaio é muito simples, de forma a poder também ser aplicado *in situ*, a correcta aplicação da carga no provete recai no rigor do corte ou moldagem do mesmo. Com efeito o dispositivo apoia-se na face horizontal superior, a qual deverá apresentar uma correcta planeza e horizontalidade. Caso o referido não se concretize, possíveis excentricidades na aplicação da carga poderão influenciar o tipo de rotura obtido, sendo que o mecanismo pretendido no ensaio será sempre o mecanismo do tipo C, uma vez que os mecanismos A e B não permitem aferir a verdadeira tensão de aderência, sabendo-se apenas que esta será maior do que a obtida.

5.2.1. Ensaio de referência

Para a discussão dos resultados obtidos neste ensaio, definiu-se como referência o ensaio realizado onde o provete foi executado por corte endurecido e o suporte aspergido com água, uma vez que são estas as condições de ensaio no trabalho realizado por Hamard et al.(2013) que serviu de base para o procedimento deste ensaio.

Os resultados obtidos no ensaio apresentaram valores médios de aderência iguais a 0,04 [N/mm²] para suporte de tijolo cerâmico e 0,05 [N/mm²] para suporte de bloco de adobe. Novamente a aderência ao suporte de adobe revelou-se superior ao suporte cerâmico, reforçando o que foi dito

anteriormente sobre a melhor compatibilidade das argamassas de reboco de terra com suportes também de terra.

Os valores de aderência obtidos no ensaio encontram-se num intervalo considerado como espectável quando comparados com os valores obtidos por Hamard et al. (2013), que variam entre 0,01 N/mm² a 0,06 N/mm², apesar de as terras utilizadas na formulação das argamassas serem de origem diferente da utilizada na presente dissertação.

5.2.2. Influência do tipo de material de suporte

Também neste ensaio se verificou uma melhor aderência da argamassa ao suporte de adobe, embora apenas nos provetes de corte endurecido (Figura 5.8). O facto de os provetes moldados contrariarem esta tendência (já verificada no ensaio Pull-Off para as mesmas condições de HR) pode dever-se ao facto da sua desmoldagem ter apresentado algumas dificuldades de realização; provavelmente acabou-se por aplicar tensões no provete, fragilizando-o antes de ser ensaiado. Assim, e devido ao constatado, rejeitam-se os resultados obtidos para os provetes moldados no que à análise da influência do suporte diz respeito.

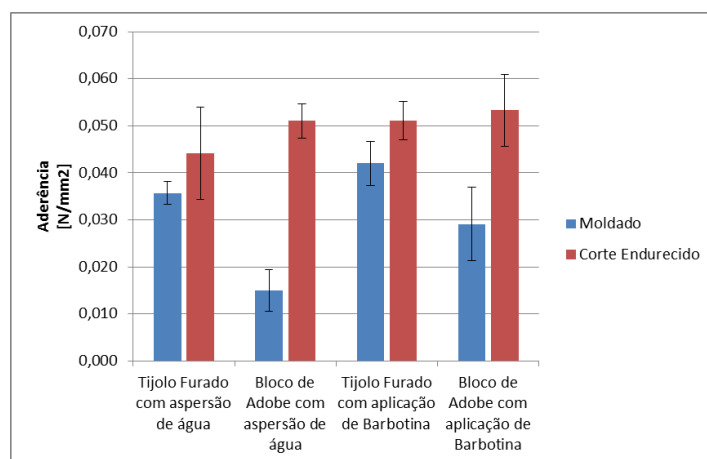


Figura 5.8 - Valores médios da aderência ao suporte do ensaio de corte em condições de HR=65%

5.2.3. Influência do tratamento do suporte

Os ensaios evidenciaram que, à semelhança do ensaio Pull-Off, também neste ensaio o tratamento do suporte influencia a aderência. Verifica-se também que a aplicação da barbotina se traduz num aumento da aderência.

O Quadro 5.9 apresenta as variações de resultados obtidas para os dois tratamentos de suporte estudados para os provetes em suporte de tijolo cerâmico.

Quadro 5.9 - Variação de resultados do ensaio de corte em função do tratamento do suporte em suporte de tijolo cerâmico

Tijolo cerâmico	Aderência [N/mm ²]			
	Corte Endurecido		Moldado	
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.
Aspersão de água	0,04	0,01	0,04	0,00
Aplicação de barbotina	0,05	0,00	0,04	0,00
% variação devido à preparação do suporte	15%		18%	

A variação da aderência apresentou valores aproximados em ambos os tipos de provete.

O Quadro 5.10 apresenta as variações de resultados obtidas para os dois tratamentos de suporte estudados para os provetes em suporte de bloco de adobe.

Quadro 5.10 - Variação de resultados do ensaio de corte em função do tratamento do suporte em suporte de bloco de adobe

Bloco de adobe	Aderência [N/mm ²]			
	Corte Endurecido		Moldado	
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.
Aspersão de água	0,05	0,00	0,01	0,00
Aplicação de barbotina	0,05	0,01	0,03	0,01
% variação devido à preparação do suporte	4%		95%	

A variação em suporte cerâmico para provetes moldados, comparativamente ao ensaio de referência, apresentou um valor de 15%, sendo que nos blocos de adobe para o mesmo tipo de provete esta é apenas de 4%. A variação de 95% observada para os provetes moldados acontece muito provavelmente devido ao facto destes terem sofrido tensões durante a desmoldagem (como referido na análise da influência do suporte), acreditando-se que caso esta não tivesse apresentado dificuldades, a variação seria menor e os valores de aderência seriam maiores.

5.2.4. Influência do procedimento de execução dos provetes

Contrariamente ao constatado no ensaio Pull-Off, os resultados obtidos neste ensaio evidenciaram que a moldagem dos provetes representa um decréscimo no valor da aderência obtido no ensaio.

O Quadro 5.11 apresenta as variações de resultados obtidas para os diferentes tipos de execução de amostras em provetes em suporte de tijolo cerâmico

Quadro 5.11 - Variação de resultados do ensaio de corte em função do procedimento de execução dos provetes em suporte de tijolo cerâmico

Tijolo cerâmico	Aspersão de água		% variação devido ao tipo de corte	Aplicação de barbotina		% variação devido ao tipo de corte
	Média	Desv. Pad.		Média	Desv. Pad.	
Corte Endurecido	0,04	0,01		0,05	0,00	
Moldado	0,04	0,00	-19%	0,04	0,00	-18%

A variação neste tipo de suporte foi semelhante para ambos os tratamentos aplicados.

