



Jorge Guilherme Rodrigues Gomes

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

**Caracterização experimental do
comportamento reológico e mecânico
de *grouts* com hidrófugo vegetal**

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

Orientador: Luís Gonçalo Correia Baltazar, Professor
Auxiliar Convidado, Faculdade de Ciências e
Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Rodrigo M. Gonçalves
Arguente: Prof. Doutor Fernando M. A. Henriques
Vogal: Prof. Doutor Luís Gonçalo Correia Baltazar



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro de 2016

“Copyright” Jorge Guilherme Rodrigues Gomes, FCT/UNL e UNL

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

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Doutor Luís Baltazar pelo apoio prestado ao longo da dissertação, através da disponibilidade, sugestões e transmissão de conhecimento.

Quero agradecer também ao Eng. Vítor Silva pelo apoio prestado ao longo da campanha experimental e à Professora Doutora Maria Teresa Cidade do DCM, pela disponibilização do laboratório de reologia no CENIMAT para a realização das medições reológicas.

Gostaria igualmente de agradecer aos amigos e colegas de curso pelo apoio e convivência.

Em último lugar agradeço à minha família que me proporcionou este percurso académico, e pela educação e valores transmitidos.

Resumo

No edificado existente nos centros históricos das grandes cidades a conservação ganha protagonismo. Os monumentos e edifícios antigos necessitam intervenções onde o objetivo principal é a manutenção das características originais. Os rebocos são o revestimento mais exterior da envolvente de um edifício, têm a função de proteger o edifício dos agentes agressivos exteriores como a água, choques, poeiras e agentes químicos presentes no ar. Como tal apresentam, na maioria das vezes, um elevado estado de degradação.

Assim, para a conservação dos rebocos destas construções as injeções de *grout* tornam-se soluções eficientes, em detrimento da sua remoção e substituição, uma vez que a criação de uma argamassa com comportamento mecânico e físico idêntico ao existente é de extrema dificuldade. Para uma correta aplicação dos *grouts* torna-se imprescindível o estudo das suas características reológicas, mecânicas e de durabilidade. A adição de um hidrófugo de origem natural, o óleo de linhaça, vem conferir propriedades hidrofóbicas ao *grout* e conseqüentemente melhorar o comportamento do revestimento face à água e, simultaneamente, minimizar os danos causados pela sua presença.

O presente trabalho tem como principal objetivo avaliar a viabilidade da utilização do óleo de linhaça como adjuvante em *grouts* à base de cal hidráulica natural para consolidação de argamassas de revestimento. Foram realizados ensaios reológicos, com o reómetro, e ensaios mecânicos e de durabilidade: resistência à tração por flexão, resistência à compressão, módulo de elasticidade dinâmico, porosidade aberta, capilaridade e secagem, termogravimetria e aderência com recurso a provetes mistos. Também foi estudada a influência da dimensão dos provetes através de provetes não normalizados.

Com os ensaios realizados conclui-se que embora os *grouts* com óleo de linhaça apresentem pior desempenho em termos de resistência mecânica, apresentam melhorias significativas no seu comportamento relativamente à água e aos cloretos. Foi ainda possível observar uma pequena redução na aderência com a presença do óleo de linhaça, mantendo no entanto valores aceitáveis para promover uma adequada ligação com o suporte e o revestimento.

Termos-Chave: *grout* para injeção; óleo de linhaça; hidrófugo; revestimentos; provetes não normalizados.

Abstract

In today's city centers there is a growth in the conservation of old buildings. Monuments and historic buildings require conservation works nevertheless discarding the original architectural characteristics. The plaster is the outermost coating in a building, having the function of protecting the building from external aggressive agents such as water, shock, dust and chemical agents present in the air. Therefore presents, in most cases, a heightened state of degradation.

Thus, for the conservation of these buildings plasters the grout injections become efficient solutions at the expense of removal and replacement, since the creation of a mortar with mechanical behavior and identical physical behavior is extremely difficult. For a correct application of grouts it is essential to study their rheological, mechanical and durability characteristics. The addition of an organic water-repellent, linseed oil, confers hydrophobic properties to the grout and consequently improves coating performance on water presence and simultaneously minimizes the damage caused by its presence.

This study aims to assess the use of linseed oil as an adjuvant in natural hydraulic lime grouts for consolidation of rendering mortars. Rheological tests were conducted with the rheometer as well as mechanical and durability tests such as: flexural strength, compressive strength, dynamic modulus of elasticity, porosity, capillary and drying tests, termogravimetry and adherence with use of mixed samples. It was also studied the influence of the size of the samples by non-standard samples.

With the tests conducted it was concluded that although the grouts with linseed oil show a worse performance in terms of mechanical resistance, the grouts with the incorporated oil are a significant improvement to repellency to water and chlorides. It was also possible to observe a small reduction in adherence with the presence of linseed oil, while maintaining acceptable values to promote an appropriate link with the support and plaster.

Key-words: grout for injection; linseed oil; coatings; water-repellent; non-standardized samples.

