



**FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

# Influência do suporte nas características da argamassa

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Construções

Autor

**Tomás Machado Santos Reis Pinto**

Orientador

**Professora Doutora Maria Isabel Morais Torres**

**Professor Doutor José António Raimundo Mendes da Silva**

Colaboração Institucional



Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

**Coimbra, Janeiro, 2014**

## AGRADECIMENTOS

À Professora Doutora Isabel Torres pela orientação, apoio e disponibilidade assim como pelos conhecimentos transmitidos ao longo deste estudo.

Ao Professor Doutor José António Raimundo Mendes da Silva por se ter mostrado disponível para acompanhar o desenvolvimento do trabalho.

Ao Itecons, pela disponibilização das instalações para a realização dos ensaios laboratoriais.

A todo o corpo técnico do Itecons pela ajuda, disponibilidade e esclarecimento de dúvidas em relação aos vários ensaios, especialmente, à Sofia, ao Edney, ao Luís e aos restantes que se mostraram sempre disponíveis para ajudar.

À minha amiga Melissa Gama, por me ter ajudado bastante na resolução de alguns problemas que foram surgindo.

Ao meu amigo João Balsa, pelos vários esclarecimentos que foi dando na realização da dissertação.

Ao meu grande amigo João Catarro, por me ter dado uma enorme ajuda na correção de toda a dissertação.

À minha grande amiga Mariana Neto, por me ter acompanhado ao longo de mais esta jornada.

À minha família pelo apoio incondicional que deram em todos os momentos.

Aos restantes amigos, que de uma forma ou de outra contribuíram para a pessoa em que me tornei hoje.

A todos, o meu mais sincero e profundo Obrigado!

## RESUMO

Os revestimentos exteriores são a primeira linha de defesa dos edifícios contra as ações externas, como o vento, a chuva e as variações de temperatura. Por estes motivos, é fundamental a garantia de um comportamento adequado face às solicitações, assim como uma funcionalidade estética agradável e duradoura. Os revestimentos mais utilizados no nosso país continuam a ser os rebocos de argamassas, podendo ser à base de cal ou de cimento, tradicionais, in-situ ou ainda pré-doseadas.

As características das argamassas são, geralmente, determinadas através de provetes realizados em laboratório, com condições ambientais específicas regulamentadas pelas respetivas normas. No entanto, o comportamento não será o mesmo para argamassas aplicadas em moldes laboratoriais e para suportes reais. Como tal, é importante perceber se o seu comportamento será influenciado pelas características do suporte e da interface entre os vários materiais de construção.

Devido à falta de informação que caracteriza estes produtos, o presente trabalho teve como objetivo analisar alguns dos fatores que podem influenciar as características das argamassas após a sua aplicação no suporte.

Desta forma pretendeu-se analisar a influência do tipo de suporte e das condições de cura nas características finais de diferentes tipos de argamassas, nomeadamente, argamassas de cimento e monomassas.

Este trabalho é financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competitividade – COMPETE e por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do Projeto “EXPL/ECM-COM/0928/2012

## **ABSTRACT**

The exterior coatings are the first line of defense against the buildings external aggressors, such as wind, rain and temperature variations. For these reasons, it is essential to guarantee a proper durability, as well as a pleasant and lasting visual functionality. The most commonly used coating in our country remains being the plaster mortars, which may be mainly composed by lime or cement, traditional, in-situ or pre - dosed.

The performance of mortars are usually determined by conducting laboratory tests under controlled environmental conditions, which are dictated by specific norms. However, the material behavior is not the same for both the mortars applied on laboratory and the mortars applied on actual mold supports. As such, it is important to realize if the features of the substrate and the interface between the different building materials will influence its behavior.

Due to the lack of information that characterizes these products, this study aimed to analyze some of the factors that may influence the performance of mortars after being applied on the support.

Therefore, the following study focused on the influence of the type of surface and curing conditions on the final performance of different types of mortars, namely cement mortars and one-coat mortars

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	ii
ABSTRACT .....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	6
ÍNDICE DE QUADROS .....	7
1 INTRODUÇÃO.....	8
1.1 Enquadramento Geral .....	8
1.2 Interesse e Objetivos do Trabalho .....	8
1.3 Organização da Dissertação .....	9
2 ESTADO DA ARTE .....	10
2.1 Introdução .....	10
2.2 Argamassas Utilizadas .....	11
2.2.1 Argamassa de Cimento .....	11
2.2.2 Monomassa.....	13
2.3 Aderência .....	14
2.3.1 Mecanismos de Aderência.....	14
2.3.2 Influência dos Materiais Constituintes na Aderência da Argamassa ao Suporte	16
2.3.3 Influência das Propriedades das Argamassas na Aderência .....	17
2.3.4 Influência da Preparação e Aplicação .....	19
2.3.5 Influência das Condições Ambientais de Cura.....	20
3 ANÁLISE EXPERIMENTAL .....	22
3.1 Descrição dos Procedimentos Experimentais .....	22
3.1.1 Caracterização da Matéria-Prima .....	22
3.1.2 Preparação das Argamassas.....	24
3.1.3 Preparação dos Provetes .....	24
3.2 Ensaios sobre Argamassas Endurecidas .....	26
3.2.1 Permeabilidade ao Vapor de Água .....	26
3.2.2 Porosidade Aberta .....	31
3.2.3 Absorção de Água por Capilaridade.....	34
3.2.4 Secagem.....	39
3.2.5 Permeabilidade à Água Líquida .....	42
3.2.6 Aderência ( <i>Pull-Off</i> ) .....	45

---

3.2.7	Resistência à Compressão .....	48
3.3	Análise Comparativa dos Resultados .....	50
4	CONCLUSÕES .....	57
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Curva granulométrica do agregado utilizado .....	23
Figura 3.2: Moldagem dos provetes .....	25
Figura 3.3: Câmara Climática.....	25
Figura 3.4: Provetes circulares impermeabilizados lateralmente com borracha líquida .....	26
Figura 3.5: Conjunto tina/provete na câmara climática.....	27
Figura 3.6: Permeabilidade ao vapor de água e espessura da camada de ar equivalente .....	31
Figura 3.7: Balança de precisão.....	32
Figura 3.8: Balança hidrostática .....	32
Figura 3.9: Porosidade aberta e massa volúmica aos 28 dias.....	33
Figura 3.10: Parte dos provetes já impermeabilizados lateralmente .....	34
Figura 3.11: Provetes condicionados.....	35
Figura 3.12: Curvas de absorção por capilaridade das primeiras 3h do ensaio.....	38
Figura 3.13: Curvas de absorção de água por capilaridade aos 28 dias .....	39
Figura 3.14: Curva de secagem aos 28 dias.....	41
Figura 3.15: Ensaio aos 5 minutos e aos 10 minutos.....	43
Figura 3.16: Coeficiente de absorção para o ensaio de permeabilidade sob baixa pressão ....	44
Figura 3.17: Evolução da absorção de água sob baixa pressão .....	45
Figura 3.18: Pormenor do corte do suporte para a colagem das pastilhas metálicas .....	46
Figura 3.19: Equipamento utilizado para o ensaio “Pull-off”.....	46
Figura 3.20: a) Rotura por coesão do suporte b) Rotura adesiva .....	46
Figura 3.21: Resistência adesiva ( $f_u$ ) .....	48
Figura 3.22: Equipamento utilizado para o ensaio de resistência à compressão.....	49
Figura 3.23: Resultados do ensaio de compressão .....	50
Figura 3.24: Comparação entre porosidade e resistência à compressão.....	51
Figura 3.25: Comparação entre resistência à compressão e resistência adesiva .....	52
Figura 3.26: Porosidade aberta e absorção por capilaridade .....	53
Figura 3.27: Porosidade aberta e permeabilidade ao vapor de água .....	54
Figura 3.28: Porosidade aberta e índice de secagem.....	55
Figura 3.29: Absorção de água por capilaridade, permeabilidade à água líquida e porosidade aberta.....	56

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1: Baridade da areia utilizada .....	24
Quadro 3.2: Composição das argamassas utilizadas .....	24
Quadro 3.3: Permeabilidade ao vapor de água, fatores de resistência ao vapor de água, espessuras de camada de ar equivalente e respectivos desvios padrão .....	30
Quadro 3.4: Coeficiente de capilaridade e valor assintótico aos 28 dias .....	37
Quadro 3.5: Índice de Secagem .....	41
Quadro 3.6: Resultados do ensaio <i>pull-off</i> . .....	47



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento Geral

Os revestimentos de argamassa continuam a ser os mais utilizados no nosso país, como tal é importante compreender a influência que determinados fatores têm no desempenho da sua função, como protetor dos suportes, de modo a torná-los mais resistentes, utilizando menos recursos.

Os revestimentos servem para proteger as paredes das ações destrutivas provocadas por fatores climáticos e também para conferir uma aparência regular e visualmente confortável.

Existem diversos tipos de revestimentos, mas todos mostram grande importância na durabilidade dos edifícios, sendo este o elemento mais exposto a ações destrutivas é também, o que mais rapidamente se degrada. Assim, é fundamental uma boa execução. Estes têm também um forte impacto no aspeto final das construções, como tal, é importante uma boa escolha entre materiais compatíveis, para que situações de incompatibilidade entre argamassa e suporte não existam. Este é um erro muito comum e que acelera a degradação já existente.

O presente trabalho tem por base a utilização de argamassas de cimento e monomassa, em suportes de tijolo cerâmico e placas de betão. Sendo a aderência do reboco ao suporte um fenómeno, principalmente mecânico, o estudo das características da argamassa em diferentes condições de suporte e cura, com métodos de aplicação desiguais, resultará em comportamentos distintos.

## 1.2 Interesse e Objetivos do Trabalho

O interesse do trabalho prende-se com a importância crescente que o reboco tem, tanto em novas construções como em reabilitações. A construção tem evoluído para uma industrialização e mecanização cada vez maior, no sentido de dar resposta a vários fatores, como: aumento do custo de mão-de-obra, necessidade de cumprir prazos de execução cada vez mais curtos, eficiência construtiva e energética.

Todas estas necessidades conduziram ao aparecimento e desenvolvimento de novos produtos, com melhores características mecânicas, estéticas e térmicas.

O objetivo do trabalho é realizar a caracterização laboratorial de argamassas aplicadas em diferentes suportes e sujeitas a diferentes condições de cura. As argamassas usadas no trabalho são de cimento e monomassa, em dois suportes distintos – betão e tijolo cerâmico – variando as condições de cura. As argamassas aplicadas foram analisadas aos 28 dias.

### **1.3 Organização da Dissertação**

A dissertação está organizada em 5 capítulos.

O primeiro capítulo comporta uma breve apresentação do tema abordado, assim como os objetivos propostos para este trabalho.

O segundo capítulo reúne alguma da documentação que serviu de base para a compreensão dos fatores e parâmetros ensaiados, como para o enquadramento geral do trabalho realizado.

No terceiro capítulo é descrito todo o processo experimental que foi realizado, os resultados obtidos e a respetiva análise crítica.

Para finalizar, o quarto capítulo com as conclusões e o quinto com as referências bibliográficas

## 2 ESTADO DA ARTE

### 2.1 Introdução

A qualidade dos revestimentos influencia as condições de habitabilidade dos locais onde vivemos e trabalhamos, sendo por isso, fundamental uma escolha adequada da solução a utilizar. Os revestimentos devem ser definidos com o mesmo grau de importância que os restantes elementos quer na sua constituição, quer na sua forma e métodos de aplicação. Em termos funcionais, estes contribuem de forma bastante importante para a estabilidade, sustentabilidade, segurança, higiene, impermeabilização e isolamento do ruído.

Em Portugal, as fachadas são, geralmente, constituídas por tijolo, blocos de betão ou blocos de argila expandida, complementados com um revestimento adequado. Este revestimento é, na maior parte das vezes, constituído por um reboco à base de cimento ou monomassa, nos edifícios novos, e à base de cal nos edifícios antigos, sendo a sua função a de complementar os elementos de suporte nas suas funções de isolante térmico e acústico dos elementos de alvenaria, garantido também um bom efeito no que à estética diz respeito.

As argamassas de revestimento são constituídas por ligante, agregados e água, podendo ou não conter aditivos. O ligante é o elemento aglomerante entre todos os outros constituintes e aquele que desenvolve características próprias que garantem a sua durabilidade ao longo do tempo. Estes podem ser aéreos ou hidráulicos, sendo que os primeiros apenas endurecem ao ar, enquanto os segundos adquirem resistências elevadas debaixo de água. Designam-se hidráulicos devido ao fato de endurecerem, não apenas quando a água é adicionada ao ligante seco, mas por se verificar o mesmo comportamento quando colocados debaixo de água (Sabbioni et al., 2002). Os ligantes podem ser utilizados individualmente ou combinados, dependendo da sua compatibilidade e do interesse em aproveitar as propriedades de cada constituinte.

Assim, no presente capítulo pretende-se efetuar uma compilação dos vários estudos realizados, iniciando-se com uma breve descrição das argamassas utilizadas no trabalho, seguido de uma exposição dos fatores que influenciam a compatibilidade entre suporte e argamassa.

## 2.2 Argamassas Utilizadas

Decidiu-se utilizar a argamassa de cimento e a monomassa por serem as opções mais utilizadas em construções novas e também a cal por ser uma opção muitas vezes usada em reabilitação de edifícios antigos. Porém, após alguns problemas que surgiram no manuseamento dos provetes de cal, optou-se por utilizar apenas a argamassa de cimento e a monomassa. Como tal, é feita uma pequena descrição de ambos nos pontos seguintes.

### 2.2.1 Argamassa de Cimento

A argamassa de cimento é a solução mais utilizada na construção, para revestimento de paredes do nosso país. É constituída por ligante, agregado e água em proporções definidas.

São aplicadas em várias camadas, iniciando com a camada de chapisco, para promover a aderência, seguida de outra camada menos fluída do que a anterior, de enchimento e regularização e terminando com a camada de acabamento.

O aglomerante desta mistura é o cimento Portland, sendo também o responsável pelas características adesivas e impermeáveis das argamassas de cimento, pelo que o seu processo de fabrico será descrito de seguida.

O cimento Portland é obtido através de uma mistura equilibrada de calcário (carbonato de cálcio), margas, contendo argila e, eventualmente algumas substâncias ricas em sílica, alumina ou ferro, que constituem o “cru”. As matérias-primas, após serem moídas e serem sujeitas a controlos de finura da composição química, são submetidas à ação de temperaturas bastante elevadas, na ordem dos 1450°C, em grandes fornos rotativos, sendo a homogeneização e dispersão realizada, hoje em dia, por via seca. (Faria, 2004)

Os óxidos são obtidos através da descarbonatação a uma temperatura de 900°C. Quando submetidas a estas temperaturas, as matérias-primas reagem entre si, fundindo-se e originando novos compostos, com ajuda da fase líquida obtida pela fusão. O clínquer resulta do produto destas reações químicas e físicas que, associadas a um rápido arrefecimento, dão origem à aglomeração dos referidos compostos em pedaços com dimensões variadas, entre 2 e 20 mm.

A mistura das matérias-primas é doseada, controlada e corrigida, de modo a que, quando esta perde a água e o dióxido de carbono pela ação da temperatura a que é sujeita no forno, tenha uma composição maioritariamente constituída por CaO e SiO<sub>2</sub> (77 a 93%), sendo o restante constituído por Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO e K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O.

Segundo Faria (2004), para uma correta formação do cimento e combinação de todos os intervenientes nas reações à temperatura mais elevada (temperatura de clínquerização), a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e o óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) funcionam como fundentes, pois interferem com outros compostos.

O controlo do teor em cal livre (óxido de cal não combinado, que é indicador de deficiente cozedura ou dosagem não otimizada de matérias-primas), da massa volúmica (para aferição da temperatura de cozedura) e da composição química, é feito através de análises químicas, físicas e de macroscopia ao clínquer.

O clínquer é constituído pelos seguintes quatro minerais artificiais principais: os silicatos bi ( $\text{C}_2\text{S}$ ) e tricálcicos ( $\text{C}_3\text{S}$ ), o aluminato tricálcico ( $\text{C}_3\text{A}$ ) e o ferro-aluminato tetracálcico ( $\text{C}_4\text{AF}$ ). O silicato tricálcico confere maiores resistências iniciais e forma-se a temperaturas próximas dos  $1450^\circ\text{C}$ . No que diz respeito ao silicato bicálcico, importa referir que era frequentemente utilizado como constituinte base dos cimentos antigos formando-se entre os  $900^\circ\text{C}$  e os  $1200^\circ\text{C}$  ou por arrefecimento lento do silicato tricálcico. Apresenta resistências iniciais relativamente baixas, mas que aumentam a partir dos 28 dias, e confere boa resistência química à mistura. Os aluminatos funcionam como veiculador no desenvolvimento da cozedura, constituindo uma fase intermédia entre os silicatos e promovendo a sua formação. Para além de ser o maior responsável pela libertação de calor na hidratação do betão, o aluminato tricálcico é também o mais sensível quimicamente. Como é responsável pela cor cinzenta do cimento Portland temos o elemento ferro, embora a sua presença em demasia conduza a uma maior formação de  $\text{C}_4\text{AF}$  em detrimento de  $\text{C}_3\text{A}$ . (Faria, 2004)

Para a obtenção de cimento, é adicionado gesso ao clínquer moído, funcionando como retardador de presa. Devem ainda ser referidas outras adições como, calcário moído, correntemente designado por filler calcário, escórias de alto-forno ou cinzas volantes. A percentagem de gesso adicionada é aferida ao longo da produção, rondando habitualmente os 5%. O filler calcário é utilizado para obtenção de cimento Portland tipo CEM II, como material de enchimento, substituindo uma percentagem do clínquer. As escórias são um produto resultante do alto-forno, arrefecido muito bruscamente, que reage formando compostos do tipo  $\text{C}_2\text{S}$  do clínquer, com diminuição do calor de hidratação e aumento da resistência química. As cinzas volantes ou outros tipos de pozolanas são utilizadas com benefícios na produção de cimento do tipo CEM IV (“pozolânico”). Ao reagir com o hidróxido de cálcio libertado pelo cimento, hidratam a mistura, formando fundamentalmente silicato bicálcico. Assim, as resistências iniciais do cimento resultante vão aumentando com a hidratação lenta das pozolanas e as resistências químicas vão incrementando à medida que o calor de hidratação vai reduzindo.