O Quadro 5.12 apresenta as variações de resultados obtidas para os diferentes tipos de execução de amostras em provetes em suporte de bloco de adobe.

Quadro 5.12 - Variação de resultados do ensaio de corte em função do procedimento de execução dos provetes em suporte de bloco de adobe

Bloco de adobe	Aspersão de água		% variação devido ao tipo de corte	Aplicação de barbotina		% variação devido ao tipo de corte
	Média	Desv. Pad.		Média	Desv. Pad.	
Corte Endurecido	0,05	0,00		0,05	0,01	
Moldado	0,01	0,00	-71%	0,03	0,01	-45%

Para o suporte de adobe, a variação dos valores deste ensaio assumiu valores elevados.

As variações apresentadas neste ensaio, como referido anteriormente, são justificadas com o facto de os provetes moldados terem sofrido a aplicação de tensões aquando da desmoldagem, uma vez que seria de esperar que, tal como no ensaio de Pull-Off, a tendência fosse a de uma melhor aderência. Só se poderiam aceitar estes valores caso a desmoldagem dos provetes tivesse – como aconteceu nos provetes de PVC do ensaio Pull-Off – sido realizada sem dificuldades.

5.2.5. Influência da HR de ensaio

Esta avaliação foi feita apenas para provetes executados por corte endurecido, uma vez que não se dispunha de provetes moldados em condições para serem ensaiados (devido às dificuldades encontradas na desmoldagem, estes ficaram danificados).

A figura 5.9 apresenta graficamente os resultados obtidos para ambas as condições de humidade relativa.

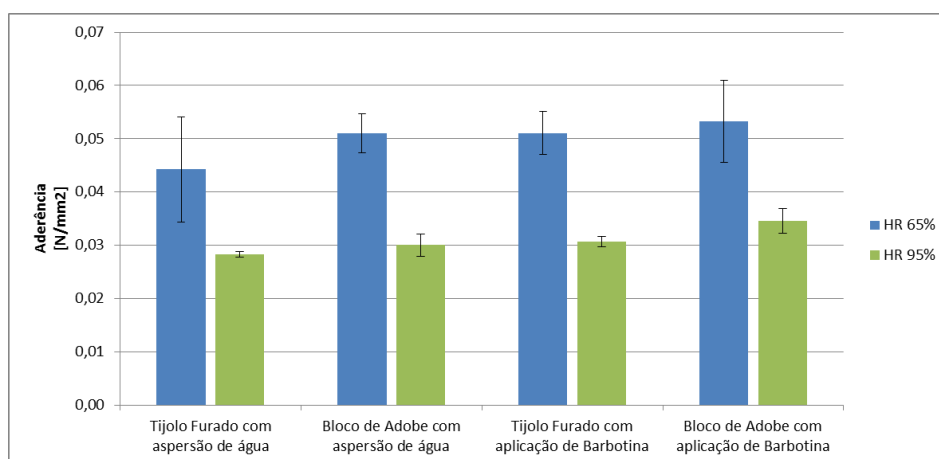


Figura 5.9 - Valores médios e desvio-padrão da aderência ao suporte por corte para provetes executados por corte endurecido

O Quadro 5.13 apresenta a variação de resultados resultante da variação da humidade relativa.

Quadro 5.13 - Variação de resultados do ensaio de aderência por corte em função da HR.

Corte endurecido		Aderência [N/mm ²]		% Variação devido ao aumento de HR	Aderência [N/mm ²]		% Variação devido ao aumento de HR
		Aspersão de água			Aplicação de barbotina		
		Média	Desv. Pad.		Média	Desv. Pad.	
Tijolo cerâmico	HR=65%	0,04	0,01		0,05	0,00	
	HR=95%	0,03	0,00	-36%	0,03	0,00	-40%
Bloco de adobe	HR=65%	0,05	0,00		0,05	0,01	
	HR=95%	0,03	0,00	-41%	0,03	0,00	-35%

Também neste ensaio se verificou uma diminuição nos resultados da aderência obtidos decorrente da elevada humidade relativa. Esta variação encontra-se entre os 35% e 41%. Os resultados obtidos nos ensaios tomaram valores na ordem dos 0,03 N/mm² e à semelhança do que se verificou no ensaio Pull-Off, também o efeito do tratamento do suporte se esbateu.

Ainda assim, apesar de diminuírem em condições de humidade relativa elevada, encontram-se dentro dos valores obtidos por Hamard et al. (2013). Pode assim considerar-se que, embora não existam valores mínimos normalizados para esta resistência, também a resistência por corte se mantém em valores aceitáveis nestas condições.

5.3. Análise global dos resultados

Norma DIN 18947 (DIN, 2013)

No que diz respeito aos requisitos da norma DIN 18947 (DIN, 2013), as características da argamassa no estado fresco e endurecido cumpriram os seus requisitos. No entanto não foi possível classificar a argamassa relativamente à sua classe de resistência, uma vez que esta depende de três parâmetros: resistência à tracção por flexão, resistência à compressão e aderência ao suporte; sendo classificada de acordo com o Quadro 5.14. A sua classificação não foi possível devido aos valores obtidos nas resistências de tracção por flexão e compressão ($0,24 \text{ N/mm}^2$ e $0,81 \text{ N/mm}^2$ respectivamente) não cumprirem os valores mínimos, nomeadamente de $0,3 \text{ N/mm}^2$ e $1,0 \text{ N/mm}^2$. Se fosse possível classificá-la apenas pelos valores de aderência (ensaio Pull-Off) esta seria classificada na categoria SI para o suporte de tijolo cerâmico ($0,09 \text{ N/mm}^2$) e SII para o bloco de adobe ($0,11 \text{ N/mm}^2$), com base nos valores obtidos nos ensaio definidos como referência.