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Motivação e objetivos.....	2
1.3	Estrutura do documento.....	2
2	Estado do Conhecimento.....	3
2.1	Consolidação de revestimentos antigos.....	3
2.1.1	Considerações gerais.....	3
2.1.2	Definição e características dos consolidantes.....	4
2.1.3	Produtos de consolidação.....	5
2.2	Grouts para consolidação de revestimentos.....	6
2.2.1	Exigências funcionais.....	7
2.2.2	Constituintes.....	8
2.2.3	Aplicação.....	12
2.3	Hidrófugos em revestimentos.....	13
2.3.1	Considerações gerais.....	13
2.3.2	Classificação dos hidrófugos.....	13
2.3.3	Mecanismos de ação.....	14
2.3.4	Óleo de linhaça.....	15
3	Campanha experimental.....	17
3.1	Introdução.....	17
3.2	Planificação da campanha experimental.....	17
3.3	Constituintes dos grouts.....	18
3.4	Produção dos grouts.....	20
3.4.1	Amassadura.....	20
3.4.2	Incorporação do óleo de linhaça no grout.....	22
3.4.3	Produção dos provetes.....	22
3.4.4	Condições de cura.....	23
3.5	Ensaio reológico.....	24
3.6	Ensaio mecânico e de durabilidade.....	25
3.6.1	Módulo de elasticidade dinâmico.....	25
3.6.2	Resistência à tração por flexão.....	26
3.6.3	Resistência à compressão.....	26
3.6.4	Porosidade aberta.....	27
3.6.5	Absorção de água por capilaridade.....	28
3.6.6	Secagem.....	29
3.6.7	Resistência ao ataque por cloretos.....	30

3.6.8	Termogravimetria	31
3.6.9	Aderência	31
4	Apresentação e discussão de resultados	33
4.1	Introdução	33
4.2	Ensaio reológico	33
4.3	Ensaio mecânico e de durabilidade.....	36
4.3.1	Módulo de elasticidade dinâmico	36
4.3.2	Resistência à tração por flexão	38
4.3.3	Resistência à compressão	40
4.3.4	Termogravimetria	41
4.3.5	Porosidade aberta.....	43
4.3.6	Absorção de água por capilaridade	45
4.3.7	Secagem	49
4.3.8	Resistência ao ataque por cloretos	53
4.3.9	Aderência	56
5	Conclusões e desenvolvimentos futuros.....	59
5.1	Introdução	59
5.2	Considerações finais	59
5.2.1	Ensaio reológico	59
5.2.2	Ensaio mecânico	60
5.2.3	Ensaio de durabilidade.....	60
5.2.4	Correlação entre provetes de dimensão reduzida e <i>standard</i>	61
5.3	Desenvolvimentos futuros.....	62
	Bibliografia.....	63
	Anexos	71

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Edifícios onde se observam diversas anomalias.....	3
Figura 2.2 – Edifício em Alfeizerão, Alcobaça onde se denota perda de aderência.	5
Figura 2.3 – Efeito do superplastificante na floculação das partículas de um <i>grout</i>	11
Figura 2.4 – Consolidação do revestimento exterior no Palazzo Zuccari em Roma.....	12
Figura 2.5 – Consolidação de um fresco na Igreja de San Rocco, Villafranca di Verona	13
Figura 2.6 – Molécula de silicone numa superfície hidrofílica. Adaptado de	14
Figura 2.7 – Conceito de superfície hidrofóbica (A) e de superfície hidrofílica (B).	15
Figura 2.8 – Reação do glicerol com o hidróxido de cálcio	16
Figura 3.1 – Provetes <i>standard</i> (A), provetes de dimensão reduzida (B), provetes cúbicos (C).17	
Figura 3.2 – Esquema da campanha experimental (ensaios mecânicos e de durabilidade).....	18
Figura 3.3 – Materiais utilizados nas formulações.	20
Figura 3.4 – Balança 1 ($\pm 0,001$ kg) [A]; Balança 2 ($\pm 0,001$ g) [B]	21
Figura 3.5 – Materiais utilizados na preparação da mistura II.....	21
Figura 3.6 – Incorporação do óleo com o ligante traço $\frac{3}{4}$ (em massa, óleo/ligante).....	22
Figura 3.7 – Moldes utilizados na campanha experimental.	23
Figura 3.8 – Cura dos provetes em sala condicionada.	23
Figura 3.9 – Reómetro rotacional Gemini HRnano da Bohlin Instruments	24
Figura 3.10 – Ilustração da geometria usada nas medições reológicas	24
Figura 3.11 – Proвете a ser ensaiado ao módulo de elasticidade dinâmico.....	25
Figura 3.12 – Ensaio de resistência à tração por flexão	26
Figura 3.13 – Proвете após a realização do ensaio de compressão.	27
Figura 3.14 – Ensaio da porosidade.	28
Figura 3.15 – Preparação da impermeabilização..	28
Figura 3.16 – Ensaio de capilaridade.	29
Figura 3.17 – Ensaio de secagem.....	30
Figura 3.18 – Ensaio da resistência ao ataque por cloretos.	30
Figura 3.19 – Ensaio da termogravimetria.	31
Figura 3.20 – Ensaio de aderência.	32
Figura 4.1 – Comportamento reofluidificante das misturas em estudo.....	34
Figura 4.2 – Curvas de fluxo para os <i>grouts</i> no ensaio de reometria.	35
Figura 4.3 – Valores da tensão de cedência [Pa].	35
Figura 4.4 – Valores de viscosidade plástica [Pa.s].....	36
Figura 4.5 – Ensaio do módulo de elasticidade dinâmico	37
Figura 4.6 – Resistência à tração por flexão.....	40
Figura 4.7 – Resistência à compressão.....	41