---

O aluminato tricálcico forma a etringite, quando existe presença de água e sulfatos, o que pode conduzir à desagregação da argamassa. Por outro lado, quando combinada com o aluminato tricálcico, pode originar uma camada insolúvel sobre os grãos do material, o que retarda a hidratação. Os sulfatos têm também uma influência destrutiva, por desagregação do material, quando se produz traumasite, por ação dos silicatos de cálcio. (Faria,2004)

### 2.2.2 Monomassa

Os rebocos e os revestimentos monocamada são usualmente designados por monomassas. São argamassas pré-doseadas, compostas por ligantes e cargas minerais devidamente selecionadas, enriquecidas com aditivos/adjuvantes (retentores de água, introdutores de água, hidrofugantes, fibras, resinas ou pigmentos, no caso das monomassas), que lhes conferem as propriedades que as diferenciam das argamassas tradicionais feitas em obra. As monomassas vieram melhorar a resistência à fendilhação, especialmente através da menor retração e maior deformabilidade, características onde apresentam um melhor desempenho do que a maioria dos rebocos tradicionais ou industriais (Quintela, 2006)

Os revestimentos monomassa dispensam a aplicação de pintura ou revestimento, sendo esta propriedade, aliada à rapidez de execução, uma das que mais se destaca quando se fala nas vantagens destes revestimentos quando comparados às soluções tradicionais. Entre as vantagens mais importantes estão: a utilização de matérias-primas adequadas, maior rigor na formulação do produto com registos, possibilidade de erro menos comum, propriedades melhoradas e mais consistentes, a manutenção é geralmente mais fácil pelo facto de toda a espessura do revestimento ter a mesma cor, não existindo o desprendimento da camada superficial como no caso das pinturas. Como principais desvantagens face aos rebocos tradicionais temos o seguinte: a necessidade de maior formação das empresas de aplicação, as condicionantes atmosféricas são mais preponderantes para o aspeto final (porque não existe camada de acabamento) e economicamente são mais dispendiosas (Sousa, 2009)

O reboco monocamada é considerado como revestimento de impermeabilização, tendo assim como principal função contribuir para a estanquidade global da parede, reduzindo a quantidade de água que atinge o suporte, de modo a evitar o humedecimento excessivo e prolongado do material do tosco da parede. Devido à sua espessura de aplicação, também pode assumir funções de regularização, bem como de acabamento, devido ao facto de ser pigmentado na massa. Assim, para além de ter que garantir cumprimento das exigências de impermeabilização, reúne também exigências estéticas, (APFAC,2008)

## 2.3 Aderência

A aderência do reboco ao suporte é essencialmente um fenómeno mecânico, resultante da penetração da leitada nos interstícios do suporte da leitada da argamassa de reboco (água e partículas finas dos ligantes) que, ao cristalizar no interior dos seus poros, assegura a colagem. Este fenómeno é essencial para a proteção das paredes, para que seja garantida de uma boa durabilidade, resistência física, química e térmica. Segundo Carneiro (1993), a boa aderência depende da rugosidade da superfície e dos cuidados com a sua preparação (limpeza, humedecimento e chapisco) e ainda da retenção de água da argamassa durante o efeito de sucção, que evita a saída prematura da água necessária à hidratação do ligante.

Outro fator que afeta a aderência é a resistência mecânica da base às sucessivas camadas do revestimento. Assim, a resistência mecânica do revestimento deve decrescer da camada interior até à mais externa, a fim de evitar uma movimentação diferencial entre o revestimento e o suporte. (Moura, 2007)

Desta forma, é imprescindível que sejam conhecidos os mecanismos e fatores que influenciam a aderência entre reboco e suporte.

### 2.3.1 Mecanismos de Aderência

Os mecanismos que promovem a aderência entre reboco e suporte ocorrem tanto no instante em que estes entram em contacto um com o outro, no caso da argamassa fresca (a este fenómeno chama-se aderência inicial), como na argamassa endurecida, o que é considerado a aderência, propriamente dita. (Carasek, 1996)

A mesma autora afirma que, entre os fatores que condicionam diretamente os mecanismos de aderência temos, a capacidade de absorção do suporte, a sua porosidade, composição química da argamassa, capacidade de retenção de água e as condições de cura. A rugosidade do suporte e a mão-de-obra de execução têm efeitos indiretos.

#### 2.3.1.1 Aderência Inicial

As características reológicas das argamassas, por serem propriedades específicas das mesmas, influenciam diretamente a aderência inicial. Estas características afetam a tensão superficial criada na ligação com o suporte no momento do contacto.

Segundo Moura (2007), para uma adesão adequada é imprescindível que o líquido cubra completamente a superfície do sólido, sem deixar vazios na camada em que os dois se encontram. Esta capacidade dos líquidos é beneficiada quando há um abaixamento da tensão superficial, que é conseguida pela alteração na composição química das argamassas, aumentando o teor de ligante para favorecer a adesão ou a partir da diminuição do ângulo de contacto. O que poderá ser obtido através de alterações nas características reológicas das argamassas, como o aumento da plasticidade através da adição de cal, aditivos retentores de água ou incorporadores de ar.

### 2.3.1.2 Desenvolvimento da Aderência

Para entender a transferência de água entre argamassa e suporte, é necessário imaginar ambos como um sistema de poros. De acordo com Carasek (1996), “o sistema de poros é modelado através de um conjunto de tubos cilíndricos paralelos, independentes, abertos, vazios, de raio constante e perpendiculares à superfície da argamassa”. Os poros da argamassa também são modelados como tubos cilíndricos independentes, porém estes possuem raios variáveis por resultarem de vazios formados por grãos de ligante e agregado que inicialmente se encontram saturados.

Desta maneira, o transporte de água pode ser explicado através da teoria dos poros ativos que relaciona a capilaridade e a conseqüente capacidade de absorção dos suportes e a capacidade de retenção das argamassas. Para Scartezini (2002), os poros ativos são aqueles que “possuem força capilar suficiente para exercer a ação de sucção da água”. Para Gallegos (1995), os poros ativos são aqueles em que o raio está compreendido entre 0,01  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$  sendo que os poros de tamanho inferior, apesar de exercerem força de sucção, não absorvem água suficiente para influenciar a aderência do revestimento. Para que a força de sucção dos poros do suporte supere a força de retenção das argamassas, é necessário que os primeiros sejam inferiores aos segundos, ou seja, o raio dos poros ativos seja inferior ao dos inativos.

O equilíbrio entre a força de sucção dos poros capilares do suporte e a força de retenção do reboco ocorre quando o diâmetro dos seus poros iguala o do suporte. Nesse instante, termina o fluxo de água por absorção capilar e inicia-se por difusão (Scartezini, 2002). Mesmo em ambiente saturado, este só ocorrerá se a força de sucção do suporte for suficiente para que o mecanismo ocorra. Assim, o coeficiente de difusão dependerá do tamanho das moléculas e dos poros capilares em que se verificar penetração por difusão, sendo tanto maior quanto maior for a dimensão dos poros em relação à das moléculas, (Paes, 2004).

Os mecanismos de aderência não são influenciados diretamente pelo transporte de água que ocorre em sentido contrário ao do suporte, porém, é importante citar a evaporação da água. Segundo Bastos (2003), a argamassa fresca perde vapor de água para o ambiente através do



desequilíbrio de humidade, sendo que a água migra no sentido do ambiente mais saturado para o menos saturado. Considerando que a humidade relativa do ar é sempre inferior a 100%, o que caracteriza a argamassa no estado fresco, ocorrerá sempre evaporação. A influência indireta da evaporação na aderência dos revestimentos acontece em função da sua intensidade, interferindo ou não na quantidade de água necessária para as reações de hidratação.

### 2.3.2 Influência dos Materiais Constituintes na Aderência da Argamassa ao Suporte

Segundo Tristão (1995), quanto maior a percentagem de finos, maior a trabalhabilidade das argamassas e menor a permeabilidade das mesmas. Esta parcela está também relacionada com a capacidade de retenção de água das argamassas: quanto maior o número de finos, maior a área específica e maior a retenção. Carneiro (1993), refere que um alto teor de finos pode ser prejudicial às argamassas quanto à retração por secagem, devido ao facto desta ação só ocorrer passadas 24h, durante as quais a retenção de água proporcionada por finos regula a retração. Porém, após esse tempo, a retração aumenta.

A areia tem a função de “esqueleto inerte”, ocupando maior volume em relação ao ligante, diminuindo assim o custo de produção e contribuindo para o desenvolvimento das propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido. Carasek (1996) aponta uma dualidade na função da areia: da mesma forma que esta beneficia a aderência por ser um material indeformável e reduzir a retração, se o seu teor na mistura for elevado atua na redução da resistência da aderência. Caso se verifique a existência de um alto teor de agregado, Carneiro (1999) afirma que a capacidade de retenção de água das argamassas será reduzida.

Além da proporção de areia na mistura, também a sua distribuição granulométrica, módulo de finura, superfície específica, massa volúmica, índice de vazios e forma dos grãos, influenciam as propriedades da argamassa. Em relação às propriedades no estado fresco, que podem influenciar as propriedades da argamassa, podemos enumerar: a consistência, a trabalhabilidade, e a retenção de água. Após o endurecimento, destaca-se o seguinte: a resistência mecânica, a capacidade de deformação, a permeabilidade, a retração e a aderência podem também influenciar as propriedades da argamassa.

A água é utilizada na mistura para desencadear a reação de hidratação do ligante, resultando no endurecimento da pasta. Além disso, o controlo da quantidade de água permite dar à mistura a consistência e trabalhabilidade desejadas (Comunidade da construção, 2005)

Quanto aos aditivos, que podem ou não ser acrescentados às argamassas, possuem finalidades específicas, conforme o seu tipo. São adicionados à mistura em pequena quantidade para

---

modificar as suas propriedades, sendo empregues em relação a uma percentagem definida de ligante. Estes podem ter funções impermeabilizantes, plastificantes, fluidificantes, retardadoras de presa, entre outras.

### **2.3.3 Influência das Propriedades das Argamassas na Aderência**

#### **2.3.3.1 Trabalhabilidade, Consistência e Plasticidade**

A trabalhabilidade é definida como a propriedade que confere às argamassas a sua habilidade em fluir ou distribuir-se por toda a área da superfície do componente de alvenaria, mesmo nas suas saliências, protuberâncias e fissuras (Carasek, 1996).

Considerando que uma trabalhabilidade apropriada reflete um espalhamento adequado da argamassa, esta não deve mostrar-se nem muito seca, nem fluida, nem coesa ou sem segregação, mas com exsudação controlada, características sem as quais a facilidade na aplicação e adesão estariam comprometidas (Sousa, 2005). Os fatores que a influenciam são: o teor de água, a relação aglomerante/agregado, as características e teor dos materiais plastificantes, a distribuição e forma dos grãos dos agregados, as características e teor dos aditivos, e o tipo de mistura.

A consistência é explicada como a capacidade que as argamassas têm de resistir a deformações sob ação de cargas externas, podendo-se classificar como seca, plástica ou fluida. Por outro lado, a plasticidade pode ser descrita como a habilidade que as argamassas têm para absorver essas deformações (Tristão, 2005). A primeira resulta da área específica, da forma e, também, da força de atração e repulsão das partículas; a última é decorrente da viscosidade e coesão da argamassa. A consistência e a plasticidade podem alterar-se completamente em função da relação água/ligante, da relação ligante/agregado, e da natureza e qualidade do aglomerante.

#### **2.3.3.2 Retenção de Água**

A aptidão que as argamassas possuem de conservar água quando aplicadas em superfícies porosas é denominada retenção de água. Também pode ser definida como a capacidade da argamassa em manter a sua consistência, resistindo à perda de água por evaporação, sucção do suporte, hidratação precoce do ligante ou absorção da superfície com que está em contacto (Moura, 2007). Candia (1998) enuncia que a retenção não é relativa à água evaporada, mas sim uma resposta à força de sucção dos suportes.

Carasek (1996) aponta para a relação entre a retenção de água da argamassa e a taxa de sucção dos suportes, afirmando que, para proporcionar uma aderência correta, deverão ser utilizadas argamassas com alta capacidade de retenção, quando aplicadas em suportes com elevados valores de sucção. De forma inversa, se existir baixa sucção no suporte, deve ser aplicada argamassa com baixa retenção para que não fique comprometido o transporte de água que proporciona a aderência.

### **2.3.3.3 Resistência Mecânica – Flexão e Compressão**

A resistência mecânica dos rebocos, embora não seja um requisito fundamental e determinante, tem a sua importância devido à relação com outras propriedades, como a elasticidade. Segundo Tristão (2005), traduz-se tanto na capacidade de suportar esforços de tração, compressão e corte, como na capacidade de absorção e permeabilidade, também relacionadas com o indicador de porosidade obtido pela resistência. A estrutura de poros, por sua vez, refere-se à porosidade inicial da mistura e à consolidada durante o processo de hidratação do ligante. Quanto menor a porosidade, maior a resistência mecânica, ou seja, quanto maior o número de vazios capilares e o teor de ar incorporado, menor a resistência, (Carneiro, 1993). De forma análoga, quanto menor a relação água/ligante, menor será a porosidade, e maior será a resistência, visto que serão os produtos de hidratação a ocupar os vazios e não a água em excesso, que evaporará, abrindo novos poros (Neville, 1997).

A fissuração também está relacionada com a resistência à flexão das argamassas. Segundo Carneiro (1993) “quando os esforços de tração atuantes sobre o revestimento superam o seu limite, surge a fissura.” Sendo assim, podemos relacionar a retração com a resistência mecânica. Se a relação água/ligante for reduzida, aumentando o teor de ligante na mistura, maior será a resistência mecânica e maior será a retração, resultando num aumento da probabilidade de fissurar.

### **2.3.3.4 Elasticidade**

A elasticidade das argamassas reflete a capacidade de deformação sem perderem aderência ao suporte, fissurarem ou, em caso extremo, cederem quando submetidas a esforços de diversas naturezas. Os referidos esforços podem ter origem na deformação diferencial da base, na retração por secagem no estado fresco ou durante o processo de endurecimento, na variação dimensional provocada por variações térmicas, por ações externas como o vento, ou por revestimentos cerâmicos aplicados sobre o reboco (Baia e Sabatini, 2001). Para estes autores, a fissuração, o desempenho e a durabilidade do reboco estão intrinsecamente ligados à elasticidade, juntamente com a sua resistência à tração.

### 2.3.4 Influência da Preparação e Aplicação

Não só as características e traços que constituem a argamassa são importantes, como também a preparação e a sua aplicação exercem influência significativa sobre o seu desempenho.

Antunes (2005), citando fatores relevantes, confirma a influência que o modo de preparação tem no produto final, “ [...] a energia utilizada na amassadura, a quantidade de água e o tempo de mistura [...] ”, bem como a sequência em que os materiais são misturados. Segundo a mesma autora, o processo ideal é aquele que garante que sejam partidos todos os aglomerados e que todas as partículas estejam envolvidas em água.

Quanto à sequência de mistura, Sandim (1995) indica que primeiro os materiais secos devem ser completamente misturados e só depois deve ser adicionada a água. Esta sequência (água no pó), que foi considerada pela autora citada anteriormente, Antunes (2005), mais eficiente no comportamento reológico das argamassas, apresentando menor variação nos resultados e menor viscosidade, facilitando a aplicação e distribuição da argamassa na superfície do suporte.

Quanto ao modo de aplicação da argamassa, Ceotto et al. (2005), indicam que, se for manual, deve ser realizada com a maior energia de impacto possível, complementada com a colher de pedreiro, comprimindo a quantidade aplicada. Desta forma, a energia de impacto e coerência da intensidade na aplicação dependem apenas da habilidade do executante. Esta intervenção é especialmente importante no que refere à aderência da superfície onde é aplicada, e igualmente importante, à camada de reboco, quando executada em camadas sobrepostas que podem originar falhas ou pontos frágeis.

#### 2.3.4.1 Influência das Propriedades do Suporte

O grande responsável pela aderência das argamassas no suporte é a capacidade de absorção, reflexo da porosidade. Suportes com alta porosidade, por absorverem grande quantidade de água, podem provocar atrasos na hidratação do ligante (Scartezini e Carasek, 2003), ou seja, a quantidade de água restante na argamassa não será suficiente para hidratar todo o ligante, formando zonas frágeis, aumentando assim a probabilidade de no futuro apresentarem patologias. Para minimizar o efeito de suportes pouco porosos, a solução, segundo o mesmo autor, é alterar a sua superfície aumentando a rugosidade, visto não ser possível alterar a microestrutura do material. No entanto, segundo Candia (1998), à medida que se aumenta a rugosidade da superfície de colagem, mais difícil se torna obter uma boa aderência, devido à dificuldade de contacto completo entre os dois elementos. Assim, deve-se chegar a uma alteração na face do suporte, que permita uma colagem correta da argamassa, podendo esta ser feita através de tratamento mecânico ou através de uma camada de preparação, como a argamassa de chapisco.

#### **2.3.4.2 Influência da Camada de Chapisco**

A camada de preparação da base, vulgo chapisco, tem como finalidade facilitar a aderência entre a face do suporte e o reboco. Para esse efeito é criada uma camada, com maior rugosidade e maior capacidade de regulação da água absorvida, presente na amassadura. Estas particularidades são consideradas por Alves (2002) como determinantes na aderência física e química do reboco. É utilizada quando a superfície a aplicar não garante, por si só, uma aderência satisfatória da argamassa.