Quadro 5.14 – Classes de resistência mecânica definidas pela norma DIN 18947 (DIN, 2013) e valores obtidos

Classe de Resistência	Resistência à compressão [N/mm^2]	Resistência à tracção por flexão [N/mm^2]	Aderência [N/mm^2]
SI	$\geq 1,0$	$\geq 0,3$	$\geq 0,05$
SII	$\geq 1,5$	$\geq 0,7$	$\geq 0,10$
Valores obtidos	Média: $0,81 \pm 0,22$	Média: $0,24 \pm 0,02$	$0,09 \geq$ Aderência $\geq 0,15$

Salienta-se no entanto o facto do valor de resistência á tracção estar muito perto do limite da classe SI o que, associado aos valores de aderência obtido, é muito positivo para aplicações como reboco.

Pull-Off

O ensaio de Pull-Off foi conduzido sem dificuldades maiores, em parte devido ao equipamento utilizado ser de fácil manuseamento e utilização em condições de laboratório. Chama-se a atenção que o aparelho utilizado não é um Pull-Off dos mais correntes mas sim um mais utilizado para baixas resistências e, logo, com boa sensibilidade para ensaio deste tipo de produtos. Refere-se ainda que, como mencionado por outros autores, o ensaio apresenta bastantes variáveis que podem influenciar os resultados, salientando-se entre elas a colagem das pastilhas, que se revela essencial não só pela própria colagem mas também devido à necessidade de garantir a planeza da pastilha, de forma à força nela aplicada aquando do ensaio ser perfeitamente perpendicular ao suporte e garantir apenas tensões de tracção no provete.

A influência do tipo de execução dos provetes neste ensaio revelou variações importantes, podendo indicar que o método de corte endurecido proposto pela norma EN 1015-12 (CEN, 2000) poderá não ser o mais apropriado. Nos resultados obtidos verificou-se que os provetes moldados apresentaram melhores resultados em valores de resistência, tendo o de corte a fresco (também

contemplado na norma EN 1015-12 (CEN, 200) sido o que apresentou menor desvio padrão, indiciando que pode ser o método mais fiável dos três analisados. Verificou-se assim que o método de execução de provetes sugerido nesta dissertação (moldado) para este ensaio bem como o corte a fresco funcionam em condições de laboratório. No entanto poderá ser questionável a sua utilização *in situ*. Considerando que pela análise dos resultados obtidos, o corte endurecido reduz nitidamente o resultado do ensaio, sugere-se que sempre que possível, o método execução de provetes a utilizar deverá ser o corte a fresco.

No que ao suporte e seu pré-tratamento diz respeito, verificou-se que este tipo de argamassa apresenta uma melhor compatibilidade com suportes da sua natureza. No entanto esta tendência não significa que os resultados obtidos no suporte de tijolo cerâmico – de uso corrente nos dias de hoje – sejam negativos, antes pelo contrário: Kazmierczak et al. (2007), no seu estudo da influência do chapisco na aderência de uma argamassa industrializada para revestimento externo (classificada segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005): II – Alta – c (1)), obteve valores de aderência ao suporte aos 28 dias de 0,19 N/mm² em suporte de bloco cerâmico sem aplicação de chapisco (condições de aplicação semelhantes às utilizadas no presente estudo), não estando este muito longe dos obtidos pela argamassa estudada (que variaram entre 0,09 e 0,14 N/mm² para o suporte cerâmico). A aplicação da barbotina no suporte revelou uma melhoria da aderência em ambos os tipos de suporte conforme esperado, confirmando os resultados positivos obtidos por Delinière et al. (2014).

Humidade Relativa

A influência de valores muito elevados de humidade relativa na aderência revelou-se negativa. No entanto, os valores em condições de HR=95% mantiveram-se em patamares aceitáveis. No ensaio Pull-Off obtiveram-se valores entre 0,07 e 0,09 N/mm² para o suporte cerâmico e 0,08 N/mm² para o suporte de adobe, valores superiores ao mínimo estipulado pela norma DIN 18947 (DIN, 2013) de 0,05 N/mm². No ensaio de aderência por corte obtiveram-se valores na ordem dos 0,03 N/mm² para ambos os suportes, considerando-se estes valores aceitáveis quando comparados com os valores obtidos por Hamard et al. (2013).

Ensaio de corte

A realização do ensaio de corte, bem como os resultados obtidos, consideram-se positivos, uma vez que se trata de um ensaio não normalizado, em que o único documento de apoio foi o estudo realizado por Hamard et al. (2013), ao qual foi necessário fazer adaptações à realidade do presente estudo.

Os resultados obtidos encontram-se dentro do esperado, tendo-se obtido valores de aderência para suporte de tijolo cerâmico de 0,04 N/mm² e 0,05 N/mm² para suporte de bloco de adobe (valores do resultado considerado como referência). Também neste ensaio a aplicação da barbotina no suporte correspondeu a valores de aderência superiores.

Considera-se que a análise da influência da moldagem dos provetes neste ensaio não corresponda à realidade devido à dificuldade sentida na sua desmoldagem, que poderá ter alterado o resultado final. O método de moldagem dos provetes neste ensaio necessita de ser repensado por

forma a se poder concluir se os resultados obtidos são correctos. Com base apenas na análise dos resultados obtidos, conclui-se que a moldagem dos provetes não é benéfica para a aderência.

Refere-se ainda que o ensaio em suporte de tijolo cerâmico foi realizado com os provetes a serem carregados na direcção longitudinal das irregularidades da superfície do tijolo, perdendo-se assim parte do seu contributo para a aderência.

Considera-se que a realização deste tipo de ensaio para a caracterização da aderência de argamassas de reboco de terra faz sentido, pois a sua execução revela-se mais simples face ao ensaio Pull-Off, permitindo que o ensaio se realize com igual facilidade em laboratório e *in situ*, tornando-se importante dar continuidade à sua utilização neste tipo de estudos.

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1. Conclusões finais

A presente dissertação teve início com uma breve contextualização da terra como material de construção, onde foram abordados os seus potenciais, benefícios e características de eco-eficiência. Posteriormente foi abordada a sua utilização como argamassa de reboco, onde foi exposta a influência dos seus constituintes nas suas características físicas, químicas e mecânicas. Abordou-se então o tema da aderência dos rebocos de terra, onde se expuseram os mecanismos físicos e químicos que a influenciam, tendo-se de seguida caracterizado os ensaios que a avaliam.