Figura 4.8 – Correlação entre provetes de dimensão reduzida e provetes <i>standard</i>	41
Figura 4.9 – Curvas do ensaio de termogravimetria	42
Figura 4.10 – Ensaio de porosidade	44
Figura 4.11 – Massa específica.....	44
Figura 4.12 – Ensaio de porosidade para o revestimento (argamassas) e suporte (tijolos)	45
Figura 4.13 – Curvas de absorção capilar	46
Figura 4.14 – Coeficiente de capilaridade	47
Figura 4.15 – Valor assíntótico.....	48
Figura 4.16 – Correlação entre provetes para os ensaios da capilaridade.	49
Figura 4.17 – Curva de secagem.....	50
Figura 4.18 – Taxa de secagem	51
Figura 4.19 – Índice de Secagem.....	52
Figura 4.20 – Correlações entre provetes no ensaio de secagem.	53
Figura 4.21 – Ensaio de resistência ao ataque por cloretos	54
Figura 4.22 – Tipos de rotura durante o ensaio de resistência aos sais	55
Figura 4.23 – Rotura de um provete do mix III <i>standard</i>	55
Figura 4.24 – Resistências à tração pelo ensaio de aderência.	56

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Características básicas dos consolidantes para o restauro de revestimentos.	4
Tabela 2.2 – Distribuição em percentagem de ácidos gordos em diversos tipos de óleos	16
Tabela 3.1 – Características físicas e químicas da cal hidráulica natural NHL5	19
Tabela 3.2 – Características físicas e química do cimento de Portland CEM II/B-L 32.5 N	19
Tabela 3.3 – Características do superplastificante	19
Tabela 3.4 – Características do óleo de linhaça	20
Tabela 3.5 – Formulações utilizadas na campanha experimental	20
Tabela 4.1 – Tipos de rotura observados no ensaio da aderência.	57
Tabela 5.1 – Correlação entre os provetes de dimensão reduzida e <i>standard</i>	61

1 Introdução

1.1 Enquadramento

Atualmente é observável uma crescente preocupação com a conservação urbana. A crescente procura turística e o declínio da construção nova levam a uma maior aposta na conservação do edificado. Existe uma vontade de manter a traça do edificado no sentido de preservar a identidade e cultura de cada cidade, utilizando-se técnicas para minorar as modificações.

Os rebocos antigos exteriores têm funções semelhantes aos rebocos atuais mas um modo de funcionamento diferente uma vez que as paredes antigas têm uma maior espessura, não possuem em geral cortes de capilaridade, ou seja, a água penetrava mais facilmente mas também saía mais facilmente pois os materiais eram mais permeáveis ao vapor de água. Estes rebocos antigos têm como função a regularização de alvenarias, impermeabilização das fachadas (contribuindo para a estanquidade global da parede), proteção contra ações mecânicas externas e contribuir para o aspeto decorativo da edificação [1].

Estes rebocos apresentam muitas vezes zonas com perda de aderência ou baixa coesão, mas o seu valor histórico através de pinturas murais, ornamentos e utilização de técnicas em desuso justifica a sua conservação por técnicas de consolidação [2].

Assim para manter as características originais, o recurso a novas técnicas de reabilitação tem sido uma prática cada vez mais frequente. Uma das técnicas de consolidação consiste na injeção de *grouts*. A utilização de *grouts* para reabilitação de revestimentos é relativamente recente e o seu uso deve ser cauteloso, uma vez que a reversão é praticamente impossível [3]. O estudo do meio onde o *grout* vai ser aplicado torna-se fundamental, para a obtenção de compatibilidades físicas, químicas e mecânicas.

Como os problemas maioritariamente associados aos edifícios antigos passam pela presença de água, a utilização de materiais com propriedades hidrofóbicas torna-se uma solução a ser considerada. Estudos anteriores demonstraram que a adição de óleo de linhaça na constituição de materiais cimentícios confere-lhes, quando endurecidos, propriedades hidrofóbicas. Como por exemplo, em argamassas para conservação de edifícios antigos [4] minorando as patologias associadas com a presença e circulação de água, ou ainda em betões [5], que podem ser utilizados em edifícios e infraestruturas de transporte para minorar o efeito da carbonatação [6].

Contudo, a inexistência de estudos que abordem a utilização de óleo de linhaça como adjuvante na constituição de *grouts* à base de cal hidráulica natural justifica a realização de investigação sobre o assunto contribuindo para o aumento de conhecimento sobre a potencialidade deste material.

1.2 Motivação e objetivos

Esta dissertação tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento do conhecimento das propriedades reológicas, mecânicas e de durabilidade dos *grouts* para consolidação de revestimentos, com a adição de um hidrófugo de origem natural, o óleo de linhaça, de modo a atingir soluções ecologicamente e economicamente mais sustentáveis.

Com os ensaios realizados na campanha experimental pretendeu-se avaliar e determinar a influência do óleo no desempenho do *grout* através da realização de medições reológicas, ensaios de resistência mecânica, comportamento face à água líquida e ao vapor de água, aderência e resistência aos cloretos. Pretendeu-se, igualmente, estabelecer correlações entre propriedades aferidas com recurso a provetes *standard* e provetes de dimensão reduzida, provetes prismáticos de 20x20x80 mm³.