As argamassas para execução do chapisco são compostas por ligante, agregado e água, tendo como função essencial promover a aderência entre o suporte e a camada subjacente. Podem ser adicionados aditivos que promovam essencialmente a aderência, ou incorporadores de ar que melhorem a plasticidade, para que seja possível a sua aplicação com desempenas. O seu traço difere da argamassa de revestimento em dois pontos: primeiro, a argamassa de chapisco deve ter uma consistência mais fluída, dispersando-se uniformemente, de maneira a formar uma camada irregular e rugosa por toda a superfície; segundo, deve impedir que a grande sucção da base e as condições ambientais, como a temperatura, provoquem a fragmentação da argamassa, que ocorreria em função da hidratação deficiente do ligante (Moura, 2007).

#### **2.3.5 Influência das Condições Ambientais de Cura**

Apesar de todos os fatores referidos anteriormente influenciarem diretamente os mecanismos de aderência são também vários os fatores externos que intervêm nas propriedades dos constituintes e que, com isso, condicionam indiretamente os mecanismos de aderência.

##### **2.3.5.1 Efeito da Humidade Relativa do Ar**

No processo de cura, a regulação da quantidade de água da pasta na hidratação do ligante é feita através da humidade relativa do ar (Iserhard, 2000). Isto porque a humidade relativa do ar deve ser suficiente para manter saturada a pasta durante todo o processo, permitindo que a água presente seja direcionada para a formação dos produtos de hidratação, responsáveis pelas propriedades mecânicas da argamassa e ao mesmo tempo impedindo que esta se perca por evaporação (Lorenzetti et al, 2002). A falta de água pode causar, segundo Neville (1997), a inibição do processo de hidratação do cimento, aliada à retração da pasta, ainda fresca, por secagem.

### 2.3.5.2 Efeito da Temperatura

A influência da temperatura no processo de cura não está relacionada com o facto de favorecer ou não o processo de hidratação, mas em ditar a velocidade do mesmo. O aumento da temperatura, conforme Isehard (2000), acelera o processo de hidratação do ligante, assim como o efeito da humidade, para que as propriedades mecânicas da argamassa sejam alcançadas nas idades iniciais.

Embora as altas temperaturas incitem a resistência mecânica nas idades iniciais, Neville (1997), assegura que, passados 7 dias de idade, esta propriedade é degradada. Processos de secagem acelerada interrompem a hidratação da mistura antes dos poros serem bloqueados por produtos de hidratação e, com isso, uma estrutura de poros mais irregular é formada. A rápida secagem devido a temperaturas elevadas pode também prejudicar a aderência (Tan e Gjorv, 1996).

O efeito da temperatura pode ser observado não só na reação de hidratação, mas também no desempenho dos materiais que contêm aditivos, como, as argamassas de montagem (exemplo: Cimento-Cola). O excesso de evaporação impede a mistura dos aditivos, prejudicando a aderência. (Moura, 2007)

### 2.3.5.3 Efeito do Vento

Para além dos efeitos da temperatura e humidade, em situações reais de superfícies expostas ao ar livre, existe um fator que caracteriza as condições ambientais de cura: o vento. Apesar da pouca documentação recente acerca deste importante interveniente, numa das poucas citações encontradas Scartezini (2002) refere o trabalho de Jacobsen e Aarseth (1999), em que o vento atua na secagem do material, o que remete para condições semelhantes à das altas temperaturas. O mesmo autor acrescenta que o fluxo de evaporação provocado pelo efeito do vento é proporcional ao fluxo de humidade presente nos vazos capilares das argamassas. No entanto, o primeiro mostra-se 200 a 400 vezes inferior ao segundo.

## 3 ANÁLISE EXPERIMENTAL

### 3.1 Descrição dos Procedimentos Experimentais

Como forma de caracterizar os parâmetros que influenciam a aderência do reboco ao suporte, foram preparados suportes de tijolo e betão, nos quais foram aplicadas argamassas de cimento, monomassa e cal e posteriormente, sujeitos a duas curas distintas, a cura húmida e a cura normal durante 28 dias.

Foram também preparados suportes nos quais foi aplicada argamassa de cal, porém devido à grande desagregação de material que ocorreu durante o corte do reboco, optou-se por excluir da análise experimental todos os provetes em que foi aplicada esta argamassa.

De seguida foram efetuados vários ensaios aos provetes executados, pelo que serão descritos pormenorizadamente ao longo deste capítulo.

#### 3.1.1 Caracterização da Matéria-Prima

No presente capítulo, pretende-se realizar uma descrição relativa às amostras estudadas, apresentando algumas das suas propriedades, assim como fatores relevantes que poderão influenciar o estudo proposto.

Por uma questão de organização e compreensão, dividiu-se este capítulo em diferentes subcapítulos.

Foi utilizada areia de rio existente em laboratório, já utilizada em trabalhos anteriores semelhantes.

Os restantes materiais utilizados foram o cimento de fabrico Cimpor e a Monomassa Rebetop, de fabrico Topeca.

### 3.1.1.1 Análise Granulométrica por Peneiração

A análise granulométrica da areia utilizada no presente trabalho foi realizada com base na norma NP EN 933-1:2000 (IPQ, 2000), utilizando peneiros normalizados.

Com este ensaio é possível caracterizar o tamanho e distribuição das partículas de uma determinada amostra. A peneiração é feita manualmente, por ordem decrescente em relação ao tamanho da malha do peneiro. Iniciando com o peneiro de maior abertura (peneiro de 4mm) e decrescendo até ao último (peneiro de 0,063 mm). A massa de material retida em cada peneiro é registada e o quociente desse valor pela massa total da amostra indica a percentagem de material retido.

Como referido anteriormente, a areia utilizada já tinha sido usada em trabalhos anteriores, pelo que a caracterização granulométrica foi realizada previamente.

O resultado do ensaio é apresentado sob a forma de gráfico na Figura 3.1:

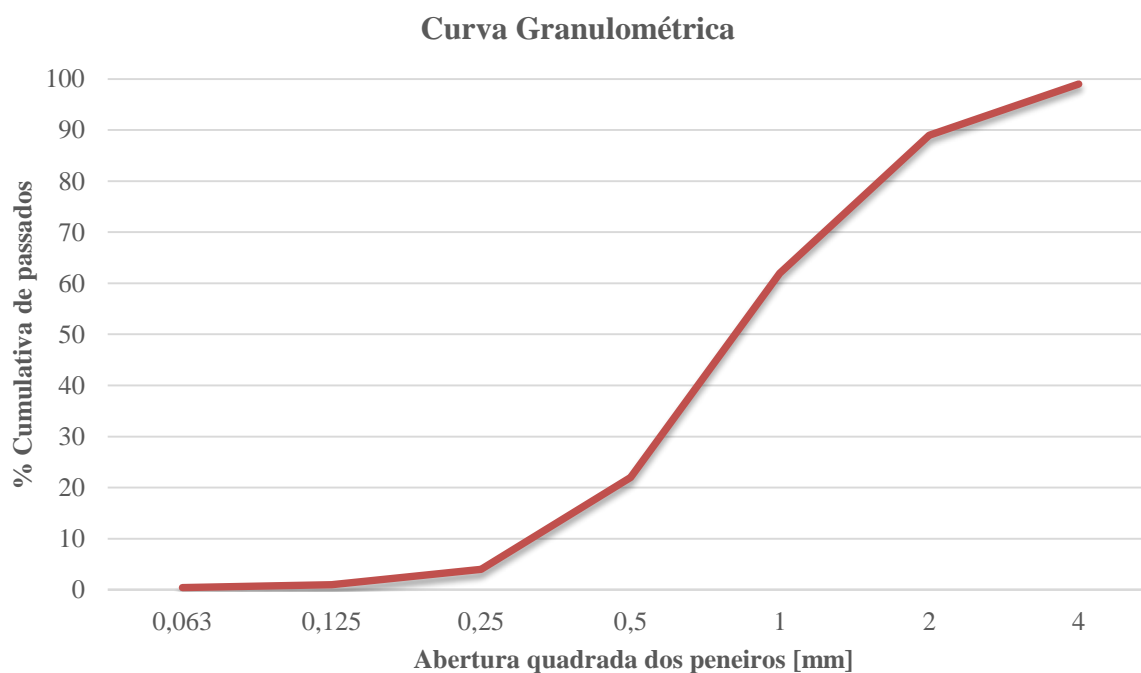


Figura 3.1: Curva granulométrica do agregado utilizado

Foi também determinada previamente a baridade da areia, apresentando-se o resultado no Quadro 3.1:



Quadro 3.1: Baridade da areia utilizada

Material:	Baridade (g/cm <sup>3</sup> )			Baridade média (g/cm <sup>3</sup> )
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	
<i>Areia</i>	1,455	1,472	1,474	1,472

### 3.1.2 Preparação das Argamassas

A preparação das argamassas iniciou-se pelo cálculo das dosagens dos constituintes secos, tendo em conta o traço volumétrico de cada argamassa, a quantidade necessária para a realização de todos os ensaios e a capacidade da cuba da misturadora mecânica. Para garantir uma maior homogeneização da argamassa, os constituintes secos foram medidos e pesados utilizando-se os mesmos recipientes e misturados manualmente, antes de serem colocados na misturadora mecânica. Posteriormente, foi colocada a misturadora em velocidade lenta, durante dois minutos e meio, sendo a água adicionada à mistura durante os primeiros quinze segundos. Passados os dois minutos e meio, foram raspadas as paredes da cuba, para garantir a homogeneidade da mistura, tendo terminado com a misturadora a trabalhar durante mais trinta segundos.

Para a elaboração deste trabalho foram definidas duas argamassas de revestimento com as composições referidos no Quadro 3.2:

Quadro 3.2: Composição das argamassas utilizadas

Argamassa	Pó de ligante	Agregado	Água
<b>Monomassa</b>	1 Kg		0,2 L
<b>Cimento</b>	1 L	3 L	0,63 L

### 3.1.3 Preparação dos Provetes

Na preparação dos provetes foi realizada uma camada de chapisco, utilizando-se a mesma relação pó de ligante/agregado referida no quadro anterior, porém, adicionando 0,2l de água, de forma a tornar a mistura mais fluída, facilitando o espalhamento.

Depois de 24h, foram aplicadas no suporte as misturas com a composição indicada no ponto anterior.

A monomassa foi aplicada em três tijolos e em três blocos de betão para cada cura (normal e húmida), sendo que, em dois foi colocada rede de fibra de vidro, como forma de atenuar a retração e fissuração da argamassa e no restante, foi aplicada a argamassa diretamente sobre o suporte. O mesmo foi feito para a argamassa de cimento, resultando num total de 24 suportes devidamente revestidos com argamassa.

Para verificar a influência das condições de cura, os provetes foram submetidos a duas curas distintas, a cura normal, em que os provetes foram colocados dentro de sacos de plástico devidamente fechados, para simular os 95% de humidade relativa pretendida, durante 7 dias e nos restantes 21 dias, sujeitos a uma humidade relativa de  $65 \pm 5\%$  e uma temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , e a cura húmida, em que estiveram sujeitos, dentro de uma câmara climática, a 95% de humidade relativa e  $20^\circ\text{C}$  durante os 28 dias, até serem ensaiados.



Figura 3.2: Moldagem dos provetes



Figura 3.3: Câmara Climática

Ao fim de 28 dias, o reboco foi cortado e separado dos respetivos suportes, para se poderem ensaiar segundo as respetivas normas, sendo necessárias amostras com três dimensões diferentes, enumeradas de seguida:

No total foram realizados:

- 48 Provetes prismáticos para a determinação das características face à água e para determinação das características mecânicas (24 provetes com  $40 \times 40$  mm para os ensaios de absorção e secagem, e 24 provetes com as mesmas dimensões para realizar ensaios de massa volúmica, porosidade e resistências mecânicas). Estes últimos foram realizados em duas fases, uma vez que os ensaios mecânicos são destrutivos, sendo realizados depois do anterior ter sido concluído;
- 24 Provetes circulares (90 mm de diâmetro interno e 15mm de altura), para o ensaio de permeabilidade ao vapor de água, de forma a testar três provetes por cada composição;

- 8 Suportes aplicados sem fibra de vidro, serviram para ensaiar a permeabilidade à água líquida, pelo ensaio dos Tubos de Karsten e, depois de secos, para ensaiar a aderência, através do ensaio de “*Pull-off*”

## 3.2 Ensaio sobre Argamassas Endurecidas

### 3.2.1 Permeabilidade ao Vapor de Água

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água foi realizado com base na norma EN ISO 1015-19:2008 (IPQ, 2008) e a norma ISO 12572:2001 (ISO, 2001), cujo objetivo foi determinar a permeabilidade ao vapor de água das argamassas. A permeabilidade é verificada através da quantidade de vapor de água que se difunde através da argamassa por unidade de tempo e espessura, quando sujeito a uma diferença de pressão de vapor entre as duas superfícies. Os procedimentos descritos na norma nem sempre foram cumpridos, por razões referidas ao longo da descrição.

Para a realização do ensaio foram utilizados 3 provetes circulares com 90mm de diâmetro, para cada grupo de ensaio. Os provetes foram ensaiados aos 28 dias, iniciando com a medição das dimensões, o diâmetro e a espessura em 3 pontos distintos, recorrendo a um paquímetro digital, com 0,01mm de precisão, sendo o valor final da espessura dado pela média das três medições.

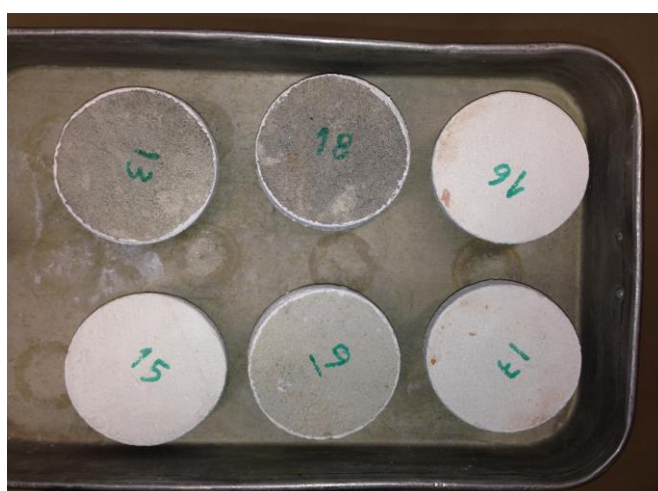


Figura 3.4: Provetes circulares impermeabilizados lateralmente com borracha líquida

Foi tido em conta que a superfície do provete exposta durante o ensaio não tinha uma área inferior a  $0,005 \text{ m}^2$ , no presente trabalho foi de  $0,006 \text{ m}^2$ . Para uma área de exposição inferior a  $0,02 \text{ m}^2$ , a norma recomenda a utilização de 5 provetes, o que não foi possível cumprir devido à inexistência de tinas suficientes. Relativamente à espessura dos provetes, tentou-se uniformizar com 15 mm de altura sendo esta a altura de argamassa aplicada

De acordo com as opções da norma ISO 12572:2001 (ISO, 2001), o ensaio adotado foi o da “Tina Húmida”, por ser o que melhor se aproximava da situação real. Este ensaio tem como objetivo a criação de um fluxo de vapor de água constante, sendo possível calcular a permeabilidade ao vapor de água do material atravessado. Para tal as tinas foram cheias com água até que a distância entre o provete e a superfície da água fosse de 15mm e impermeabilizadas lateralmente. Assim, são criados dois ambientes distintos, um em cada face do provete, com humidades relativas muito diferentes e naturalmente com pressões parciais de vapor de água diferentes. Este fluxo de vapor de água dá-se do interior da tina (ambiente mais húmido), para o exterior (ambiente mais seco).



Figura 3.5: Conjunto tina/provete na câmara climática

A climatização dos provetes fez-se numa câmara climática, a uma temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  com humidade relativa de  $50\% \pm 5\%$ . Para verificar que o fluxo de vapor era constante, foram feitas pesagens, diariamente, até que a variação de massa, face ao tempo decorrido fosse constante. Assumiu-se que esta seria constante quando a variação de massa fosse inferior a 5% durante 5 medições consecutivas para cada um dos provetes, determinando para o efeito, a taxa de variação da massa através da expressão:

$$\Delta m_{12} = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1} \quad [\text{kg/s}] \quad (3.1)$$

Sendo,

$m_1$  – massa do conjunto, no instante  $t_1$ , em kg;

$m_2$  – massa do conjunto, no instante  $t_2$ , em kg;

$t_1$  e  $t_2$  – tempos relativos a duas pesagens consecutivas, em s.

Após uma variação constante em 5 medições consecutivas, a variação linear  $\Delta m_{12}$ , toma a designação de  $G$  [kg/s], e designa-se por fluxo de difusão do vapor de água. Com este dado, é possível determinar o valor da densidade de fluxo de difusão de vapor,  $g$ , dado pela expressão:

$$g = \frac{G}{A} \quad [\text{kg.m}^2/\text{s}] \quad (3.2)$$

Sendo,

$A$  – Área exposta do provete (média aritmética entre a superfície livre superior e inferior), em  $\text{m}^2$ .

A permeância ao vapor de água,  $W$ , corresponde à densidade de fluxo de vapor que atravessa a argamassa, sendo dada pela expressão:

$$W = \frac{g}{\Delta p_v} \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})] \quad (3.3)$$

Em que,

$$\Delta p_v = p_{\text{sat}} \times \frac{\phi_1 - \phi_2}{100} \quad [\text{Pa}] \quad (3.4)$$

Sendo,

$p_{\text{sat}}$  – pressão de saturação à temperatura de ensaio, em Pa;

$\phi_1 - \phi_2$  – diferença entre as humidades relativas no interior e no exterior da tina do ensaio, em %.

De acordo com a ISO 12572:2001 (ISO 2001), a pressão de saturação é dada pela expressão:

$$p_{\text{sat}} = 610,5 e^{\frac{17,269,0}{237,3 + \theta}} \quad (3.5)$$

Sendo,

$\theta$  – temperatura a que decorre o ensaio, que no presente caso, foi cerca de 22°C.

Assim, a pressão de saturação,  $p_{\text{sat}}$ , é igual a 2642 Pa.