A campanha experimental realizada contribuiu para uma melhor compreensão dos factores que influenciam a aderência de uma argamassa de terra a um suporte, bem como para a melhoria dos métodos de ensaio desta característica mecânica. A avaliação das características da argamassa de terra baseou-se na norma alemã DIN 19847 (DIN, 2013) específica para argamassas de reboco de terra, bem como noutras normas europeias e ensaios estipulados por outros autores.

Finalizada a campanha experimental e analisados os resultados obtidos, considera-se que os objectivos propostos foram alcançados. Considera-se que os resultados de aderência são satisfatórios para ambos os ensaios de aderência realizados, considerando-se também que a avaliação das variáveis proposta foi atingida.

Os ensaios de aderência permitiram concluir que as argamassas de reboco de terra apresentam melhor aderência ao suporte de bloco de adobe relativamente ao tijolo cerâmico furado.

A aplicação da barbotina resultou numa melhor aderência em ambos os suportes analisados, confirmando os resultados obtidos por Delinière et al. (2014). Este aumento de aderência foi também evidenciado no ensaio de aderência ao corte.

No ensaio Pull-Off, os resultados de aderência obtidos variaram com o método de execução das amostras, tendo as amostras moldadas apresentado os valores mais altos, seguidas das executadas com corte a fresco e por último, com valores mais baixos, as com corte endurecido (as duas ultimas com métodos presentes na norma EN 1015-12 (CEN, 200)). Refere-se que dos três métodos utilizados na execução das amostras no ensaio Pull-Off, o corte a fresco foi o que apresentou menores valores de desvio padrão, evidenciando ser o método mais fiável; curiosamente é também o método de execução dos provetes mais simples.

Os ensaios Pull-Off realizados em condições de HR=90±5% evidenciaram um decréscimo da aderência; no entanto este decréscimo não compromete a estabilidade do reboco.

O ensaio de corte pelo método e dispositivo utilizados revelou-se um ensaio simples e expedito de avaliação da aderência, apresentando resultados válidos e concordantes com os obtidos por Hamard et al. (2013). O único aspecto negativo residiu nos resultados obtidos pela variação do método de execução dos provetes (provetes moldados), que não transmitiu confiança nos resultados obtidos devido a dificuldades no processo de desmoldagem, Assim considera-se que, para os validar, teriam de executar-se novos provetes com amostras moldadas que possibilitem uma desmoldagem

mais simples, por forma a não aplicar tensões no provete antes do ensaio. Por ser um ensaio recente, carece ainda de divulgação na comunidade científica.

Embora os resultados dos ensaios mecânicos de resistência à tracção e flexão não tenham permitido classificar mecanicamente a argamassa estudada de acordo com a norma DIN 18947 (DIN, 2013), os resultados individuais da aderência nos ensaios de referência inseri-la-iam na categoria SI para suporte cerâmico e na categoria SII para suporte de adobe.

Por fim conclui-se que o desempenho das argamassas de reboco de terra, quando correctamente formuladas e no que à aderência diz respeito, é satisfatório para aplicação como reboco interior, apresentando argumentos que justificam a sua utilização.

Considera-se importante a continuidade dos estudos sobre este tipo de argamassas, nomeadamente no que diz respeito à pesquisa de conhecimentos vernaculares que contribuam para melhores formulações e métodos de aplicação, continuando também o aperfeiçoamento dos métodos de ensaio da aderência ao suporte.

6.2. Desenvolvimentos futuros

Com o objectivo de dar continuidade ao estudo realizado na presente dissertação, propõem-se alguns estudos futuros, de forma a possibilitar a validação dos resultados obtidos, bem como aprofundar o conhecimento sobre a aderência das argamassas de reboco de terra, quais os factores que a influenciam e os ensaios que melhor a caracterizam:

- A realização de ensaios de aderência em condições de aplicação mais aproximadas às condições reais, nomeadamente em paredes por forma a estudar a influência das heterogeneidades da parede na aderência.
- O estudo da aderência das argamassas de terra em diferentes suportes, correntes e antigos, para além dos utilizados.
- A melhoria dos métodos de moldagem das amostras para o ensaio de corte.
- O estudo da aplicação de barbotina com diferentes concentrações bem como formulações com diferentes materiais (por exemplo cal).

BIBLIOGRAFIA

- ANTUNES, G. R., STOLZ, C. M., & MASUERO, A. B. (2012). *Análise da influência do equipamento utilizado no ensaio de resistência de aderência à tracção*. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS (CD-ROM).
- ANTUNES, G. R., STOLZ, C. M., & MASUERO, A. B. (2012). *Análise da influência do equipamento utilizado no ensaio de resistência de aderência à tracção*. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS.
- BARBOSA, H. (2008). *Ensaio de aderência das argamassas de revestimento*. Tese de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais.
- BARBOSA, H. (2008). *Ensaio de aderência das argamassas de revestimento*. Universidade Federal de Minas Gerais.
- CEN. (1998a). *EN 1015-1: 1998 - Methods of test for mortars for masonry. Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis)*. Brussels.
- CEN. (1998d). *EN 1015-6:1998 – Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar*. Brussels.
- CEN. (1999a). *EN 1015-3:1999 – Methods of test for mortar for masonry. Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. Brussels.
- CEN. (1999b). *EN 1015-11: 1999 – Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. Brussels.
- CEN. (2000). *EN 1015-12: 2000 - Methods of tests for mortar for masonry Part 12: determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substracts*. Brussels.
- CEN. (2006). *EN 1015-10/A1 Methods of test for mortar for masonry Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar*.
- CEN. (2013). *EN 16302 Conservation of cultural heritage - Test methods - Measurement os water absorption by pipe method*. Bussels: CEN.
- DARLIN, E., CROS, C., WARGOCKI, P., KOLARIK, J., MORRISON, G., & CORSI, R. (2012). Impacts of a clay plaster on air quality assessed using chemical and sensory measurements. *Building and Environment*, 57, p. 370-375.
- DELINIÈRE, R., AUBERT, J., ROJAT, F., & GASC-BARBIER, M. (2014). *Physical, mineralogical and mechanical characterization of ready-mixed clay plaster*. *Building and Environment*, 80, p. 11-17.
- DIAS, I. (2013). *Desenvolvimento e caracterização de argamassas de cal aérea e terra. A influência da terra como agregado parcial*. Dissertação de Mestrado, FCT-UNL.
- DIN. (2013). *DIN 18947 - Earth Plasters - Terms and definitions, requirements, test methods (em alemão)*. Berlin.
- FARIA, P. (2004). *Argamassas de revestimento para alvenarias antigas: Contributo para o estudo da influência dos ligantes*. Tese de Doutoramento, FCT UNL.