1.3 Estrutura do documento

Este documento foi dividido em 5 capítulos (introdução, estado do conhecimento, campanha experimental, apresentação e discussão de resultados e conclusões e desenvolvimentos futuros). No primeiro capítulo é feito um enquadramento do tema, são apresentadas as motivações e objetivos que originaram o estudo apresentado e é referida a estrutura do documento.

No segundo capítulo é apresentado o estado do conhecimento, sendo feita uma revisão bibliográfica sobre o tema abordado com o intuito de se adquirir um conhecimento global sobre o tema focar de uma forma sintetizada e um conjunto de aspetos, que se consideram relevantes para o âmbito do presente trabalho. Os principais pontos abordados são:

- Definições e características dos consolidantes;
- Produtos consolidantes orgânicos e produtos consolidantes inorgânicos;
- *Grouts* para consolidação de revestimentos; sendo explicados as exigências funcionais, os constituintes e a aplicação;
- Hidrófugos em revestimentos; sendo explicada a classificação, o mecanismo de ação e as características do óleo de linhaça.

No terceiro capítulo é apresentada a campanha experimental onde são explicados os diferentes procedimentos de ensaio adotados, fazendo-se ainda referência à constituição e produção dos *grouts*.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos através dos ensaios descritos no capítulo três e ainda é feita a discussão de resultados com outros trabalhos similares sobre o mesmo tema.

No quinto capítulo são apresentadas conclusões e sugeridos desenvolvimentos futuros para aprofundar e consolidar os conhecimentos obtidos através deste trabalho.

Por fim é ainda apresentada a bibliografia e anexos.

2 Estado do Conhecimento

2.1 Consolidação de revestimentos antigos

2.1.1 Considerações gerais

As várias camadas de revestimentos existentes no edificado relatam a evolução da sociedade, pois são provas do passar do tempo devido à sua importância técnica, histórica e estética [7]. Logo, estes revestimentos devem ser preservados recorrendo-se a técnicas básicas de conservação; sendo a manutenção imprescindível através de aplicação de técnicas construtivas tradicionais e optando-se pelo uso de materiais compatíveis e se possível idênticos aos originais. [8]. Estes elementos são renovados e reparados ao longo do tempo, sendo que muitas vezes não existe preocupação com os materiais e técnicas usadas, originando assim a perda das técnicas de conservação. Para a manutenção da traça do edificado e o seu valor histórico, é necessário uma análise cuidada ao tipo de anomalia existente e um plano de ação correspondente, detalhando técnicas e materiais a utilizar [7].

Uma das principais causas de degradação dos revestimentos é a perda de aderência, devido a fatores físicos, mecânicos, químicos ou biológicos. Esta pode ocorrer entre as várias camadas de reboco ou entre o reboco e o suporte, levando a anomalias como destacamento, descolamento e lacunas no revestimento. Este tipo de anomalias não são compatíveis com as técnicas atualmente usadas em construção, sendo que a remoção, limpeza e substituição é a opção mais usual, o que causa a perda destes revestimentos. O uso de consolidantes, em detrimento da remoção e substituição, promove a recolagem entre as camadas ou entre o revestimento e o suporte, sendo a sua aplicação ainda pouco preterida. As intervenções devem respeitar as características de compatibilidade originais do edifício, caso contrário podem originar patologias de severidade maior do que as detetadas anteriormente, sendo assim essencial um bom conhecimento da constituição e funcionamento dos revestimentos antigos [2; 7; 8]. Na Figura 2.1 observa-se edifícios onde se denotam diversas anomalias, entre as quais a perda de aderência [9].



Figura 2.1 – Edifícios onde se observam diversas anomalias, incluindo a perda de aderência [9].

2.1.2 Definição e características dos consolidantes

A perda de coesão numa argamassa devido a ações físicas ou químicas pode ser restituída através da aplicação de produtos de consolidação. O objetivo destes produtos é restituir e conservar a integridade do revestimento conferindo um aspeto agradável sem modificar as características visuais do revestimento [2; 10].

Os consolidantes são materiais que ao penetrarem em profundidade vão melhorar a coesão entre as partículas de material desintegrado, melhorando as características mecânicas e de aderência entre as várias camadas de revestimento incluindo o suporte estrutural. Estas substâncias no estado fluido penetram no interior de uma material reconstituindo a adesão pelo processo de presa. Os consolidantes devem ter uma capacidade de envelhecimento similar aos revestimentos presentes para evitar problemas funcionais e estéticos, e obedecer aos seguintes fatores: porosidade, expansão térmica, homogeneidade e coesão do revestimento antigo. A técnica de aplicação utilizada também é importante, existindo consolidantes aplicados por pincelamento, pulverização, injeções ou por imersão; este último caso apenas para ensaios laboratoriais, não sendo aplicado *in situ*.

Seguidamente, na Tabela 2.1 são enumeradas algumas características básicas dos consolidantes para o restauro de revestimentos [7]:

Tabela 2.1 – Características básicas dos consolidantes para o restauro de revestimentos.