Sabendo que a humidade relativa no interior da tina se aproximava dos 100% e que a humidade relativa dentro da câmara climática se encontrava a 50%, a diferença de humidade relativa é de 50%. Deste modo,  $\Delta_{pv}$  é igual a 1321,2 Pa.

A permeabilidade ao vapor de água,  $\delta$ , é dada através da expressão:

$$\delta = W \cdot d \text{ [kg/(m.s.Pa)]} \quad (3.6)$$

Sendo,

$d$  – espessura do provete, em mm.

Foi também determinado o valor relativo ao fator de resistência à difusão do vapor de água,  $\mu$ , que é um parâmetro adimensional, este indica o número de vezes que a resistência à difusão de um provete de argamassa é maior do que a de uma camada de ar em repouso, de espessura e condições ambientais iguais. O seu valor é dado pela expressão:

$$\mu = \frac{\delta_a}{\delta} \text{ [-]} \quad (3.7)$$

Sendo,

$\delta_a$  – coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do ar, em kg/(m.s.Pa), com o valor de  $1,95 \times 10^{-10}$  kg/(m.s.Pa), segundo a norma referida anteriormente;

$\delta$  – permeabilidade ao vapor de água, em kg/(m.s.Pa).

Foi também determinada a espessura da camada de ar equivalente,  $S_d$ . Esta camada traduz a espessura de ar em repouso que possui a mesma resistência à difusão de vapor de água que a argamassa de espessura,  $d$ , para tal, foi utilizada a expressão:

$$S_d = \mu \cdot d \text{ [m]} \quad (3.8)$$

Sendo,

$\mu$  – fator de resistência

$d$  – espessura do provete, em mm.

Os resultados do ensaio são apresentados no Quadro seguinte.

Pelo Quadro 3.3, podemos constatar que as argamassas de monomassa apresentam valores mais elevados de permeabilidade ao vapor de água e espessura de camada de ar equivalente, comparando com as argamassas de cimento, tendo estas o fator de resistência mais alto.

Quadro 3.3: Permeabilidade ao vapor de água, fatores de resistência ao vapor de água, espessuras de camada de ar equivalente e respetivos desvios padrão

Suporte	Argamassa	Cura	$\delta \times 10^{-11}$ [Kg/(m.s.Pa)]	D.P.	$\mu$	D.P.	$S_d$ [m]	D.P.
Tijolo	Cimento	Húmida	0,75	0,07	26,16	2,56	0,47	0,06
		Normal	0,87	0,15	22,52	5,03	0,39	0,09
	Monomassa	Húmida	1,01	0,04	19,27	0,76	0,34	0,01
		Normal	0,98	0,06	19,92	1,16	0,34	0,02
Betão	Cimento	Húmida	0,70	0,00	27,86	0,09	0,46	0,03
		Normal	0,80	0,07	24,37	2,45	0,45	0,04
	Monomassa	Húmida	1,09	0,03	17,85	0,54	0,28	0,01
		Normal	1,08	0,04	18,08	0,74	0,29	0,01

$\delta$  – permeabilidade ao vapor de água ;  $\mu$  – fator de resistência ao vapor de água ;  
 $S_d$  – espessura da camada de ar equivalente ; D.P. – Desvio padrão

Expondo graficamente os resultados através da Figura 3.6, verifica-se uma homogeneidade nos valores para ambas as argamassas, não havendo uma grande discrepância entre tipo de cura e suporte para a mesma argamassa.

Podemos também verificar que, quanto maior a permeabilidade ao vapor de água, menor é a espessura da camada de ar equivalente, e claro, o fator de resistência ao vapor de água.

Também se verifica, pela Figura 3.6 que a monomassa é mais permeável ao vapor de água, independentemente do suporte e tipo de cura. Nas argamassas de cimento, a cura normal reflete-se numa menor resistência ao vapor de água, tendência contrária nas monomassas.

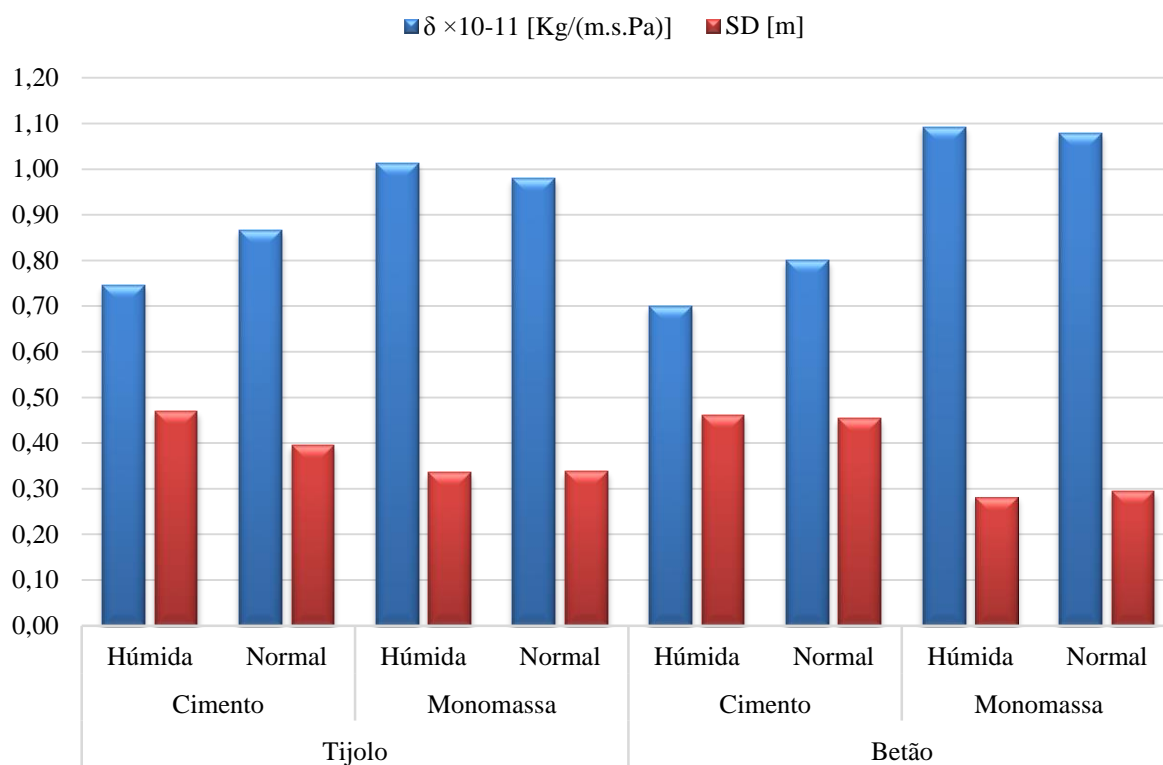


Figura 3.6: Permeabilidade ao vapor de água e espessura da camada de ar equivalente

### 3.2.2 Porosidade Aberta

Para uniformizar o método de ensaio, tendo em conta a norma NP EN 1936:2008 (IPQ, 2008) e o trabalho de Ferreira (2011), todos os provetes, provenientes das diferentes curas (húmida e normal), foram condicionados em estufa a cerca de 60°C, durante 48h, para garantir que estavam secas antes de iniciar o ensaio. Procederam-se a pequenas alterações, visto que, a norma em questão era relativa a um método de ensaio para provetes de pedra natural. Este comportamento foi necessário para se poder ensaiar as argamassas utilizadas no trabalho. Após a secagem na estufa ventilada, as amostras arrefeceram durante alguns minutos num dissecador, até baixarem a sua temperatura, igualando a temperatura ambiente. Posteriormente foram pesadas numa balança com precisão de 0,01g, registando a sua massa seca.





Figura 3.7: Balança de precisão



Figura 3.8: Balança hidrostática

De seguida, colocaram-se as amostras num tabuleiro, imergindo-as completamente e deixando-as repousar durante 24h, até atingirem a saturação. Para determinar a massa saturada, foi utilizada a mesma balança na pesagem da massa seca, tendo o cuidado de retirar cuidadosamente cada provete do tabuleiro com água e limpá-lo com um pano seco antes de cada pesagem, desta forma, foi possível retirar a água em excesso que pudesse revestir a superfície exterior do provete.

Depois de determinar a massa saturada, realizou-se a pesagem hidrostática. A balança que se utilizou neste passo, é bastante instável, devido ao movimento da água presente no recipiente de grandes dimensões (Figura 3.8), pelo que é importante deixar a balança estabilizar antes de efetuar qualquer pesagem e mesmo depois de colocar o provete até registar o peso.

Os passos referidos anteriormente foram repetidos para cada provete, resultando no cálculo do valor da porosidade aberta, através da equação:

$$P_o = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \times 100\% \quad (3.9)$$

Sendo,

$m_s$  – massa do provete saturado, em g.

$m_d$  – massa do provete seco, em g.

$m_h$  – massa do provete imerso em água, em g.

Calculou-se ainda o valor da massa volúmica aparente,  $\rho_b$ , para cada provete, através da equação:

$$\rho_b = \frac{m_d}{m_s - m_h} \times \rho_{rh} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (3.10)$$

Sendo,

$m_s$  – massa do provete saturado, em g.

$m_d$  – massa do provete seco, em g.

$m_h$  – massa do provete imerso em água, em g.

$\rho_{rh}$  – massa volúmica da água à temperatura do recipiente, em  $\text{kg/m}^3$ . Para uma temperatura de  $14^\circ\text{C}$ , tem-se uma massa volúmica de aproximadamente  $999,29 \text{ kg/m}^3$ .

Na Figura 3.9, encontram-se os valores obtidos para este ensaio.

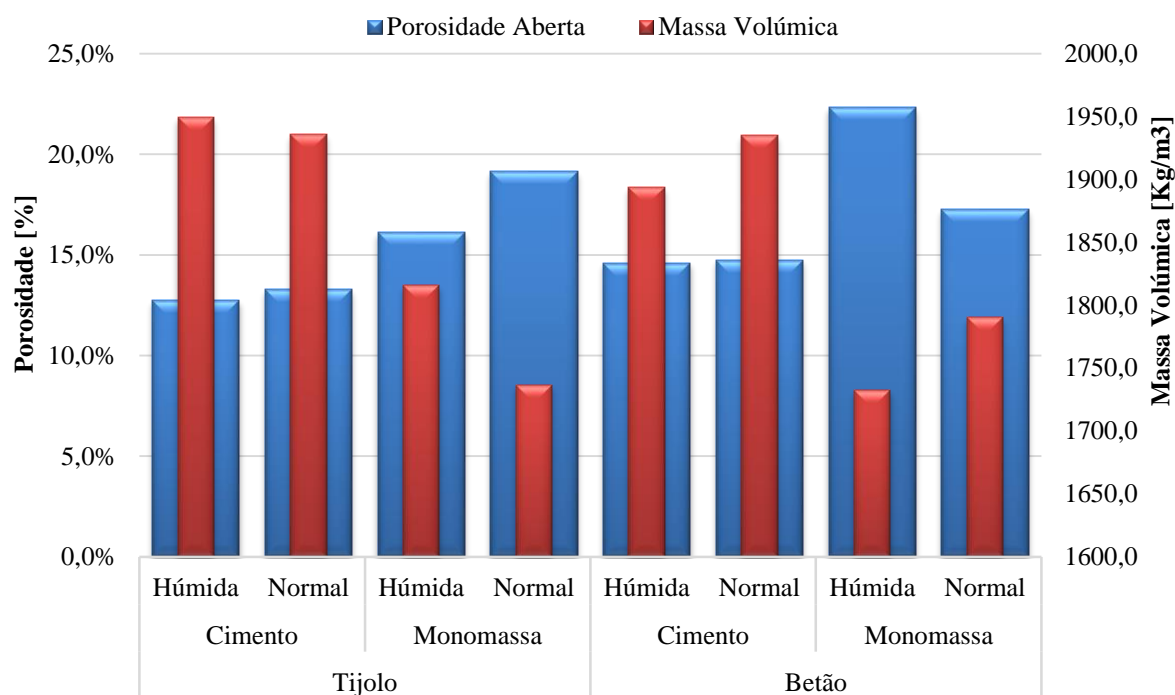


Figura 3.9: Porosidade aberta e massa volúmica aos 28 dias

Observando os valores da porosidade aberta, verifica-se que as argamassas de monomassa são mais porosas, sendo o suporte de betão e monomassa com cura húmida a mais porosa. Além disso, também é possível apurar que as condições de cura pouco influenciam a porosidade das argamassas de cimento, independentemente do suporte. Em relação ao tipo de suporte, o betão provoca, maioritariamente, uma maior porosidade.

Constatando os valores relativos à massa volúmica, esta varia de forma inversamente proporcional à porosidade aberta, uma vez que, as argamassas com maior valor de massa volúmica, são as que apresentam menor porosidade aberta.

### 3.2.3 Absorção de Água por Capilaridade

Para determinar o coeficiente de absorção por capilaridade, o ensaio foi realizado segundo as normas EN 15801:2009 (CEN, 2009) e EN 1015-18:2000 (CEN, 2000). Os provetes ensaiados têm uma base com 40mm x 15mm, aproximadamente.

As faces laterais das amostras foram previamente impermeabilizadas com borracha líquida, assegurando que o fluxo de absorção era unidirecional. Posteriormente, foram colocadas numa estufa ventilada a 60°C durante aproximadamente 48h para garantir que estas estavam secas e com massa constante. Considerou-se que a massa era constante quando apresentava uma variação de massa em 24h inferior a 0,1% entre pesagens, para cada provete.



Figura 3.10: Parte dos provetes já impermeabilizados lateralmente

Após a secagem em estufa, as amostras foram colocadas num exsiccador, até baixarem a sua temperatura igualando-a à temperatura ambiente, sendo pesadas de seguida numa balança com precisão de 0,01g.

As amostras foram colocadas num recipiente fechado, cobrindo a base com uma malha plástica para minimizar a área de contacto entre os provetes e o fundo do recipiente. É importante minimizar o contacto entre estes dois elementos, para que ocorra numa maior exposição da base dos provetes à absorção de água.

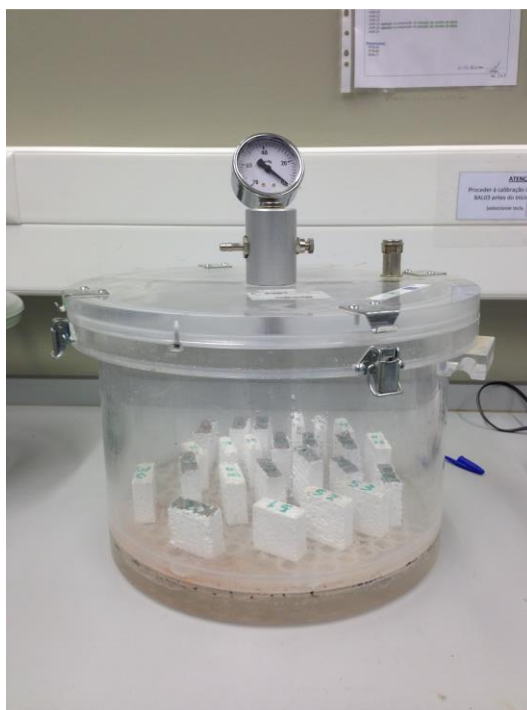


Figura 3.11: Provetes condicionados

A adição de água tem que ser feita com cuidado para que não se salpiquem as amostras, sendo que a altura de água não deve ultrapassar os 5mm, embora a norma aceite o intervalo [5mm, 10mm]. O recipiente permaneceu fechado entre pesagens, com a respetiva tampa, para manter um ambiente saturado dentro do mesmo e de forma a evitar a ascensão de água nos provetes por evaporação. A altura de água foi também monitorizada regularmente, para respeitar o intervalo referido anteriormente.

A mesma norma aconselha que as pesagens sejam feitas passados 10 minutos e 90 minutos de as amostras estarem dentro do recipiente. Optou-se por fazer pesagens aos 5, 10, 15, 30 min, 1h, 1,5h, 2h e 3h e a partir daí, de 24h em 24h, após a colocação de água. O número elevado de pesagens permite determinar com precisão a evolução da absorção de água das amostras, visto que é nos instantes iniciais que esta ocorre mais rapidamente. Assim, consegue-se obter uma curva de absorção mais detalhada, de forma a perceber quando acontece a saturação das amostras. As pesagens são feitas individualmente, com cuidado para não salpicar e comprometer as restantes amostras, retirando o excesso de água com um pano limpo e seco, sendo pesadas na mesma balança em que foram efetuadas as pesagens a seco. É também importante, que as amostras não fiquem muito tempo fora do recipiente para isso, o processo de pesagem era realizado o mais breve possível.

Este processo repetiu-se a cada 24h após o início da exposição à água até que entre duas pesagens consecutivas, a massa registada de cada amostra variasse menos de 0,1%, considerando assim o ensaio concluído.

A quantidade de água absorvida por unidade de superfície ( $M_i$ ) foi determinada através dos valores de massa resultantes das várias pesagens, pela seguinte fórmula:

$$M_i = \frac{m_i - m_0}{A} \quad [\text{kg/m}^2] \quad (3.11)$$

Sendo,

$m_i$  – massa do provete ao fim de um determinado tempo  $t_i$ , em kg;

$m_0$  – massa do provete seco, em kg;

$A$  – secção do provete em contacto com a água, em  $\text{m}^2$ .

Para cada grupo de ensaio, foram ensaiados 3 provetes, considerando como a massa de água absorvida por unidade de superfície,  $M_i$ , a média dos três provetes considerados. Posteriormente, traça-se graficamente a curva de absorção capilar para cada grupo de ensaio a ser testado. A curva expressa, em massa, a quantidade de água absorvida por  $\text{m}^2$ , em relação à raiz quadrada do tempo  $i$ , em minutos.

De acordo com a norma EN 1015-18 (CEN, 2002) o coeficiente de capilaridade, CC, é dado pela equação:

$$CC = 0,1 \times (M_{90\text{min}} - M_{10\text{min}}) \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})] \quad (3.12)$$

Sendo:

$M_{90\text{min}}$  – massa do provete após 90 minutos de imersão, em g;

$M_{10\text{min}}$  – massa do provete após 10 minutos de imersão, em g.