- FARIA, P., & SANTOS, T. (2014). *Hygrothermal behavior of earthen plasters for sustainable house construction*. Funchal: 40th IAHS world Congress on Housing - Sustainable Housing Construction (Cd-rom).
- FARIA, P., SANTOS, T., & SILVA, V. (2014). *Earth-based mortars for masonry plastering*. Guimarães: 9th International Masonry Conference 2014 (CD-rom).
- FARIA, P., TAVARES, M., MENEZES, M., VEIGA, R., & MARGALHA, G. (2010). *Traditional Portuguese techniques for application and maintenance of historic renders*. RILEM Proceedings Pro 078: HMC2010, 2nd Historic Mortars Conference and RILEM TC 203-RHM Final Workshop (J.Walek, C.Groot, J.Hughes, Ed.). Prague, p. 609-617.
- FERREIRA, M. (2012). *Análise das características mecânicas de amostras de argamassas pré-doseadas*. IST-UTL.
- FLORES-COLEN, I., de BRITO, J., & BRANCO, F. (2009). *In situ adherence evaluation of coating materials*. Society for Experimental Mechanics, p. 51-60.
- GALÁN-MARÍN, C., RIVERA-GÓMEZ, C., & PETRIC, J. (2010). Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre. *Construction and Building Materials*, 24, p. 1462-1468.
- GASPAR, P., FLORES-COLEN, I., & BRITO, J. (2007). *Técnicas de Diagnóstico e Classificação de Anomalias por Perda de*. Lisboa: APFAC, 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção (CD-rom).
- GOMES, M., GONÇALVES, T., & FARIA, P. (2012). *Earth-based repair mortars: experimental analysis with different binders and natural fibers*. Rammed Earth Conservation, Mileto, Vegas & Cristini (eds.), Taylor & Francis Group, London, p. 661-668.
- HAMARD, E., MOREL, J.-C., SALGADO, F., MARCOM, A., & MEUNIER, N. (2013). A procedure to assess the suitability of plaster to protect vernacular earthen architecture. *Journal of Cultural Heritage* 14, 109-115.
- HENRIQUES, F., & FARIA, P. (2008). *O papel da investigação no estudo das argamassas de substituição na conservação do património*. Revista Engenharia Civil – Universidade do Minho, 31; pp. 29-37.
- IPQ. (2000). *NP EN 1097-3:2000 – Ensaios para determinação das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 3: Método para determinação da massa volúmica e dos vazios*. Caparica.
- IPQ. (2006). *NP EN 14146:2006 – Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico (através da medição da frequência de ressonância fundamental)*. Caparica.
- KAZMIERCZAK, C. D., BREZEZINSKI, D., & COLLATTO, D. (2007). Influência das características da base na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa. *Estudos Tecnológicos*, Vol. 3, nº 1, p. 47-58.
- KRAUSMANN, F., GINGRICH, S., EISENMENGER, N., ERB, K.-H., HABERL, H., & FISCHER-KOWALSKI, M. (2009). Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics* 68, 2696-20705.

- LIMA, J. (2013). *O contributo das argamassas de barro para a qualidade do ambiente interior dos edifícios: o caso das argilas do sotavento algarvio*. Lisboa: Artigo apresentado no CIHEL (CD-rom).
- LIMA, J., & FARIA, P. (2014). *Earthen plasters: The potential of the clayey soils of barrocal in Algarve*. Funchal - Portugal: 40th IAHS World Congress on Housing - Sustainable Housing Construction (CD-rom).
- LNEC. (2002). *FE Pa 39, Ficha de ensaio para revestimentos de paredes – Ensaio de absorção de água sob baixa pressão*. Lisboa.
- LOPES, A. (2012). *Avaliação da variabilidade da técnica de ensaio Pull-Off na medição de aderência à tracção em revestimentos de ladrilhos cerâmicos e argamassas*. Dissertação de Mestrado, IST-UTL.
- MELIÀ, P., RUGGIERI, G., SABBADINI, S., & DOTELLI, G. (2013). *Environmental impacts of natural and conventional building materials: a case study on earth plasters*. *Journal of Cleaner Production*, 80, p.179-186.
- MINKE, G. (2006). *Building with Earth - Design and Technology of a Sustainable Architecture*. WITpress.
- PACHECO-TORGAL, F., & JALALI, S. (2011). Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials* 29, 512-519.
- PEREIRA, L. (2014). *Revestimento interno de argamassa em alvenaria com blocos cerâmicos: verificação da aderência com e sem o uso de chapisco*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- QUINTELA, M. (2006). *Durabilidade de revestimentos exteriores de paredes em reboco monocamada*. Tese de Mestrado, FEUP.
- RILEM. (1980). Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods. Water absorption under low pressure. Pipe method. Test n.ºII.4. Recommendations provisoires. *Materials & Structures*, 201-203.
- RÖHEN, U., & ZIEGERT, C. (2011). *Earth building practice, Bauwerk, Beuth Verlag GmbH*.
- SANTOS, T. (2014). *Argamassas de terra para rebocos interiores - Ensaios de caracterização e influência da formulação*. Dissertação de Mestrado, FCT-UNL.
- SANTOS, T., FARIA, P., & SILVA, V. (2014). *Caracterização de argamassa pré-doseada de terra*. Coimbra: Argamassas 2014 - Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento (CD-rom).
- SCARTEZINI, L. M., JUCÁ, T. R., LINHARES, H., TEIXEIRA, F., ANTONELLI, G., CASCUDO, O., & CARASEK, H. (2001). *Influência do preparo da base na aderência e na permeabilidade à água dos revestimentos de argamassa*. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.
- SILVA, C. (2011). *Avaliação de diferentes tratamentos de base aplicados sobre alvenaria de bloco cerâmico na aderência da argamassa: Estudo de caso*. Dissertação de Pós-Graduação, Universidade Federal do Pará.