Boa profundidade de penetração e aderência	A substância deve escoar adequadamente desde o exterior até ao interior do revestimento e em concentração suficiente. Assim a penetração do produto depende de diversos fatores: composição, viscosidade e tensão de cedência, dimensão da partícula, tensão superficial e técnica de aplicação.
Não deve alterar a porosidade do revestimento original	O consolidante não deve afetar o volume e dimensão dos poros do revestimento. Se este produzir uma diminuição drástica da porosidade haverá alterações na capilaridade com consequências nefastas para o revestimento e suporte.
Deve ter boa permeabilidade ao vapor de água	O consolidante deve continuar a permitir a difusão do vapor de água do interior para o exterior do revestimento, caso contrário haverá uma acumulação de água e sais nos locais tratados.
Boa compatibilidade química com o revestimento a ser tratado	O consolidante não deve formar compostos que possam afetar a estrutura cristalina da argamassa.
Manter o aspeto estético	O consolidante não deve mudar a cor, provocar o amarelecimento ou brilho sobre o revestimento.

Na Figura 2.2 observa-se um edifício em Alfeizerão, Alcobaça, onde se denota a perda de aderência do revestimento exterior.



Figura 2.2 – Edifício em Alfeizerão, Alcobaça onde se denota perda de aderência.

2.1.3 Produtos de consolidação

2.1.3.1 Consolidantes orgânicos

Os produtos consolidantes orgânicos apresentam na maioria das vezes pouca compatibilidade com o suporte, maior facilidade de aplicação e maior capacidade adesiva. Estes produtos são formulados à base de resinas acrílicas, vinílicas ou silicónicas. O princípio de consolidação destes produtos é através da colagem das partículas [2], e a sua aplicação pode provocar alterações expressivas das características físico-químicas dos revestimentos [7]. A durabilidade destes consolidantes ao longo do tempo também é baixa, uma vez que as suas características iniciais podem-se alterar rapidamente em ambientes exteriores [11] devido à ação de raios ultra violeta, pelo aumento de temperatura, a água e pela ação de bactérias. A estas variações químicas também se pode acrescentar variações nas propriedades físicas como mudança de cor, alteração das propriedades aderentes e elásticas originando fraturas [12].

Um exemplo de consolidantes orgânicos são os polímeros, como o Primal AC33 formado a partir da junção do etalnicrato com o metalnicrato, formam uma película transparente de alta resistência à luz ultravioleta e ao calor, sendo aplicado no exterior. Esta aplicação é usada no restauro de pinturas murais de cavalete [2; 7].

2.1.3.2 Consolidantes inorgânicos

Os consolidantes inorgânicos são os produtos mais adequados, principalmente devido à sua durabilidade e compatibilidade com os revestimentos. Para a consolidação das argamassas de cal o consolidante mais utilizado é o hidróxido de cálcio devido à sua compatibilidade, apesar de ser necessário um número elevado de aplicações [2]. Os principais produtos consolidantes inorgânicos utilizados ao longo do tempo são: a água de cal (água e hidróxido de cálcio); silicato de etilo; bactérias.

O tratamento com água de cal é o mais antigo conhecido, o método consiste na aplicação de várias camadas da solução sobre os revestimentos. A reação do hidróxido de cálcio com o dióxido de carbono origina carbonato de cálcio, precipitando os poros do material e reduzindo o volume de vazios.

O silicato de etilo é formado pela reação química do ácido silício, que quando aplicado reage com a humidade ambiente ou o solvente da mistura dando origem a um material na sua maioria inorgânico através da hidrólise.

As bactérias têm sido usadas na consolidação de revestimentos em pedra. Uma solução que é composta por bactérias calcificadas é pulverizada sobre o revestimento e alimentada com recurso a um nutriente líquido que forma carbonato de cálcio na superfície, aumentando a resistência mecânica.

2.2 Grouts para consolidação de revestimentos

Um *grout* para consolidação de revestimentos pode ser definido como uma pasta fluida de material injetado no revestimento para preencher falhas e restabelecer a adesão entre as várias camadas [13]. A injeção de *grouts* é uma solução importante para a consolidação de revestimentos *in situ*. Este método usado na reabilitação e conservação tornou-se importante nas últimas décadas, traduzindo-se numa alternativa viável à remoção total do revestimento e substituição [8].

Para a injeção de um *grout* num determinado suporte deve-se definir uma formulação compatível com as características do suporte assim como a definição dos procedimentos de injeção. Torna-se necessário então determinar a influência de diversos parâmetros como a forma e dimensões dos materiais constituintes, a sua composição química, a porosidade, a capacidade de absorção, a dimensão e percentagem de vazios, e o grau de comunicação dos vazios, entre outros. Antes da aplicação desta solução, deve-se ser feita uma análise minuciosa às características acima descritas pois uma vez aplicados os *grouts* a sua remoção torna-se muito difícil, no limite impossível [13].

Os *grouts* são suspensões de água formuladas à base de ligantes hidráulicos. Sendo que a cal hidráulica ou o cimento funcionam como ligante, a que podem ser adicionados outros produtos como estabilizantes e superplastificantes para tornarem a injeção mais estável e fluida. Dependendo do tipo de ligante os *grouts* podem ser classificados como inorgânicos com a utilização de cal e orgânicos ou sintéticos com a utilização de resinas poliméricas (geralmente resinas epoxídicas). De referir que os *grouts* à base de cimento têm a particularidade de não serem compatíveis, na maioria dos casos, com os revestimentos antigos, o que torna o seu uso mais restritivo, apesar de apresentarem um endurecimento rápido. Já os *grouts* à base de cal não apresentam problemas de compatibilidade química e mecânica com o revestimento e suporte, ostentando também maior permeabilidade e resistência mecânica final muito semelhante ao revestimento original [13; 14].