São indicados no Quadro 3.4 os valores obtidos desta forma.

De acordo com a norma EN 15801 (CEN, 2009), o troço inicial de absorção para este tipo de argamassas, ocorre entre os 5 e os 60 minutos e deve ser esse, o intervalo considerado para calcular o coeficiente de absorção de água por capilaridade (CC), sendo dado pelo declive da primeira secção linear da curva obtida graficamente, através da variação de massa ( $M_i$ ), em função da raiz quadrada do tempo ( $t^{0,5}$ ).

Em termos aproximados, determina-se também o valor assintótico de cada grupo de ensaio, como sendo a quantidade total de água absorvida em relação à área da base em contacto com a água e corresponde ao valor da variação de massa relativamente à massa inicial, após o ensaio

ter sido concluído com base na condição citada anteriormente. Neste ensaio, interessam valores baixos de coeficiente de capilaridade e também, valores assintóticos baixos.

No Quadro 3.4 indica-se o valor do coeficiente de capilaridade e do valor assintótico aos 28 dias.

Quadro 3.4: Coeficiente de capilaridade e valor assintótico aos 28 dias

Suporte	Argamassa	Cura	EN 1015-18 (2002)		EN 15801 (2009)		VA [kg/m <sup>2</sup> ]	D.P.
			CC [kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> )]	D.P.	CC [kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> )]	D.P.		
Tijolo	Cimento	Húmida	0,09	0,00	0,20	0,02	5,26	0,21
		Normal	0,09	0,03	0,24	0,08	5,09	0,29
	Monomassa	Húmida	0,04	0,00	0,14	0,01	5,74	0,09
		Normal	0,06	0,01	0,20	0,03	6,78	0,57
Betão	Cimento	Húmida	0,07	0,01	0,20	0,03	7,36	0,90
		Normal	0,08	0,03	0,21	0,03	5,96	0,19
	Monomassa	Húmida	0,09	0,00	0,24	0,01	7,38	0,18
		Normal	0,07	0,01	0,18	0,03	6,19	0,47

CC – coeficiente de capilaridade; VA – valor assintótico; D.P. – desvio padrão.

Como se pode observar, existe uma diferença acentuada entre os resultados obtidos com as diferentes normas, como tal foi feita uma análise para ambas. Analisando segundo a EN 1015-18 (CEN, 2002), a monomassa em suporte de tijolo com cura húmida é a que apresenta menor coeficiente de capilaridade e, a monomassa em suporte de betão com cura húmida a que apresenta o valor mais alto, porém, bastante próximo do valor da argamassa de cimento em tijolo com cura normal.

Conforme a EN 15801 (CEN, 2009), as argamassas referidas anteriormente como estando próximas, apresentam o mesmo valor de coeficiente de permeabilidade, sendo também o mais elevado, por outro lado, o valor mais baixo pertence à mesma argamassa. Em relação ao valor assintótico, a maior variação de massa pertence às argamassas aplicadas em betão, em condições de cura húmida e, do lado inverso, o valor mais baixo pertence à argamassa de cimento aplicada sobre tijolo, com cura normal.

Nas Figuras 3.12 e Figura 3.13 apresentam-se respetivamente, as curvas de absorção de água por capilaridade durante às primeiras 3 horas de ensaio e relativa à totalidade do tempo em que decorreu o ensaio, aos 28 dias.

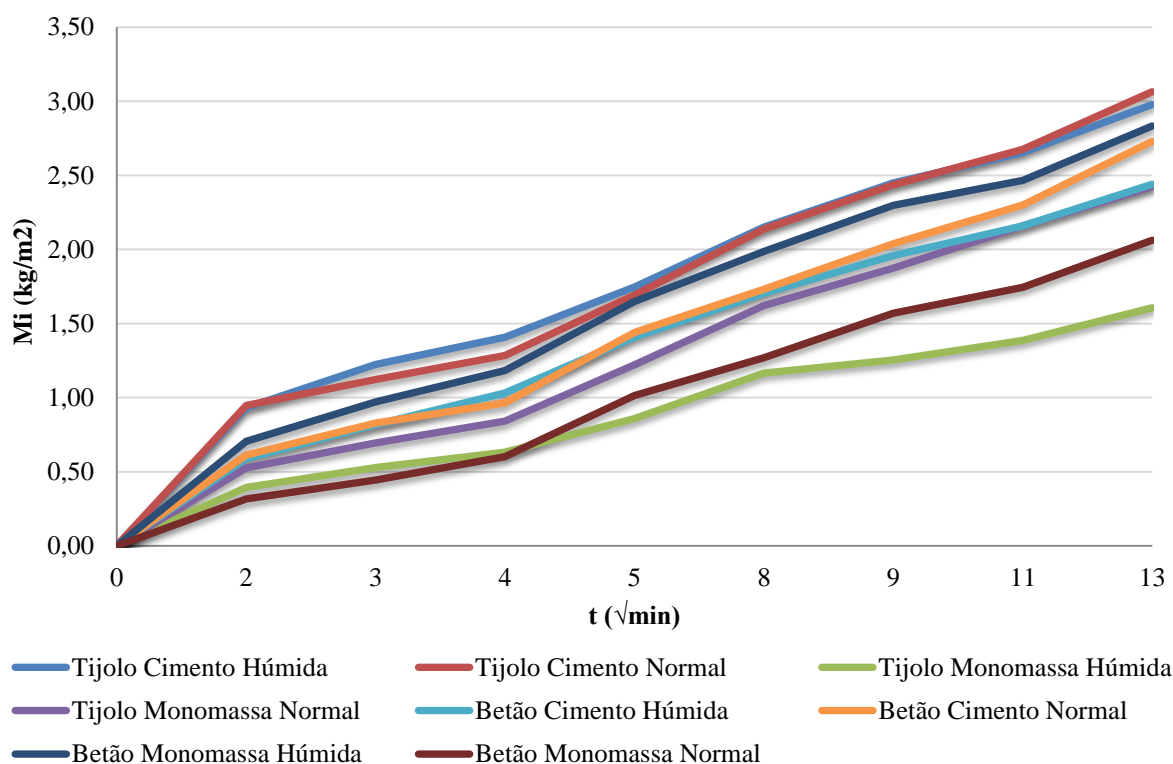


Figura 3.12: Curvas de absorção por capilaridade das primeiras 3h do ensaio

Da análise do gráfico da Figura 3.12 concluímos que o suporte de tijolo com cimento em condições de cura normal é o que atinge maior valor assintótico nas primeiras horas e o tijolo com monomassa com cura húmida a que tem menor velocidade de absorção.

Verifica-se pela Figura 3.13 que as argamassas em suporte de betão com cura húmida têm velocidade de absorção de água dentro da média, nas horas iniciais, porém maior capacidade de absorção a longo prazo. As argamassas de cimento em tijolo, têm valores assintóticos muito semelhantes, assim como, as argamassas em betão com cura normal. Conclui-se que a argamassa de monomassa aplicada em betão, com cura húmida apresenta uma velocidade de absorção superior às restantes.

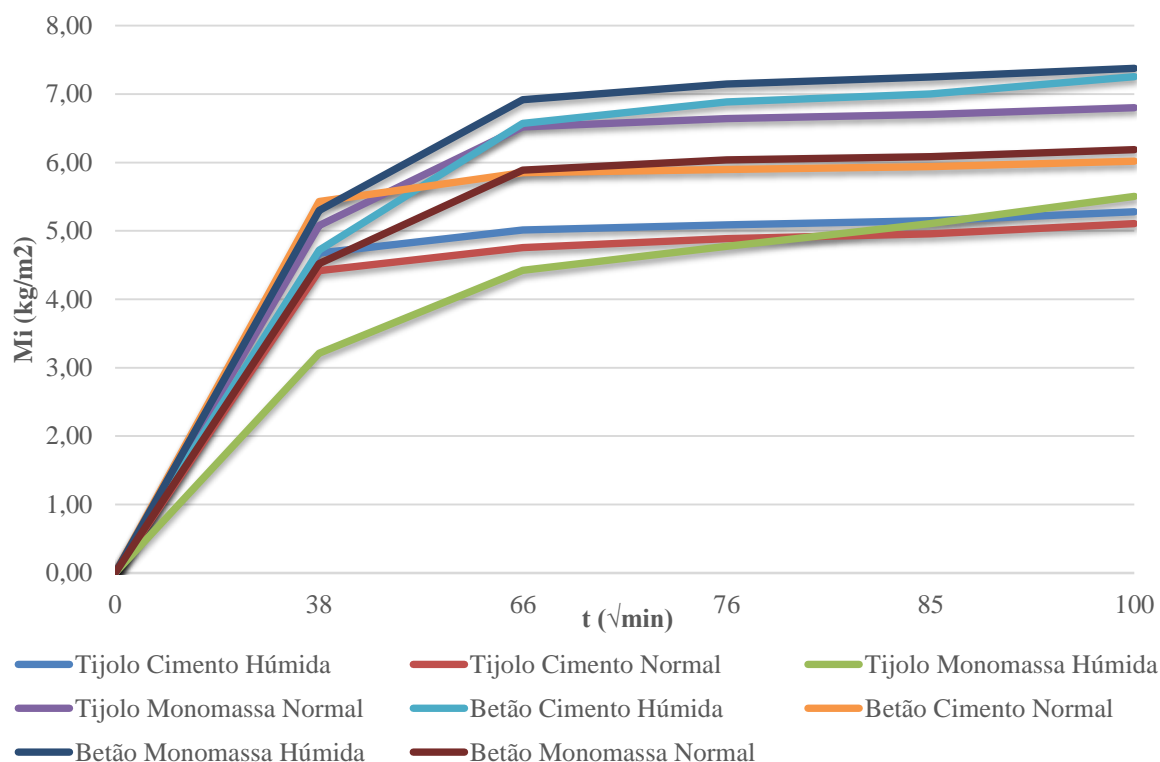


Figura 3.13: Curvas de absorção de água por capilaridade aos 28 dias

### 3.2.4 Secagem

O ensaio de secagem foi realizado logo após o ensaio de absorção por capilaridade, uma vez que os provetes utilizados ainda se encontravam completamente saturados. O ensaio foi realizado de acordo com o trabalho de Ferreira (2011), baseando-se no trabalho de Martins (2010). Durante o período de secagem os provetes foram condicionados numa câmara climática a  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  de temperatura e  $50 \pm 5\%$  de humidade relativa. A secagem deu-se segundo um eixo unidirecional visto que, estavam impermeabilizados lateralmente, tal como no ensaio de absorção por capilaridade.

Foram efetuadas pesagens (numa balança com precisão de 0,01g) de hora a hora durante 6 horas consecutivas, pois é neste intervalo que a velocidade de secagem apresenta os valores mais elevados. Posteriormente foram pesados de 24 em 24 horas, até apresentarem variação de massa constante, isto é, quando a sua variação de massa em 2 pesagens consecutivas, fosse inferior a 1%.



São dois os parâmetros que servem para analisar os resultados do ensaio de secagem: o primeiro, é a curva de secagem, manifesta a variação do teor de água no tempo e o segundo é o índice de secagem, que faculta informação sobre a velocidade de secagem.

O teor em água é dado pela expressão:

$$W_t = \frac{m_i - m_0}{m_0} \times 100 \quad [\%] \quad (3.13)$$

Sendo:

$m_i$  – massa do provete no instante  $t$ , em g;

$m_0$  – massa do provete seco em estufa, em g.

O índice de secagem é calculado através da expressão:

$$IS = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [(t_i - t_{i-1}) \times \frac{Q_{i-1} + Q_i}{2}]}{Q_{max} \times t_f} \quad (3.14)$$

Sendo,

$t_i$  – tempo de ensaio  $i$ , em horas;

$t_f$  – tempo final de ensaio, em horas;

$Q_i$  – quantidade de água no interior do provete no instante  $i$ , em % relativamente à massa seca;

$Q_{max}$  – quantidade de água inicial, em % relativamente à massa seca.

É apresentada na Figura 3.14 a curva de secagem obtida e no Quadro 3.5 o índice de secagem calculado.

Como podemos observar pela Figura 3.14, o betão com monomassa e cura húmida apresenta o valor mais alto de teor de água absorvida no início do ensaio, no lado oposto, o tijolo com argamassa de cimento e cura normal, apresenta o valor mais baixo, apresentando quase metade desse valor. Também se consegue verificar que a velocidade de secagem do betão e monomassa com cura húmida é superior às restantes, sendo a argamassa de cimento com cura húmida, para ambos os suportes a que revela maior lentidão em expulsar a água absorvida.

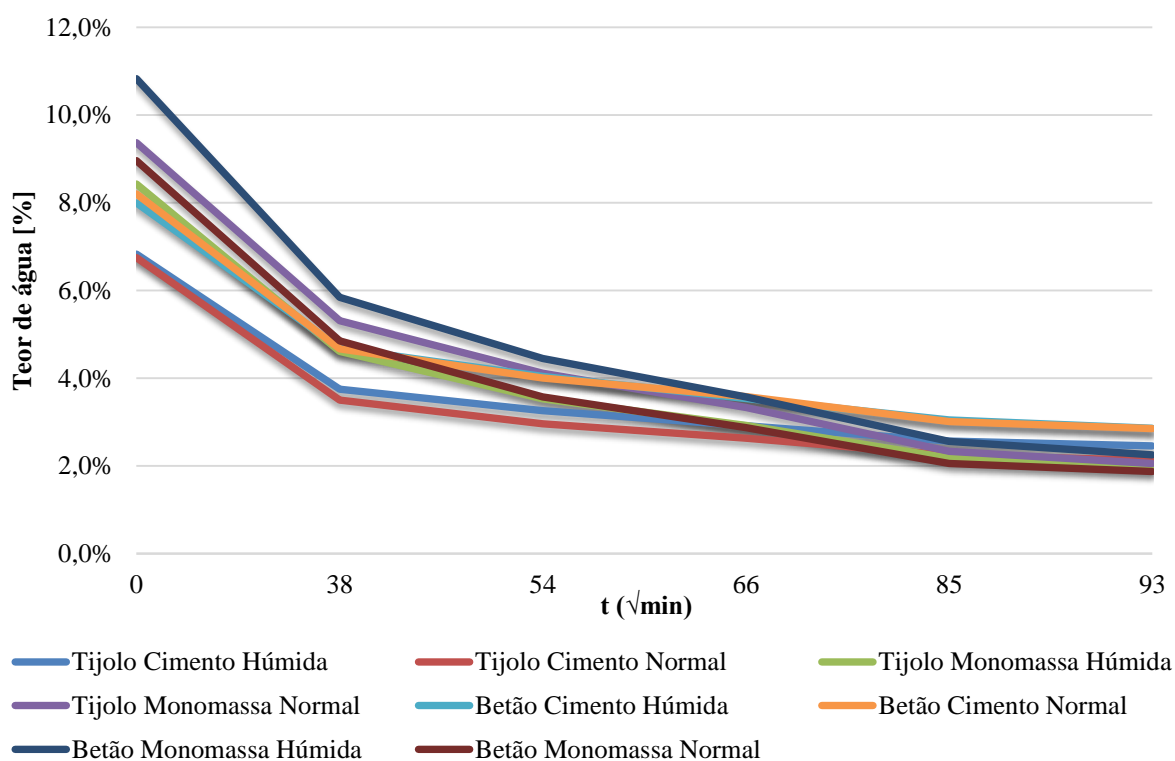


Figura 3.14: Curva de secagem aos 28 dias

Não foi possível concluir o ensaio até à secagem completa das amostras, devido a falta de tempo até ao prazo para entrega da dissertação. No entanto, o índice de secagem foi na mesma calculado, sendo provável que os valores baixassem um pouco se o ensaio tivesse sido executado até a secagem estar finalizada. Os valores são apresentados de seguida.

Quadro 3.5: Índice de Secagem

Suporte	Argamassa	Cura	Índice de secagem
Tijolo	Cimento	Húmida	0,49
		Normal	0,44
	Monomassa	Húmida	0,42
		Normal	0,42
Betão	Cimento	Húmida	0,50
		Normal	0,49
	Monomassa	Húmida	0,40
		Normal	0,40

A rapidez de secagem é tanto maior, quanto menor for o índice. Pela análise do Quadro 3.5, podemos verificar que a monomassa apresenta os valores mais baixos, o que equivale a uma secagem mais rápida. O cimento apresenta valores mais elevados, como tal, velocidade de secagem mais lenta, independentemente do suporte, sendo que a cura normal exhibe velocidades de secagem ligeiramente mais elevadas.

### 3.2.5 Permeabilidade à Água Líquida

O ensaio de permeabilidade à água líquida ou método dos tubos de Karsten é um ensaio que procura aferir, de forma expedita, a porosidade superficial de um revestimento. Para isso, foi determinada a quantidade de água absorvida à superfície, sob um gradiente de pressão numa dada área durante um intervalo de tempo definido.

Como não existe regulamentação específica para este ensaio, foram utilizados os trabalhos de Santos (2009) e Gonçalves (2010).

Para verificar a influência de vários elementos como, o tipo de suporte, o tipo de reboco e as condições de cura, utilizaram-se 8 provetes, todos distintos entre si. A avaliação da porosidade é feita, colocando na parede tubos de Karsten (tubos graduados com cerca de 4 cm<sup>3</sup> de capacidade), que são fixos com recurso a silicone, seguindo-se o enchimento de água até ao seu nível máximo (0 cm<sup>3</sup>).

As leituras da quantidade de água absorvida pela área estudada (diâmetro interno do cilindro do tubo) da alvenaria, são feitas tendo como referência o rebaixamento do nível de água, medido aos, 0,5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 90 e 120 minutos.