- STOLZ, C. M., & MASUERO, A. B. (2012). *Influência da área real de contacto de argamassas de revestimento na resistência de aderência ao cisalhamento*. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS (CD-rom).
- TEIXEIRA, M. (2014). *Argamassas de reboco com terra: Avaliação da susceptibilidade à contaminação biológica*. Dissertação de Mestrado, FCT-UNL.
- TORRACA, G. (2009). *Mortars, Bricks and Concretes: Earth, Gypsum, Lime and Cements. Lectures on Materials Science for Architectural Conservation. Part 2*. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, p. 38-58.
- VIEIRA, A. (2009). *Caracterização de revestimentos exteriores através de ensaios de arrancamento por tracção*. Dissertação de Mestrado, FEUP.

ANEXO - RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS ENSAIOS DE ADERÊNCIA

Ensaio Pull-Off - Tijolo cerâmico HR=65%

Preparação do suporte	Tipo de Ensaio	Provete	Tensão $\varnothing 50\text{mm}$ [N/mm ²]	Tipo de rotura	\varnothing Provete [mm]		\varnothing Médio Provete [mm]	Tensão real [N/mm ²]	Tensão Aderência [N/mm ²]	Desvio Padrão
Aspersão de água	Corte Endurecido	1	0,07	Provete	45,7	45,55	45,63	0,08	0,09	0,01
		2	0,05	Suporte	47,22	46,53	46,88	0,06		
		3	0,08	Provete	46,7	46,58	46,64	0,09		
		4	0,10	Provete	46,46	45,72	46,09	0,12		
		5	0,10	Provete	45,37	45,15	45,26	0,12		
	Corte a Fresco	1	0,13	Suporte	50,79	51,47	51,13	0,12	0,13	0,01
		2	0,14	Provete	42,149	46,149	44,15	0,18		
		3	0,10	Suporte	50,24	51,6	50,92	0,10		
		4	0,09	Provete	41,52	45,52	43,52	0,12		
		5	0,08	Provete	43,62	41,65	42,64	0,11		
	Moldado	1	0,11	Suporte	46,7	46,79	46,75	0,13	0,14	0,02
		2	0,11	Suporte	46,94	46,74	46,84	0,13		
		3	0,16	Provete	42,38	40,37	41,38	0,23		
		4	0,12	Suporte	47,09	47,02	47,06	0,14		
		5	0,08	Suporte	47,06	47,42	47,24	0,09		

Preparação do suporte	Execução do provete	Provete	Tensão $\varnothing 50\text{mm}$ [N/mm ²]	Tipo de rotura	\varnothing Provete [mm]		\varnothing Médio Provete [mm]	Tensão real [N/mm ²]	Tensão Aderência [N/mm ²]	Desvio Padrão
Aplicação de barbotina	Corte Endurecido	1	0,12	Suporte	46,96	46,27	46,62	0,14	0,12	0,01
		2	0,11	Suporte	47,77	47,4	47,59	0,12		
		3	0,08	Provete	43,57	44,77	44,17	0,10		
		4	0,10	Provete	43,95	44,92	44,44	0,13		
		5	0,08	Provete	47,09	43,22	45,16	0,10		
	Corte a Fresco	1	0,13	Provete	49,58	50,34	49,96	0,13	0,13	0,00
		2	0,12	Provete	49,95	48,87	49,41	0,12		
		3	0,14	Suporte	49,07	49,56	49,32	0,14		
		4	0,12	Suporte	50,83	49,36	50,10	0,12		
		5	0,13	Provete	50,15	49,88	50,02	0,13		
	Moldado	1	0,10	Suporte	46,24	46,71	46,48	0,12	0,14	0,02
		2	0,12	Suporte	46,3	47,03	46,67	0,14		
		3	0,18	Provete	46,42	46,95	46,69	0,21		
		4	0,11	Suporte	47,13	47,24	47,19	0,12		
		5	0,12	Suporte	47,32	47,03	47,18	0,13		

Ensaio Pull-Off - Bloco de adobe HR=65%

Preparação do suporte	Execução do provete	Provete	Tensão $\phi 50\text{mm}$ [N/mm ²]	Tipo de rotura	ϕ Provete [mm]	ϕ Médio Provete [mm]	Tensão real [N/mm ²]	Tensão Aderência [N/mm ²]	Desvio Padrão	
Aspersão de água	Corte Endurecido	1	0,08	Suporte	47,83	46,91	47,37	0,09	0,11	0,01
		2	0,09	Suporte	46,4	46,47	46,44	0,10		
		3	0,13	Suporte	46,39	47,07	46,73	0,15		
		4	0,10	Suporte	46,83	46,23	46,53	0,12		
		5	0,08	Suporte	46,99	47,01	47,00	0,09		
	Corte a Fresco	1	0,11	Provete	43,12	44,18	43,65	0,14	0,13	0,01
		2	0,13	Suporte	51,01	50,81	50,91	0,13		
		3	0,13	Provete	49,83	48,32	49,08	0,13		
		4	0,10	Suporte	51,64	50,85	51,25	0,10		
		5	0,12	Provete	45,87	40,83	43,35	0,16		
	Moldado	1	0,13	Suporte	47,07	47,24	47,16	0,15	0,15	0,01
		2	0,17	Suporte	46,68	46,67	46,68	0,20		
		3	0,11	Suporte	46,96	46,7	46,83	0,13		
		4	0,12	Suporte	46,9	46,51	46,71	0,14		
		5	0,11	Suporte	46,72	47,45	47,09	0,12		