Assim, os *grouts* são formulados com um ou mais ligantes, adições e adjuvantes, e água na proporção certa para maximizar a injetabilidade do *grout* sem comprometer as propriedades no estado endurecido [13].

2.2.1 Exigências funcionais

As exigências funcionais de um *grout* são as propriedades mais importantes para a sua caracterização. Estas propriedades são a fluidez, estabilidade (exsudação, segregação), injetabilidade, tempo de presa, características mecânicas e retenção de água [7; 14].

- (i) A fluidez relaciona a capacidade do *grout* ficar no estado fluído enquanto ocorre a dispersão homogénea por todas as cavidades do revestimento e suporte. Esta característica depende da distribuição granulométrica dos grãos, da natureza, forma e superfície específica das partículas, da quantidade de água de amassadura e do método de mistura da calda.
- (ii) A estabilidade está relacionada com a capacidade do *grout* se manter homogéneo, sem ocorrência de exsudação e segregação [15]. Este parâmetro está relacionado com a adição de adjuvantes introduzidos na mistura, como fluidificantes, redutores de água ou introdutores de ar e também com a velocidade realização da mistura [16]. Com a introdução de finos como as cinzas volantes e sílica de fumo a estabilidade de um *grout* pode ser melhorada. Este parâmetro é fundamental pois permite homogeneizar as propriedades do *grout* em todos os locais onde este é aplicado.
- (iii) A exsudação é a formação de uma película superficial, que torna a mistura pouco homogénea devido à presença de água em maior quantidade nessa zona. Existe o risco

de a mistura não ficar consolidada se a presença de água for em demasia. Está relacionada com a relação água/ligante e a distribuição granulométrica do ligante [17].

- (iv) A segregação é a tendência para os materiais se separarem por camadas. Depende da quantidade de água utilizada, da forma, da dimensão e massa volúmica das partículas e pela quantidade de água absorvida pelo suporte. Com o seu surgimento a penetração do *grout* torna-se difícil no meio poroso, influenciando as resistências finais [16].
- (v) A injetabilidade é a capacidade de escoamento da mistura durante um certo período de tempo que permita uma fácil injeção. Esta característica depende de diversos fatores relacionados com o *grout* como a granulometria da parte sólida e fatores relacionados com o suporte e os materiais que o constituem, nomeadamente a absorção de água, a forma e dimensão dos vazios [18]. A dimensão máxima das partículas do *grout* deve ser inferior ao diâmetro dos vazios ou às aberturas dos orifícios a serem preenchidos para se conseguir uma boa aplicação.
- (vi) O tempo de presa deve ser suficientemente longo para permitir a fluidez durante a injeção. Esta característica é influenciada pela temperatura durante a amassadura e aplicação do *grout*, a quantidade de material misturado e a presença de determinados adjuvantes.
- (vii) As características mecânicas estão relacionadas com o aumento da coesão e da resistência mecânica do suporte. O módulo de elasticidade dinâmico deve ainda ser da mesma ordem do módulo de elasticidade dinâmico do revestimento, para melhor compatibilidade com o suporte e para acautelar a introdução de tensões que o possam vir a danificar [19].
- (viii) A retenção de água caracteriza-se pela capacidade de permanência da água de constituição na mistura por um período relativamente longo, mantendo as propriedades do *grout* durante a injeção. Os materiais de construção são meios porosos com elevado poder de sucção capilar pelo que os *grouts* devem ser capazes de preservar a água da mistura [20]. A molhagem da superfície antes da aplicação do *grout* assegura que a migração de água do *grout* para o meio poroso é reduzida [14].

2.2.2 Constituintes

A seleção de constituintes para os *grouts* depende de diversos fatores como a aplicação, as exigências funcionais, a disponibilidade de materiais e em casos de grandes quantidades o custo de materiais.

Geralmente o critério fundamental para a seleção de um *grout* é a sua compatibilidade com o suporte, sendo esta de ordem química, física e mecânica. Assim para obter um *grout* compatível torna-se necessário escolher um ligante o mais próximo possível do utilizado no suporte original. Esta afirmação apenas tem em conta a compatibilidade, não considerando as exigências funcionais e a aplicação. Também é necessário referir que se se utilizar uma fórmula igual ao do suporte, não são considerados os ataques provocados pelo desgaste do suporte ao longo do tempo, tornado assim o *grout* mais resistente que o suporte. Assim, a escolha do ligante tem que obedecer a relações de compatibilidade, aplicação e às exigências funcionais [13].

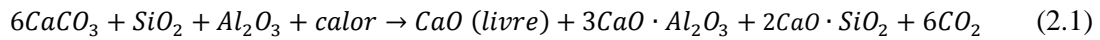
2.2.2.1 Cal hidráulica natural

O ligante mais comum que responde às exigências acima descritas é a cal, sendo esta aérea ou hidráulica. A cal aérea tem a particularidade de necessitar de CO₂ para ganhar presa, sendo por isso o uso de adições recomendado para facilitar as reações de hidratação da cal, sem a presença de ar. Um aditivo possível de ser usado são as pozolanas [21; 22] A cal hidráulica natural também é usada como ligante, igualmente devido à sua compatibilidade com o suporte. As vantagens de aplicação deste ligante são que o tempo de cura é mais rápido e para além de ter maior durabilidade em comparação com a cal aérea, também endurece num ambiente privado do CO₂ consequência do seu carácter hidráulico [23].