Existem dois métodos de ensaio, o primeiro e o adotado neste trabalho, consiste em encher até ao nível de graduação máximo (0 cm<sup>3</sup>), concluindo o ensaio quando o cronómetro atinge os 120 minutos ou quando o nível de água ultrapassa o valor máximo de absorção (4 cm<sup>3</sup>), registando o tempo que demorou a chegar a esse limite, no segundo, é feito um somatório do volume total absorvido, em 120 minutos, reiniciando a contagem a cada leitura, isto é, cada vez que é feita uma leitura nos intervalos de tempo referidos anteriormente, o tubo é cheio até ao valor inicial (0 cm<sup>3</sup>).

Para cada superfície, colocaram-se três tubos de Karsten, deste modo é possível uma melhor avaliação da heterogeneidade do comportamento do material. Na colocação dos tubos, esteve presente a preocupação, para que o ensaio se realizasse nas melhores condições, a sua

localização. Para tal, a superfície foi limpa com um pano, para remover vestígios de poeiras ou material solto e posteriormente, procedeu-se à fixação do tubo com silicone.

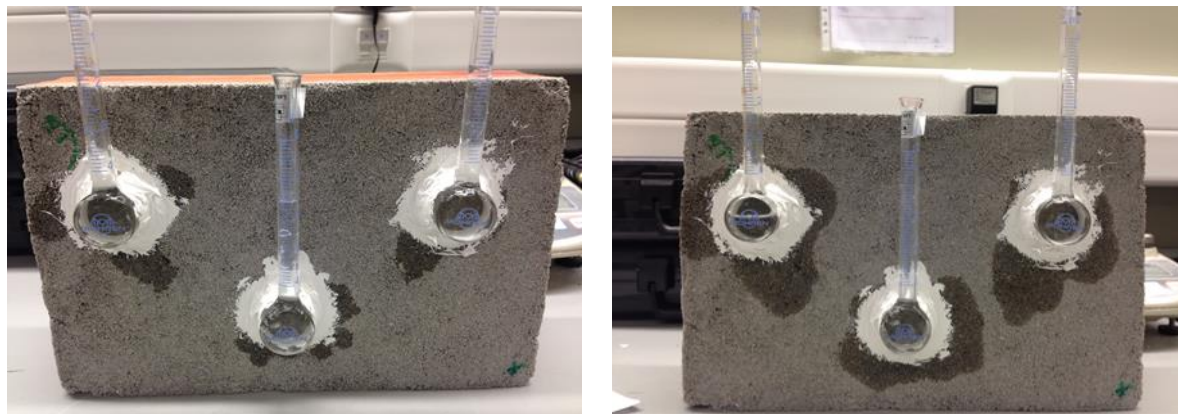


Figura 3.15: Ensaio aos 5 minutos e aos 10 minutos

A análise dos resultados é feita com recurso a 2 critérios, o coeficiente de absorção de água aos 120 minutos ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}}$ ) e a absorção de água aos 120 minutos ( $\text{cm}^3/\sqrt{\text{min}}$ ). A absorção de água é dada pelo volume de água absorvida pelo reboco ( $\text{cm}^3$ ) durante o tempo do ensaio (120 minutos), a partir da acumulação dos valores registados em cada medição. O cálculo do coeficiente de absorção é dado pela seguinte expressão:

$$C_{\text{abs}}^{120 \text{ min}} = \frac{A_{\text{bp}} \times 10^{-3}}{A_{\text{contacto}} \times 10^{-4} \times \sqrt{120}} \quad (3.15)$$

Sendo,

$C_{\text{abs}}^{120 \text{ min}}$  - coeficiente de absorção de água aos 120 minutos, em  $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}}$ .

$A_{\text{bp}}$  - massa de água absorvida aos 120 minutos, em g.

$A_{\text{contacto}}$  - área de contato do tubo com a superfície (considera-se igual a  $5,3 \text{ cm}^2$ )

Uma vez que a massa volúmica da água é  $1 \text{ g}/\text{cm}^3$  para a temperatura corrente, a massa de água absorvida aos 120 minutos, é igual ao volume de água medido nesse intervalo de tempo, em  $\text{cm}^3$  (o outro parâmetro calculado), como a graduação dos tubos é de 0 a  $4 \text{ cm}^3$ , o valor máximo absorvido será esse, visto que, não é possível fazer leituras rigorosas, ultrapassado esse valor.

De seguida são apresentados os resultados relativos a este ensaio, o coeficiente de absorção na Figura 3.16 e a curva de evolução da absorção de água sob baixa pressão, na Figura 3.17.

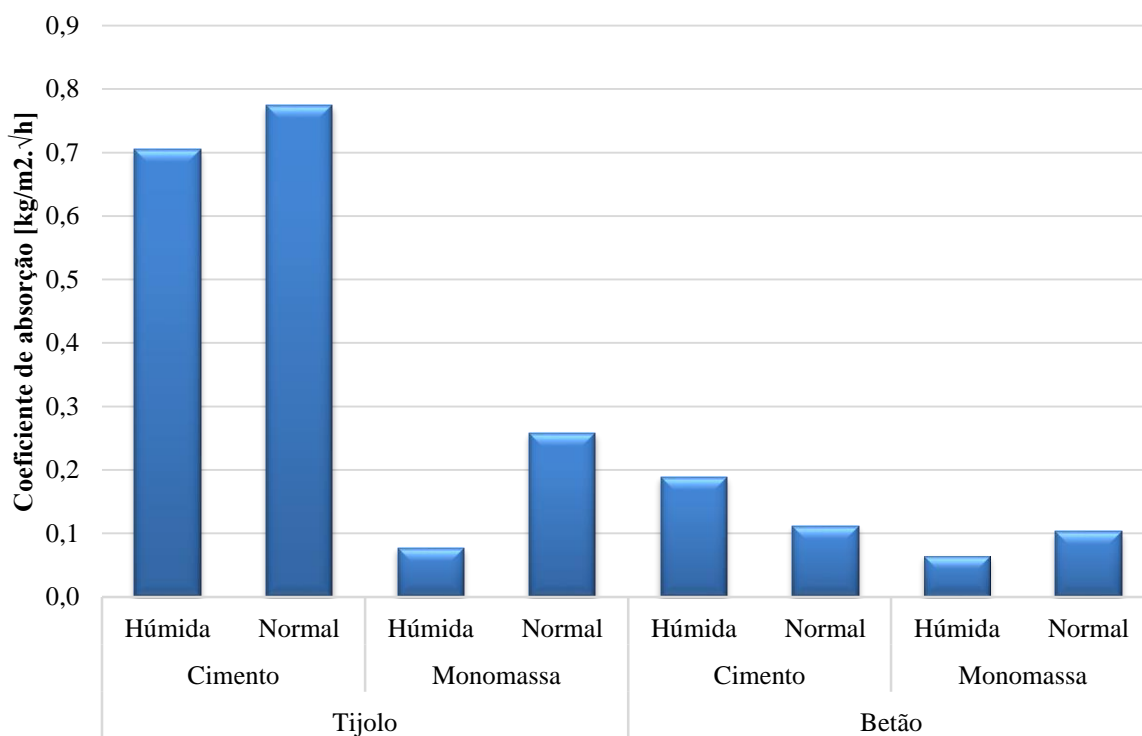


Figura 3.16: Coeficiente de absorção para o ensaio de permeabilidade sob baixa pressão

Analisando a Figura 3.16, verifica-se que o suporte de tijolo com argamassa de cimento se destaca claramente, com um coeficiente de absorção bastante maior que os restantes, sendo que a monomassa com cura húmida, regista os valores mais baixos para ambos os suportes. Também se constata que, a cura normal proporciona valores de coeficiente de absorção mais elevados.

Pela análise da Figura 3.17, verifica-se que a velocidade de absorção, como já se tinha referido anteriormente, do tijolo com argamassa de cimento é bastante mais elevada do que as restantes, sendo esta, uma representação gráfica da Figura 3.16 em função da raiz quadrada do tempo. Este valor tão elevado de água absorvida poderá ter resultado de uma inadequada execução na colocação da argamassa, provocando falta de aderência entre o reboco e o suporte.

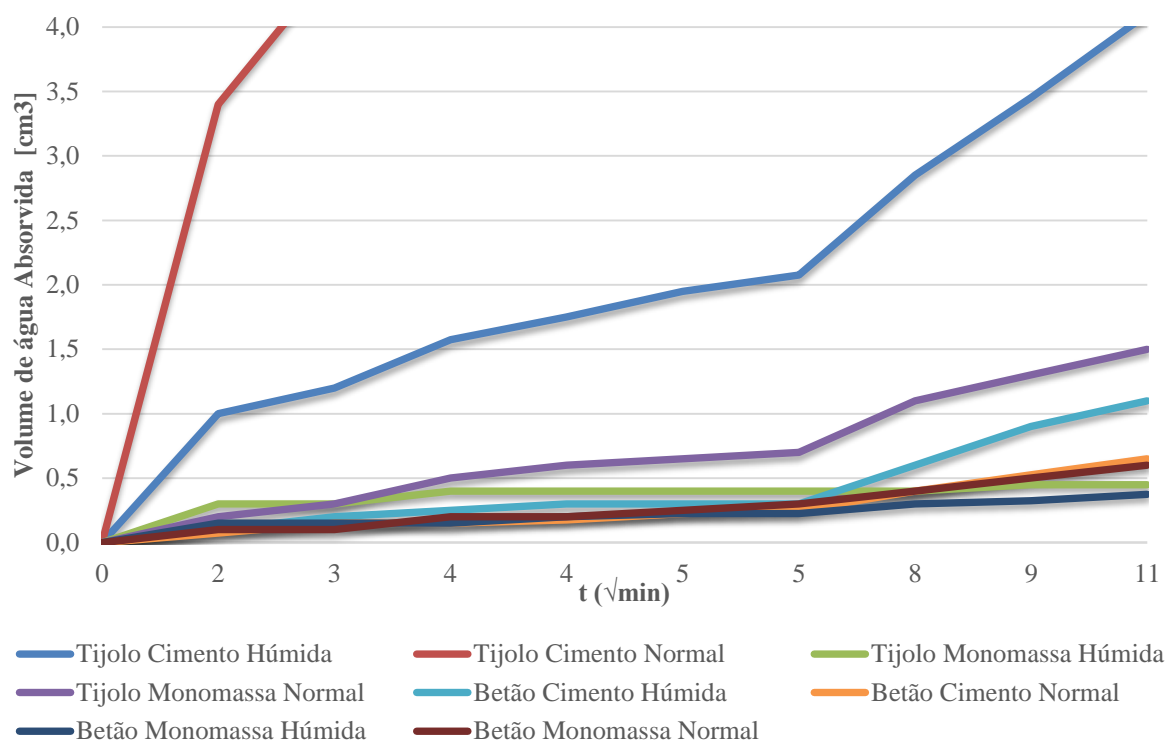


Figura 3.17: Evolução da absorção de água sob baixa pressão

### 3.2.6 Aderência (*Pull-Off*)

Este ensaio serve para avaliar de forma direta, a aderência entre a argamassa e o suporte, através da força necessária para produzir o arrancamento de uma pastilha metálica, previamente colada, bem como para avaliar a compatibilidade entre os dois elementos. Todo o procedimento teve como base a norma EN 1015-12:2000 (CEN, 2000).

A preparação do ensaio consiste primeiramente, em marcar no suporte, a colocação das pastilhas metálicas (geralmente 4 por suporte) deve ser numa zona rugosa e regular para que a pastilha fixe corretamente. De seguida, os suportes são cortados com recurso a uma rebarbadora, de acordo com a marcação feita anteriormente, até atingir o suporte. Este passo serve para isolar a zona onde será realizado o ensaio, de forma a não provocar esforços de tração nos provetes vizinhos, minimizando a variabilidade dos resultados. Finalmente, as pastilhas metálicas, com dimensão 50x50x15mm, são coladas ao reboco com cola epóxi, para garantir o eficaz espalhamento e a respetiva uniformidade da camada, e são pressionadas durante breves minutos. Considerou-se que a colagem estava concluída, 24h depois da sua aplicação.



Figura 3.18: Pormenor do corte do suporte para a colagem das pastilhas metálicas

O arrancamento é efetuado com recurso a um equipamento próprio, que permite a aplicação de uma força de tração, perpendicularmente à pastilha, através de um gancho enroscado na pastilha metálica. A força é aplicada gradualmente e o seu valor vai sendo registado no dinamómetro até à ocorrência da rotura. Os valores da tensão de aderência apresentados correspondem à média dos provetes ensaiados para cada suporte.



Figura 3.19: Equipamento utilizado para o ensaio “Pull-off”



Figura 3.20: a) Rotura por coesão do suporte  
b) Rotura adesiva

São várias as formas como a rotura pode ocorrer, diferindo consoante a superfície pela qual ocorre. Se a rotura ocorrer na interface da argamassa com o suporte, denomina-se do tipo adesiva (Tipo A) e o valor do ensaio é o valor da resistência adesiva, podendo também ser do tipo coesiva quando a rotura ocorre no seio da argamassa (Tipo B) ou no seio do suporte (Tipo C) e, nestes casos, a resistência adesiva é superior ao valor do ensaio. Nos casos em que a rotura ocorre entre a pastilha e a argamassa, o valor registado não é válido.

O valor da resistência adesiva foi calculado através da fórmula:

$$f_u = \frac{F_u}{A} \quad (3.16)$$

Sendo:

$f_u$  – resistência adesiva, em N/mm<sup>2</sup>

$F_u$  – carga de tração, em N

$A$  – área de teste, em mm<sup>2</sup>

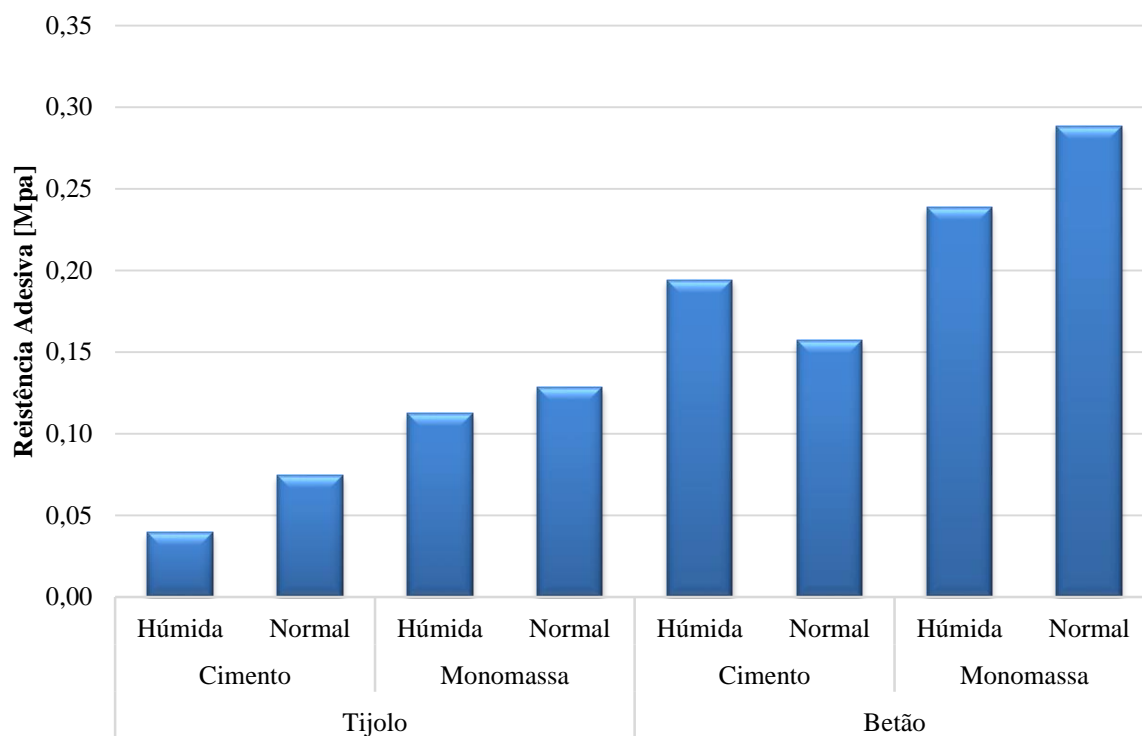
Os resultados do ensaio *pull-off*, em que se determina a resistência adesiva, serão apresentados no Quadro 3.6.

Quadro 3.6: Resultados do ensaio *pull-off*

Suporte	Argamassa	Cura	Resistência Adesiva [Mpa]	Tipo de Rotura
Tijolo	Cimento	Húmida	0,04	A
		Normal	0,07	C
	Monomassa	Húmida	0,11	A
		Normal	0,13	C
Betão	Cimento	Húmida	0,19	A
		Normal	0,16	A
	Monomassa	Húmida	0,24	A
		Normal	0,29	A

É apresentado o mesmo resultado em forma de gráfico para facilitar a leitura e interpretação de resultados, na Figura 3.21.



Figura 3.21: Resistência adesiva ( $f_u$ )

A resistência adesiva do betão é bastante superior à do tijolo em todos os parâmetros analisados, mostrando também que a resistência da monomassa obtém valores superiores à argamassa de cimento. A cura normal, de um modo geral, apresenta melhor comportamento relativamente à da cura húmida quando sujeita a esforços de tração, visto que, em 2 situações, a rotura dos provetes ocorreu pelo suporte e não pela argamassa.

### 3.2.7 Resistência à Compressão

Para determinar a resistência da argamassa à compressão, o ensaio foi realizado de acordo com a norma EN 1015-11:1999 (CEN, 1999). Foram utilizados 3 provetes para cada grupo de ensaio, como referido anteriormente.

Os provetes utilizados para este ensaio foram anteriormente utilizados para o ensaio da porosidade aberta, pelo que, antes da realização do ensaio à compressão, foram sujeitos a 48h de secagem em estufa a uma temperatura de 60°C.

Neste ensaio, o provete é colocado no equipamento próprio (Figura 3.22), centrado em relação à face do equipamento que exerce a força de compressão. A carga é aplicada sem choque, a uma taxa constante até se atingir a rotura.