Preparação do suporte	Execução do provete	Provete	Tensão $\phi 50\text{mm}$ [N/mm ²]	Tipo de rotura	ϕ Provete [mm]	ϕ Médio Provete [mm]	Tensão real [N/mm ²]	Tensão Aderência [N/mm ²]	Desvio Padrão	
Aplicação de barbotina	Corte Endurecido	1	0,11	Provete	44,81	43,02	43,92	0,14	0,13	0,01
		2	0,11	Provete	46,61	46,34	46,48	0,13		
		3	0,09	Provete	43,3	45,14	44,22	0,12		
		4	0,10	Suporte	46,44	47,19	46,82	0,11		
		5	0,12	Provete	47,06	47,09	47,08	0,14		
	Corte a Fresco	1	0,13	Suporte	46,99	46,9	46,95	0,15	0,14	0,01
		2	0,14	Provete	48,96	49,58	49,27	0,14		
		3	0,13	Suporte	48,56	44,6	46,58	0,15		
		4	0,12	Suporte	48,14	48,54	48,34	0,13		
		5	0,11	Provete	49,58	48,1	48,84	0,12		
	Moldado	1	0,12	Provete	46,73	46,91	46,82	0,14	0,15	0,01
		2	0,13	Provete	47,03	46,32	46,68	0,15		
		3	0,12	Provete	46,57	46,69	46,63	0,14		
		4	0,15	Provete	46,56	46,16	46,36	0,17		
		5	0,13	Provete	46,78	45,98	46,38	0,15		

Ensaio Pull-Off - Tijolo cerâmico HR=95%

Preparação do suporte	Execução do provete	Provete	Tensão $\phi 50\text{mm}$ [N/mm ²]	Tipo de rotura	ϕ Provete [mm]	ϕ Médio Provete [mm]	Tensão real [N/mm ²]	Tensão Aderência [N/mm ²]	Desvio Padrão	
Aspersão de água	Corte Endurecido	1	0,08	Suporte	47,82	47,73	47,78	0,09	0,08	0,00
		2	0,08	Suporte	47,71	47,14	47,43	0,09		
		3	0,07	Provete	47,62	47,12	47,37	0,08		
		4	0,07	Suporte	47,73	47,67	47,70	0,08		
		5	0,08	Suporte	48,09	47,27	47,68	0,09		
	Corte a Fresco	1	0,07	Suporte	50,51	50,49	50,50	0,07	0,07	0,00
		2	0,06	Provete	48,01	48,04	48,03	0,07		
		3	0,08	Suporte	48,99	50,01	49,50	0,08		
		4	0,07	Provete	46,53	48,97	47,75	0,08		
		5	0,08	Suporte	50,92	51	50,96	0,08		
	Corte Moldado	1	0,07	Suporte	46,56	46,72	46,64	0,08	0,07	0,00
		2	0,06	Suporte	46,12	46,8	46,46	0,07		
		3	0,06	Suporte	46,54	46,73	46,64	0,07		
		4	0,07	Suporte	46,98	46,02	46,50	0,08		
		5	0,06	Suporte	46,24	46,32	46,28	0,07		

Preparação do suporte	Execução do provete	Provete	Tensão $\phi 50\text{mm}$ [N/mm ²]	Tipo de rotura	ϕ Provete [mm]	ϕ Médio Provete [mm]	Tensão real [N/mm ²]	Tensão Aderência [N/mm ²]	Desvio Padrão	
Aplicação de barbotina	Corte Endurecido	1	0,08	Suporte	48,75	47,32	48,04	0,09	0,09	0,01
		2	0,08	Provete	46,31	46,82	46,57	0,09		
		3	0,09	Suporte	47,13	47,53	47,33	0,10		
		4	0,09	Provete	45,9	47,01	46,46	0,10		
		5	0,05	Suporte	47,2	47,34	47,27	0,06		
	Corte a Fresco	1	0,08	Provete	47,3	48,57	47,94	0,09	0,07	0,00
		2	0,06	Suporte	48,29	50,26	49,28	0,06		
		3	0,07	Provete	45,87	47,86	46,87	0,08		
		4	0,07	Suporte	51,36	48,97	50,17	0,07		
		5	0,07	Suporte	50,87	50,3	50,59	0,07		
	Moldado	1	0,06	Suporte	46,21	46,03	46,12	0,07	0,08	0,00
		2	0,07	Suporte	46,03	46,19	46,11	0,08		
		3	0,06	Suporte	46,22	46,78	46,50	0,07		
		4	0,08	Suporte	47,01	46,74	46,88	0,09		
		5	0,06	Suporte	46,62	47,13	46,88	0,07		

Ensaio Pull-Off - Bloco de adobe HR=95%

Preparação do suporte	Execução do provete	Provete	Tensão $\phi 50\text{mm}$ [N/mm ²]	Tipo de rotura	ϕ Provete [mm]	ϕ Médio Provete [mm]	Tensão real [N/mm ²]	Tensão Aderência [N/mm ²]	Desvio Padrão	
Aspersão de água	Corte Endurecido	1	0,09	Suporte	46,8	47,51	47,16	0,10	0,08	0,01
		2	0,06	Suporte	47,15	47,11	47,13	0,07		
		3	0,06	Provete	48,6	47,12	47,86	0,07		
		4	0,07	Suporte	47,47	47,4	47,44	0,08		
		5	0,08	Suporte	47,61	47,91	47,76	0,09		
	Corte a Fresco	1	0,08	Suporte	49,43	49,29	49,36	0,08	0,07	0,01
		2	0,09	Suporte	49,17	50,39	49,78	0,09		
		3	0,06	Suporte	49,54	48,49	49,02	0,06		
		4	0,07	Suporte	48,17	49,41	48,79	0,07		
		5	0,06	Suporte	48,21	49,97	49,09	0,06		
Moldado	1	0,07	Suporte	46,18	46,68	46,43	0,08	0,08	0,00	
	2	0,07	Suporte	46,93	46,3	46,62	0,08			
	3	0,07	Suporte	46,55	46,76	46,66	0,08			
	4	0,06	Suporte	46,62	46,69	46,66	0,07			
	5	0,06	Suporte	46,9	47,11	47,01	0,07			