As cals hidráulicas naturais (NHL) são produzidas por cozedura (inferior a 900 °C) de rocha calcária aproximadamente argilosa ou siliciosa, extintas e reduzidas em pó com ou sem moagem. Estas não devem ser confundidas com as cals hidráulicas (HL) que são, obtidas por adição ao clínquer de *fillers* inertes (na maioria das vezes calcários) e é exigido um teor mínimo de hidróxido de cálcio [24; 25].

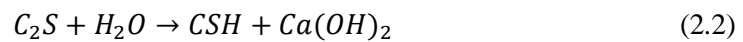
Quando o calcário contém quantidades de argila compreendidas entre 5 a 20% e é sujeito a ação da temperatura forma-se óxido de cálcio e a combinação deste com sílica e alumina origina silicatos e aluminatos que quando hidratados dão origem a cal hidráulica que endurece tanto no ar como na água. Nestes produtos parte da cal está livre e é hidratada com expansão e endurecendo após amassadura por carbonatação, como a cal aérea [26].

A preparação da cal hidráulica é feita em fornos verticais de alvenaria. Primeiramente dá-se a evaporação da água de embebição da pedreira (até 105-110 °C); em seguida ocorre a desidratação das margas (até aos 500°C ou 700 °C); a decomposição do calcário ocorre aos 850-900 °C e partir desta temperatura em diante ocorre, na zona de combustão, a combinação da sílica e da alumina com o óxido de cálcio originando silicatos e aluminatos de cálcio (Equação 2.1) [24; 26; 27].

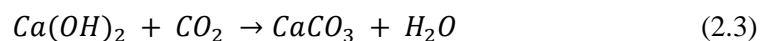


Quando a cal é retirada do forno procede-se à sua extinção para eliminação da cal viva e para provocar a pulverização de toda a cal hidráulica. Na extinção deve-se adicionar estritamente a água necessária para hidratar a cal viva, pois é a reação expansiva desta que se aproveita para pulverizar os silicatos e aluminatos (a água em excesso iria hidratá-los). Esta reação processa-se muito lentamente a temperaturas entre os 130 e 400 °C [24; 26].

O endurecimento da cal inclui duas reações. Inicialmente na fase hidráulica, ocorre a hidratação dos silicatos (C_2S e C_3S) e aluminatos de cálcio, formando silicatos e aluminatos de cálcio hidratados (CSH) (Eqção 2.2) [27].



Com a idade, o dióxido de carbono penetra no *grout* endurecido e transforma o hidróxido de cálcio, ou portlandite ($Ca(OH)_2$) em carbonato de cálcio ($CaCO_3$), como pode ser observado na Equação 2.3 [28].



2.2.2.2 *Fillers*

Os *fillers* são materiais para melhorar a retenção de água, reduzindo a retração e aumentando a resistência mecânica. Um *filler* com uma maior superfície específica origina melhores resultados, como é o caso das pozolanas, que podem funcionar como *filler* e como aditivo, devido às suas reações com o hidróxido de cálcio. As desvantagens do uso de materiais ultras finos como as pozolanas são o aumento da viscosidade e a perda da trabalhabilidade. Outros *fillers* usuais são a sílica de fumo, pó de pedra e a escória de alto-forno [13; 26].

2.2.2.3 *Água*

A água é o líquido usado comumente nos *grouts*. Esta tem a função de meio de dispersão e no caso das cals e cimentos contribui para as reações químicas. O rácio água/ligante é de extrema importância. Um alto teor em água melhora a injetabilidade e a fluidez do *grout*, mas também causa misturas menos estáveis, com tendencialmente maior segregação e exsudação, causando

retração durante a cura. Também causa um aumento da porosidade, reduzindo a resistência mecânica [13].

2.2.2.4 Adjuvantes

Os adjuvantes são incorporados na mistura em pequenas quantidades para conferir propriedades específicas. Os adjuvantes mais comuns de serem adicionados ao *grout* são os superplastificantes que vão interferir com a fluidez, e os aceleradores e retardadores de presa. Tradicionalmente, os adjuvantes de origem natural têm sido usados em argamassas e não em *grouts*, sendo o mais comum a caseína. Estes produtos naturais têm alta volatilidade, uma vez que não é possível controlar a origem e a sua preparação tem muitas condicionantes. Adicionalmente, também podem deteriorar-se e causar um ataque biológico. Assim torna-se preferível o uso de adjuvantes de origem sintética, sendo que a disponibilidade e custo são os fatores primordiais na sua escolha na reabilitação. Contudo, estes adjuvantes são criados para interagirem com ligantes de base cimentícia, em vez de ligantes de cal, que são usados na reabilitação. Existe a necessidade do estudo de adjuvantes para *grouts* de cal. Os fluidificantes e superplastificantes melhoram a injectabilidade, reduzem a segregação e o teor em água necessário para assegurar a fluidez. Também melhoram a adesão e a ligação com o suporte ao longo do tempo. Um teor reduzido em água origina menor retração e maior resistência mecânica [13].