A resistência à compressão foi calculada através da seguinte expressão:

$$R_c = \frac{F}{A} \quad (3.17)$$

Sendo:

$R_c$  – resistência à compressão, em  $N/mm^2$

$F$  – carga de rotura, em N

$A$  – área de carga, em  $mm^2$

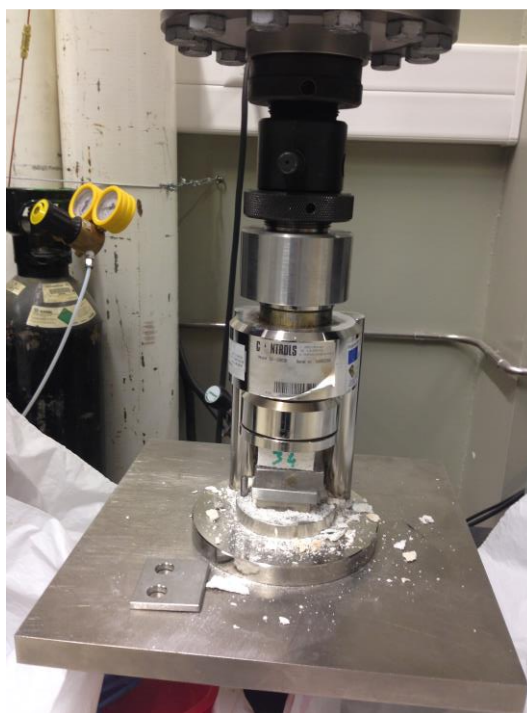


Figura 3.22: Equipamento utilizado para o ensaio de resistência à compressão

São exibidos na Figura 3.23 os resultados obtidos no ensaio de compressão.

Em relação ao ensaio de compressão, podemos verificar que a argamassa de cimento relativamente à monomassa apresenta valores mais elevados. O valor mais elevado é registado no suporte de betão e argamassa de cimento com cura húmida, sendo o mais baixo também no suporte de betão e cura húmida, porém com monomassa.

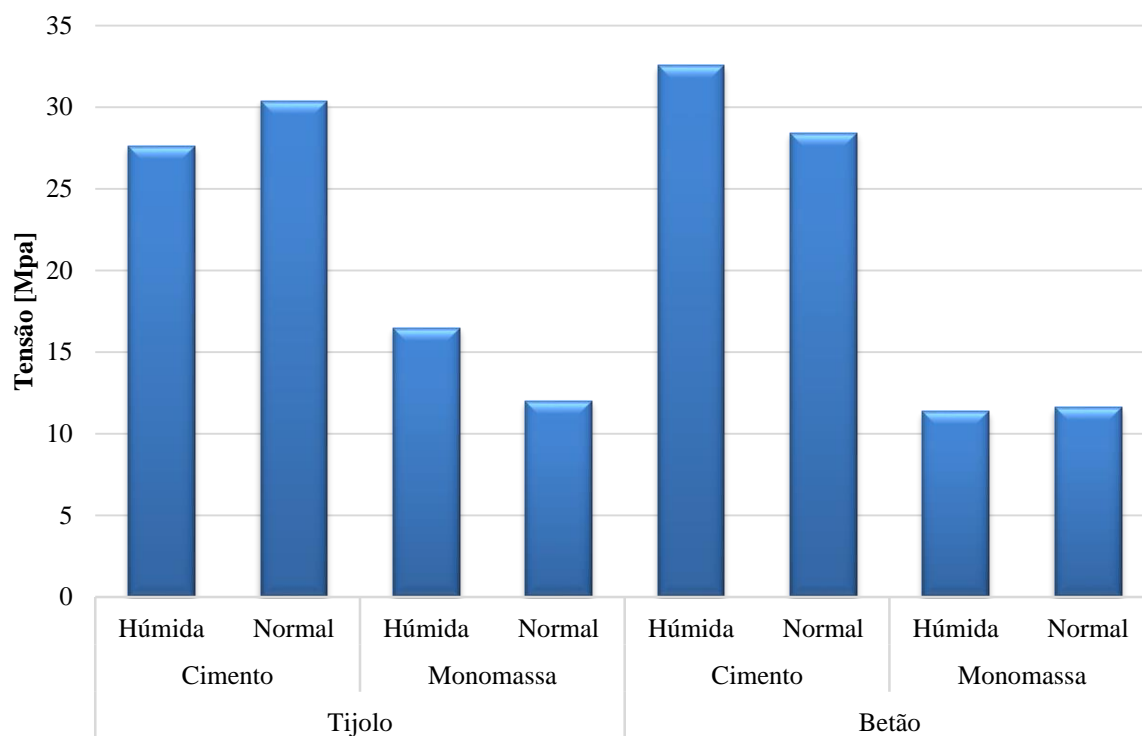


Figura 3.23: Resultados do ensaio de compressão

### 3.3 Análise Comparativa dos Resultados

Neste capítulo pretende-se fazer uma análise global dos resultados, interligando-os para que sejam retiradas algumas conclusões. Como já foi referido anteriormente, todos os ensaios foram feitos aos 28 dias.

A primeira análise efetuada incide na comparação da porosidade, representada a azul na Figura 3.24, com a resistência à compressão. Para o efeito destaca-se uma vez mais o trabalho de Carneiro (1993), onde se estabelece a seguinte relação: quanto menor a porosidade, maior a resistência mecânica, ou seja, quanto maior o volume de vazios, menor a resistência.

Quando comparados os valores da argamassa de cimento com os da monomassa, apresentados na Figura 3.24, facilmente concluímos que a menor porosidade da argamassa de cimento, resulta em resistências à compressão mais elevadas. Em relação ao tipo de cura, não é possível definir um padrão, visto que, na argamassa de cimento, a porosidade é praticamente a mesma.

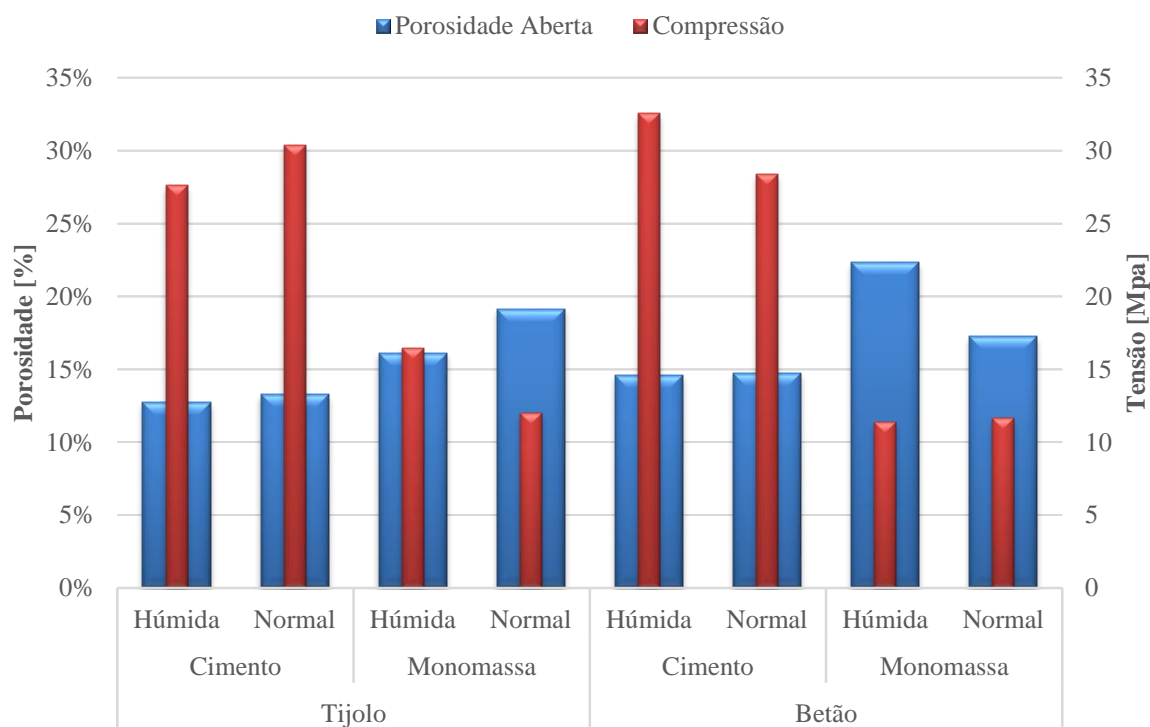


Figura 3.24: Comparação entre porosidade e resistência à compressão

Verifica-se o mesmo comportamento no que diz respeito à monomassa quando o suporte é o tijolo, sendo que no caso desse mesmo suporte ser betão, a resistência registada não varia de forma significativa, apesar das diferentes porosidades.

Em relação às diferentes solicitações mecânicas a que os provetes foram sujeitos, podemos verificar que a resistência à compressão é (em grande parte dos provetes) inversamente proporcional à resistência adesiva (esforço de tração), exceção feita aos resultados obtidos para a monomassa quando o suporte é tijolo.

Na Figura 3.25 podemos apurar a influência direta que o suporte tem na resistência adesiva. Se por um lado a aplicação da argamassa em tijolo resulta num melhor comportamento do reboco sujeito a forças de compressão, o betão apresenta um melhor comportamento quanto à adesão ao suporte. Isto pode ser explicado através da configuração do tijolo, uma vez que nem toda a sua área resiste ao esforço, mas sim apenas uma das suas paredes interiores. À semelhança do registado na comparação entre porosidade e resistência à compressão, podemos também com esta análise verificar a pouca influência que as condições de cura têm no produto final.

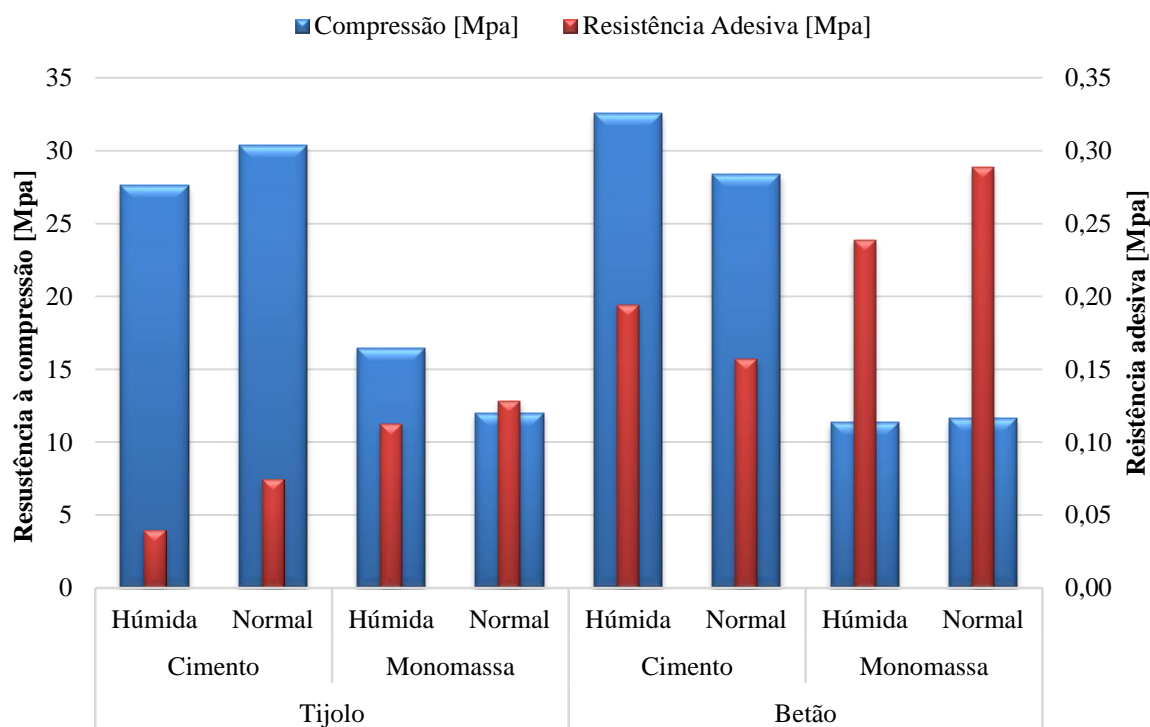


Figura 3.25: Comparação entre resistência à compressão e resistência adesiva

Relativamente ao comportamento das argamassas ensaiadas quando expostas à água, também foi efetuada uma análise geral, onde se interligaram fatores que poderão influenciar essa prestação.

A norma EN 1015-18:2002 (CEN,2002) apenas se aplica a argamassas cimentícias, excluindo assim a monomassa. Como tal, optou por se fazer a análise geral dos resultados de absorção por capilaridade, segundo a norma EN 15801:2009 (CEN, 2009).

Relativamente à Figura 3.26, seria de prever a existência de uma proporcionalidade direta entre a porosidade e a absorção de água por capilaridade, uma vez que quanto maior o número de poros, maior é o volume de água que pode ser absorvido.

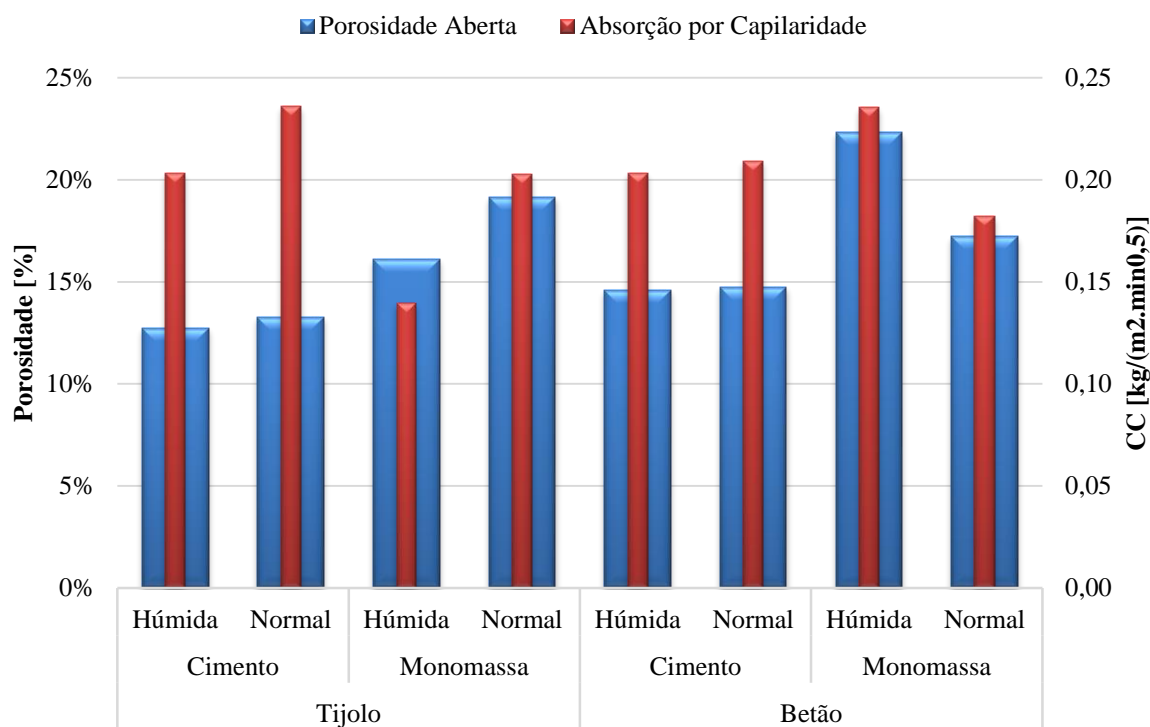


Figura 3.26: Porosidade aberta e absorção por capilaridade

No entanto, conforme se pode verificar pela análise da Figura 3.26, esta condição apenas se verifica para as monomassas. A mesma análise revela que os resultados em argamassas de cimento são independentes do tipo de suporte ou da condição de cura, sendo que a porosidade pouco influencia este parâmetro.

A grande absorção de água, associada à baixa porosidade pode eventualmente ser explicada pela dimensão dos poros do cimento, que, como se sabe, conduzem a maiores distâncias de absorção, quando os diâmetros são mais reduzidos. Para uma melhor compreensão deste resultado, seria necessário levar a cabo uma porosimetria, pelo que se sugere esta abordagem num trabalho futuro.

De seguida, será analisada a relação entre a permeabilidade ao vapor de água e a porosidade aberta, cujos resultados se remetem para a Figura 3.27.

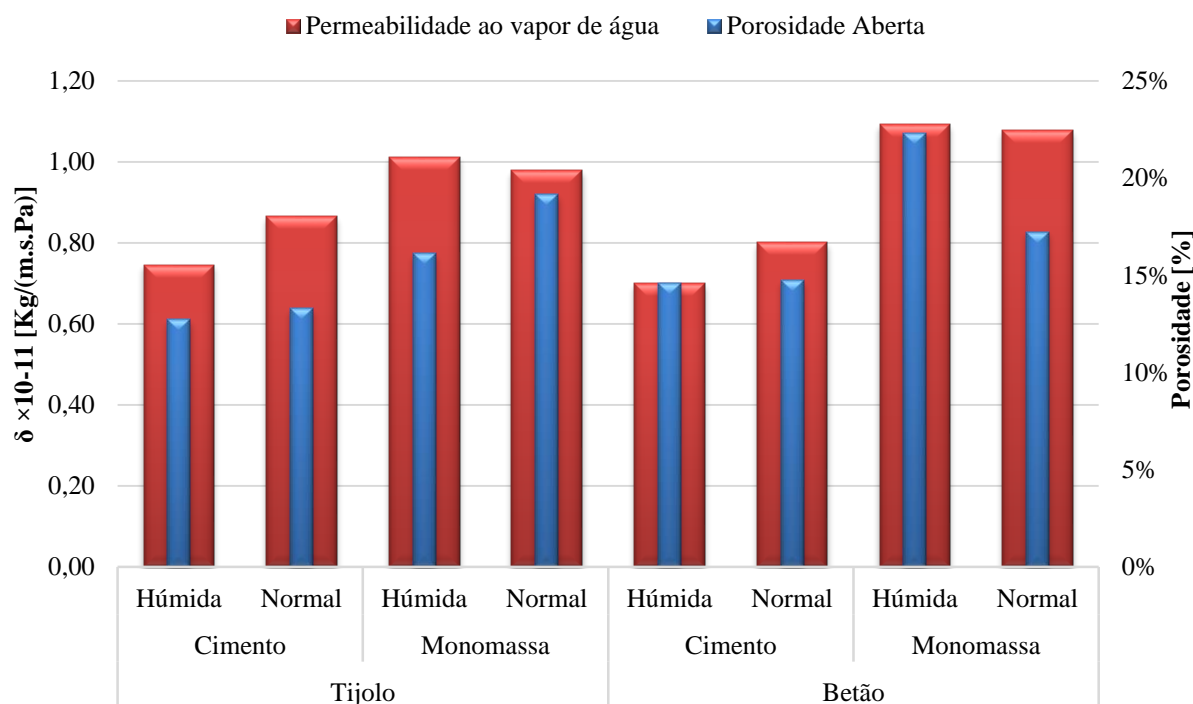


Figura 3.27: Porosidade aberta e permeabilidade ao vapor de água

Analisando a Figura 3.27, é possível verificar que uma baixa porosidade é acompanhada de uma baixa permeabilidade ao vapor de água, ao contrário do concluído na Figura 3.26. As argamassas de cimento, apresentam valores mais baixos de permeabilidade ao vapor de água, o que poderá resultar da dimensão dos poros, referida anteriormente.