Preparação do suporte	Execução do provete	Provete	Tensão $\phi 50\text{mm}$ [N/mm ²]	Tipo de rotura	ϕ Provete [mm]	ϕ Médio Provete [mm]	Tensão real [N/mm ²]	Tensão Aderência [N/mm ²]	Desvio Padrão	
Aplicação de barbotina	Corte Endurecido	1	0,07	Suporte	48,49	48,88	48,69	0,07	0,08	0,00
		2	0,06	Suporte	47,87	46,6	47,24	0,07		
		3	0,07	Provete	48,12	46,96	47,54	0,08		
		4	0,07	Provete	48,86	48,3	48,58	0,07		
		5	0,08	Provete	47,7	47,68	47,69	0,09		
	Corte a Fresco	1	0,06	Suporte	50,56	51,01	50,79	0,06	0,08	0,01
		2	0,08	Provete	45,74	46,55	46,15	0,09		
		3	0,09	Provete	44,87	45,37	45,12	0,11		
		4	0,08	Provete	43,21	64,31	53,76	0,07		
		5	0,09	Suporte	50	50,86	50,43	0,09		
	Moldado	1	0,07	Suporte	46,83	46,32	46,58	0,08	0,08	0,00
		2	0,06	Suporte	47,04	46,93	46,99	0,07		
		3	0,07	Suporte	46,75	45,36	46,06	0,08		
		4	0,06	Suporte	46,81	46,04	46,43	0,07		
		5	0,07	Suporte	46,09	46,11	46,10	0,08		

Ensaio de aderência por corte - Tijolo cerâmico HR=65%

Preparação do suporte	Execução do provete	Prove te	A [mm]	B [mm]	Área [mm ²]	Fmáx [N]	Tensão [N/mm ²]	Tensão de aderência [N/mm ²]	Desvio Padrão
Aspersão de água	Corte endurecido	1	42,23	53,68	2266,91	19,62	0,01	0,04	0,01
		2	42,91	54,58	2341,54	95,65	0,04		
		3	35,53	54,49	1935,85	110,36	0,06		
		4	46,25	54,25	2509,06	122,63	0,05		
		5	42,67	54,20	2312,71	152,06	0,07		
	Moldado	1	39,46	51,23	2021,28	53,96	0,03	0,04	0,00
		2	39,53	51,39	2031,45	71,12	0,04		
		3	38,54	50,96	1963,55	73,58	0,04		
		4	38,61	51,70	1996,14	80,93	0,04		
		5	42,15	51,30	2162,04	83,39	0,04		
Aplicação de barbotina	Corte endurecido	1	43,52	56,30	2449,89	107,91	0,04	0,05	0,00
		2	41,36	56,12	2321,12	125,08	0,05		
		3	44,25	54,79	2424,46	134,89	0,06		
		4	46,14	56,29	2596,94	103,01	0,04		
		5	42,28	55,16	2332,16	144,70	0,06		
	Moldado	1	35,86	51,90	1860,87	56,41	0,03	0,04	0,00
		2	36,48	51,35	1872,99	71,12	0,04		
		3	35,92	52,15	1873,05	90,74	0,05		
		4	40,64	49,22	2000,10	110,36	0,06		
		5	34,85	50,03	1743,12	66,22	0,04		

Ensaio de aderência por corte - Bloco de adobe HR=65%

Preparação do suporte	Execução do provete	Prove te	A [mm]	B [mm]	Área [mm ²]	Fmáx [N]	Tensão [N/mm ²]	Tensão de aderência [N/mm ²]	Desvio Padrão
Aspersão de água	Corte endurecido	1	46,77	54,20	2534,66	147,15	0,06	0,05	0,00
		2	43,13	56,35	2430,38	125,08	0,05		
		3	45,26	51,19	2316,63	90,74	0,04		
		4	40,28	56,23	2264,46	107,91	0,05		
		5	43,01	57,27	2463,18	144,70	0,06		
	Moldado	1	39,90	50,64	2020,54	4,91	0,00	0,01	0,00
		2	39,67	51,33	2036,26	12,26	0,01		
		3	39,91	51,91	2071,27	44,15	0,02		
		4	39,53	51,32	2028,48	46,60	0,02		
		5	38,68	51,90	2007,04	44,15	0,02		
Aplicação de barbotina	Corte endurecido	1	48,33	58,13	2809,13	142,25	0,05	0,05	0,01
		2	47,99	58,20	2792,73	169,22	0,06		
		3	44,53	57,19	2546,45	142,25	0,06		
		4	43,31	55,73	2413,67	63,77	0,03		
		5	45,13	56,67	2557,01	186,39	0,07		
	Moldado	1	38,71	51,71	2001,44	34,34	0,02	0,03	0,01
		2	39,37	51,58	2030,70	112,82	0,06		
		3	36,52	51,60	1883,99	29,43	0,02		
		4	38,31	51,60	1976,80	36,79	0,02		
		5	40,40	52,04	2102,42	80,93	0,04		

Ensaio de aderência por corte - Tijolo cerâmico HR=95%

Preparação do suporte	Execução do provete	Prove te	A [mm]	B [mm]	Área [mm ²]	F _{máx} [N]	Tensão [N/mm ²]	Tensão de aderência [N/mm ²]	Desvio Padrão
Aspersão de água	Corte endurecido	1	49,47	36,89	1824,70	49,05	0,03	0,03	0,00
		2	50,57	39,69	2006,67	56,41	0,03		
		3	49,80	37,37	1860,84	51,50	0,03		
		4	51,18	43,45	2223,77	63,77	0,03		
		5	52,41	39,00	2043,99	61,31	0,03		
Aplicação de barbotina	Corte endurecido	1	56,28	40,00	2251,20	71,12	0,03	0,03	0,00
		2	55,51	35,61	1976,43	58,86	0,03		
		3	57,15	40,59	2319,23	78,48	0,03		
		4	56,89	39,96	2273,12	63,77	0,03		
		5	58,08	39,62	2300,64	68,67	0,03		

Bloco de adobe HR=95%

Preparação do suporte	Execução do provete	Prove te	A [mm]	B [mm]	Área [mm ²]	F _{máx} [N]	Tensão [N/mm ²]	Tensão de aderência [N/mm ²]	Desvio Padrão
Aspersão de água	Corte endurecido	1	54,86	59,72	3275,94	88,29	0,03	0,03	0,00
		2	55,72	41,61	2318,51	78,48	0,03		
		3	55,93	43,64	2440,29	61,31	0,03		
		4	55,49	40,64	2254,84	80,93	0,04		
		5	55,12	43,88	2418,39	68,67	0,03		
Aplicação de barbotina	Corte endurecido	1	54,76	42,89	2348,66	63,77	0,03	0,03	0,00
		2	55,27	41,50	2293,43	83,39	0,04		
		3	55,40	42,17	2335,73	93,20	0,04		
		4	55,50	43,74	2427,07	76,03	0,03		
		5	55,83	49,90	2785,67	105,46	0,04		