É importante realçar que a porosidade está diretamente relacionada com a permeabilidade ao vapor de água, exercendo menor influência relativamente à absorção por capilaridade. Podemos também concluir que a cura húmida provoca menor permeabilidade ao vapor de água em argamassas de cimento, porém aumenta a permeabilidade ao vapor de água nas monomassas. A relação entre os valores da porosidade aberta e o índice de secagem pode ser analisada pela Figura 3.28. De forma a permitir uma comparação direta dos resultados, o índice de secagem vem expresso em percentagem.

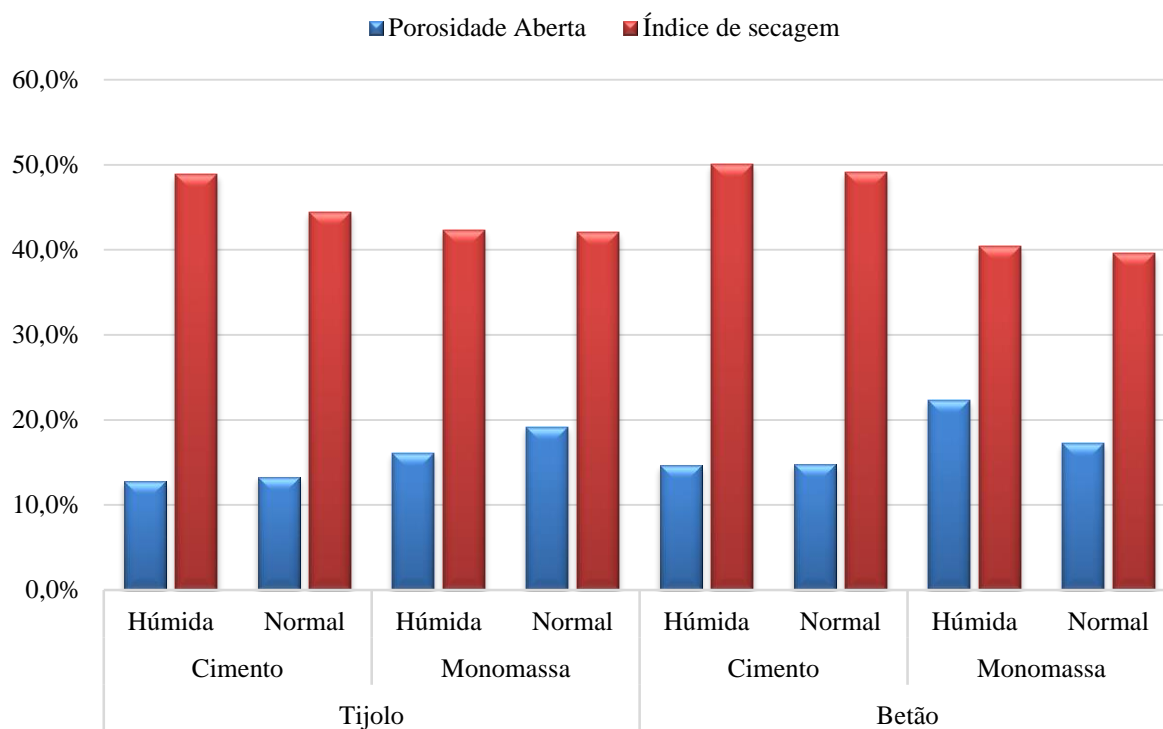


Figura 3.28: Porosidade aberta e índice de secagem

Uma primeira observação da Figura 3.28 permite verificar a existência de uma proporcionalidade direta entre a porosidade e a velocidade de secagem. Como referido anteriormente, um menor valor de índice de secagem representa maior rapidez de secagem. Perante esta condição, é possível concluir que a monomassa tem maior rapidez de secagem, devido ao maior valor de porosidade aberta. Mais uma vez verificamos que o tipo de cura, pouca influência tem nos resultados finais, só apresentando ligeira alteração se a argamassa de cimento for aplicada em tijolo.

Na Figura 3.29 é apresentada a relação entre os valores da absorção de água por capilaridade, permeabilidade à água líquida e porosidade aberta, para tentar perceber de que forma a porosidade aberta influencia estes parâmetros.



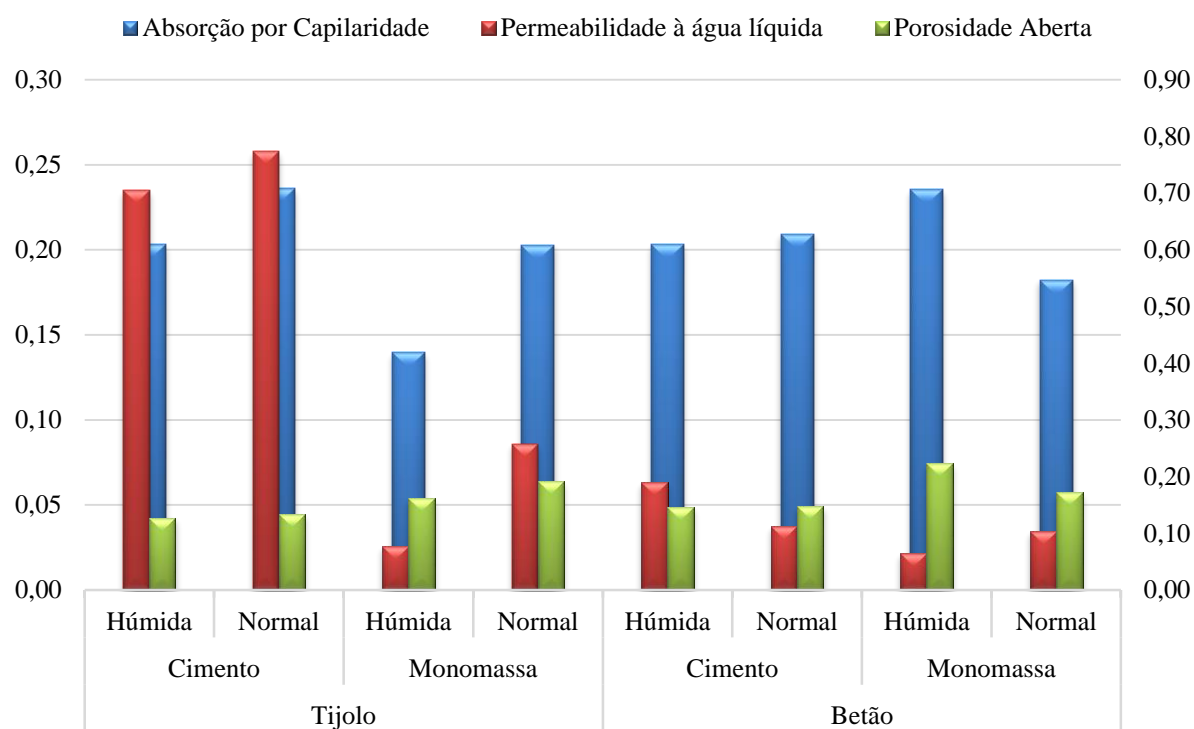


Figura 3.29: Absorção de água por capilaridade, permeabilidade à água líquida e porosidade aberta

Pela análise da Figura 3.27, verifica-se que nem sempre se pode relacionar a porosidade com a permeabilidade. Como verificamos pela análise da Figura 3.26, a proporcionalidade direta entre a porosidade aberta e a absorção de água por capilaridade não acontece. O mesmo sucede em relação à permeabilidade à água líquida, embora este seja um ensaio normalmente feito *in-situ*, que nos fornece uma análise expedita da permeabilidade do reboco. São vários os fatores que influenciam este indicador, de entre os quais se destaca a coesão do reboco com o suporte. Por este motivo, e analisando os valores da resistência adesiva para o tijolo com argamassa de cimento (Figura 3.25), podemos concluir que este valor de permeabilidade não deverá ser real, mas sim decorrente de uma possível deficiente aplicação da argamassa no suporte.

## 4 CONCLUSÕES

Podemos, concluir que os objetivos a que o estudo se propunha foram cumpridos. Foram também adquiridas competências práticas e teóricas que ultrapassam os objetivos inicialmente traçados.

Pretendendo este estudo determinar alguns fatores que influenciam as características das argamassas aplicadas em diferentes suportes e diferentes curas, concluímos:

- O tipo de suporte influencia diretamente as propriedades mecânicas, nomeadamente, a resistência adesiva, mas, não tanto o comportamento das argamassas face à água. O betão apresentou melhor resistência adesiva, melhor permeabilidade ao vapor de água e à água líquida. No entanto, o tijolo revelou ser mais eficaz na resistência à compressão, na secagem e na absorção por capilaridade.
- As condições de cura têm maior destaque no comportamento mecânico, do que no higrotérmico. A análise global concluiu que a cura normal é mais útil em situações de maior absorção por capilaridade, permeabilidade à água líquida e maior solicitação de esforços de compressão. Sendo a cura húmida a melhor opção quando é exigida melhor permeabilidade ao vapor de água, secagem ou resistência adesiva.
- A argamassa de cimento é mais indicada para situações em que seja necessária uma elevada resistência à compressão e o comportamento higrotérmico não seja preponderante, uma vez que apresenta valores elevados de permeabilidade à água líquida, de absorção de água por capilaridade e menor permeabilidade ao vapor de água face à monomassa.
- A monomassa regista melhor comportamento higrotérmico, apresentando valores opostos aos descritos no ponto anterior e resistência adesiva superior à argamassa de cimento, porém, menor porosidade e maior valor assintótico.

Exige-se que uma argamassa de revestimento tenha boas características mecânicas, boa permeabilidade ao vapor de água e pouca absorção de água. Como resultado deste trabalho, conclui-se que a monomassa apresenta mais vantagens tanto funcionais como estéticas,

---

relativamente às argamassas de cimento, porém, o seu custo (ainda) elevado e a maior especificidade na aplicação, são fatores a ter em conta na escolha final.

Como continuação deste trabalho, surge a hipótese de incorporar a realização de novos ensaios, como por exemplo o ensaio de porosimetria, módulo de elasticidade, retração das argamassas durante a cura, entre outros de maneira a retirar mais e melhores conclusões, de forma a expandir o conhecimento sobre este tema.

Outra sugestão que se deixa passa pela execução do mesmo trabalho em diferentes suportes, fazendo a adição de argamassas de cal e, adicionalmente, promovendo um processo de envelhecimento acelerado

---

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, N. J. D. (2002). “Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Brasília, Brasília

APFAC, Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção (2008). “Tema 3: Argamassas de Reboco e Monomassas (EN 998-1)”. Monografias APFAC sobre Argamassas de Construção. Lisboa

Baía, L.L.M.; Sabbatini, F.H. (2000). “Projeto e execução de revestimentos de argamassa”. São Paulo: O Nome da Rosa.

Botelho, Patrícia Cláudia (2003). ”Argamassas tradicionais em suportes de alvenaria antiga: comportamento em termos de aderência e durabilidade”. Tese de Mestrado pelo Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Candia, M. C. (1998). “Contribuição ao Estudo das Técnicas de Preparo da Base no Desempenho dos Revestimentos de Argamassa. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Carasek, H. (1996). “Aderência de Argamassas a Base de Cimento Portland a Substratos Porosos – Avaliação dos Fatores Intervenientes e Contribuição ao Estudo do Mecanismo de Ligação”. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

Carneiro, A. M. P. (1993). “Revestimento Externo em Argamassa de Cimento, Cal e Areia – Sistemática das Empresas de Construção Civil de Porto Alegre”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Carneiro, A. M. P. (1999). “Contribuição ao Estudo da Influência do Agregado nas Propriedades de Argamassas Compostas a Partir de Curvas Granulométricas”. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Ceotto, L. H.; Banduk, R. C.; Nakamura, E. H. (2005) “Revestimentos de argamassas: boas práticas em projeto, execução e avaliação”. ANTAC. Porto Alegre.

---

CEN (1999). “Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar”. EN 1015-11:1999, CEN, Brussels.

CEN (2000). “Methods of test for mortar for masonry – Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates”. EN 1015-12, CEN, Brussels.

CEN (2001). “Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water vapour transmission properties”. EN ISO 12572:2001, CEN, Brussels.

CEN (2002). “Methods of test for mortar masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar”. EN 1015-18:2002, CEN, Brussels.

CEN (2009). “Conservation of cultural property – Test methods - Determination of water absorption by capillarity”. EN 15801:2009, CEN, Brussels.

Comunidade da Construção de Porto Alegre. (2005). “Projeto de racionalização das estruturas de concreto e revestimentos de argamassa”. In Comunidade da Construção, 1. Cd-rom. Porto Alegre.

Coutinho, A. de Sousa (1988). “Fabrico e Propriedade do Betão, volume I”. Laboratório Nacional de Engenharia civil, 2ª edição.

Coutinho, Joana de Sousa (2002) “Apontamentos de Ciências Materiais – 1ª Parte – Agregados para argamassas e betões”; Documento provisório – FEUP.

Duarte, Tiago Manuel Soares. (2011). “Comportamento mecânico de argamassas de cal com resíduos cerâmicos”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FCTUC. Coimbra.

Faria, P. (2004). “Argamassas de revestimento para alvenarias antigas – contribuição para o estudo da influência dos ligantes”. Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Ferreira, Tiago Alexandre Fojo. (2011). “Análise do comportamento higrotérmico de argamassas de cal aérea com resíduos cerâmicos”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FCTUC. Coimbra.

---

Gonçalves, Ana Eduarda Nunes. (2010). “Estudo da influência dos fatores de aplicação no desempenho de argamassas de revestimento recorrendo a técnicas de ensaio *in-situ*”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico. Lisboa

Guerreiro, Carlos Manuel. (2007). “Estudo e caracterização de argamassas de cal aérea, medianamente hidráulicas e de ligantes mistos para rebocos de edifícios antigos”. Tese de Mestrado pelo Instituto Superior Técnico. Lisboa.

IPQ (2008a). “Métodos de ensaio de argamassas para alvenaria. Parte 19: Determinação da permeabilidade ao vapor de água de argamassas de reboco endurecidas”. NP EN 1015-19, IPQ, Caparica.

IPQ (2008b). “Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta”. NP EN 1936:2008, Instituto Português da Qualidade.

Iserhard, J. L. R. F. (2000). “Contribuição ao estudo da viabilidade da cura do concreto por energia solar”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

Lorenzetti, U. V.; Fredel, M. C.; Gleise, P. (2002). “Avaliação da eficiência dos procedimentos de cura na reabilitação do concreto: resistência à compressão, perda de massa e absorção de água por capilaridade”. In: Workshop sobre durabilidade das construções, 2. Anual. São José dos Campos.

Martins, A. (2010). “A influência das condições de cura em argamassas de cais aéreas com e sem adição de metacaulino”. Dissertação de Mestrado da Escola Superior de Tecnologia do Barreiro do Instituto Politécnico de Setúbal. Setúbal

Miranda, Lina Maria Carvalho da Costa. (2009). “Estudo comparativo entre argamassa de revestimento à base de cimento com adição da cal hidráulica e da cal hidratada”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real

Moura, Cristiane Borges. (2007). “Aderência de Revestimentos Externos de Argamassa em Substratos de Concreto: Influência das Condições de Temperatura e Ventilação na Cura do Chapisco”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

Neville, A. M. (1997). “Propriedades do concreto”. PINI. São Paulo.

Paes, I. L. (2004). “Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação”. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade de Brasília. Brasília.

Quintela, Marisa Betânia. (2006). “Durabilidade de revestimentos exteriores de parede em reboco monocamada”. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Sabbioni, C.; Bonazza, A; Zappia, G. (2002). “Damage on hydraulic mortars: the Venice Arsenal”. *Journal of Cultural Heritage* 3. pp. 83-88.

Scartezini, L. M. (2002). “Influência do Tipo e Preparo do Substrato na Aderência dos Revestimentos de Argamassa: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Goiás, Goiânia.

Sandin, K. (1995). “Mortars for Masonry and Rendering: Choice and application”. *Building Issues*, Lund, Sweden: Lund University, v.7, n.3. Sweden

Santos, Sérgio Rodrigo da Silva (2009). “Argamassas pré-doseadas para rebocos de edifícios recentes”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Militar. Instituto Superior Técnico. Lisboa

Sousa, Ana Catarina Dias de. (2009). “Monomassas, Caracterização comparativa dos produtos vigorantes no mercado”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. FEUP. Porto

Tan, K.; Gjorv, O. E. (1996). “Performance of concrete under different curing conditions”. *Cement and Concrete Research*, n.26, march.

Tristão, F. A. (1995). “Influência da Composição Granulométrica da Areia nas Propriedades das Argamassas de Revestimento”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.