Os superplastificantes contrariam a forte tendência de floculação das partículas na presença de água. Quimicamente, estes modificam as cargas de superfície, sendo que se as partículas possuírem o mesmo sinal e magnitude estas repelem-se mutuamente, dispersando-se. Também com o aumento da afinidade líquido/sólido; aumentando a atração das partículas pelo líquido do que umas pelas outras, estas terão tendência para se dispersar. Finalmente com repulsão eletrostática e repulsão estérica acontece o enfraquecimento da atração entre as partículas sólidas [3; 29; 30]. Na Figura 2.3 observa-se o efeito do superplastificante na floculação das partículas de um *grout*.

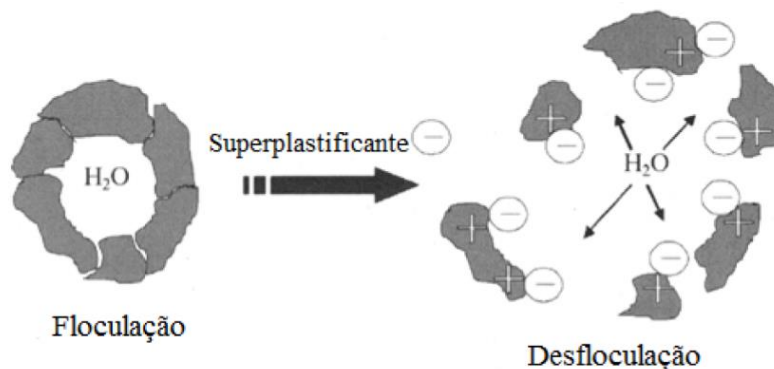


Figura 2.3 - Efeito do superplastificante na floculação das partículas de um *grout* [3].

2.2.3 Aplicação

A aplicação do *grout* é de extrema importância para a obtenção de bons resultados. Assim, este trabalho deve ser feito por trabalhadores especializado ou trabalhadores fiscalizados. Nos *grouts* de cal a técnica de aplicação é extraordinariamente importante, o teor em água deve permitir uma boa fluidez para uma boa consolidação [31].

Antes da aplicação destes consolidantes deve ser efetuada a limpeza da área a tratar, para remover agentes biológicos e eventuais consolidantes anteriormente aplicados. A aplicação de desinfetantes biológicos pode ser efetuada por aspersão ou com recurso a escovas para os locais de mais difícil acesso. A remoção dos consolidantes anteriores, caso existam, também deve ser efetuada com cuidado, para não remover o revestimento de origem. Este processo de limpeza é finalizado com a lavagem abundante com água, com o cuidado da pressão utilizada, caso seja um jato de água. Em seguida é aplicado o *grout* para consolidação, como recurso a seringas por gravidade ou a pressão. Finalmente, após a cura do *grout*, é aplicado a pintura para minimizar o efeito da aplicação do *grout* [32, 33]. Na Figura 2.4 é possível observar o uso de uma seringa para injeção de um *grout* para consolidação do revestimento exterior na Biblioteca Hertziana Palazzo Zuccari em Roma. Já na Figura 2.5 observa-se o mesmo método de trabalho, mas para a consolidação de um fresco na Igreja de San Rocco em Villafranca di Verona.



Figura 2.4 – Consolidação do revestimento exterior na Biblioteca Hertziana Palazzo Zuccari em Roma.[34]



Figura 2.5 – Consolidação de um fresco na Igreja de San Rocco em Villafranca di Verona. [35]

2.3 Hidrófugos em revestimentos

2.3.1 Considerações gerais

A penetração de água é a causa mais comum na degradação de edifícios. A água afeta os materiais porosos como as argamassas, pedras e tijolos através de capilaridade, e causa a deterioração através da dissolução química e transporte de compostos solúveis.

Assim, a introdução de produtos hidrófugos visa minimizar a ação da água e o consequente enfraquecimento dos materiais porosos. Estes produtos têm a função de reduzir a absorção de água por capilaridade e penetração na estrutura porosa do objeto. Devem igualmente permitir a difusão de vapor de água, permitindo a secagem do material [36].

2.3.2 Classificação dos hidrófugos

Os hidrófugos podem ser divididos em dois grupos, os hidrófugos de massa que são adjuvantes que reagem com os produtos da hidratação originando misturas hidrofóbicas que atuam sobre os poros da argamassa endurecida e repelem a água. Os hidrófugos de superfície vão formar uma camada sobre a argamassa endurecida. Os hidrófugos mais usuais são os da família do silício (silicones), por exemplo os silanos, siloxanos, resinas de silicone, silicanatos e silicatos. Também existem outros hidrófugos como os compostos organo-metálicos, as resinas acrílicas, os poliuretanos e os perfluorpoliéteres. Estes materiais são sujeitos ao longo do tempo a degradação física e química, através da diminuição das suas propriedades hidrorrepelentes, ou seja no grau de repelência da água [37; 38].

2.3.3 Mecanismos de ação

Os materiais de construção correntes são constituídos por cristais de carbonatos, silicatos aluminatos ou óxidos. As suas superfícies têm poros elétricos devido à presença de átomos de hidrogénio ou por grupos oxigénio-hidrogénio. A atração da água por parte das superfícies hidrófilas decorre das forças entre os polos opostos.

Tendo como exemplo os silicones, estes são constituídos por uma parte orgânica (ligeiramente polar) e outra mineral (sem polaridade). Quando aplicados sobre materiais correntes em edifícios (materiais que contêm hidróxidos na superfície como a cal ou o cimento) a parte não polar fica orientada para o exterior, repelindo a água (Figura 2.6).

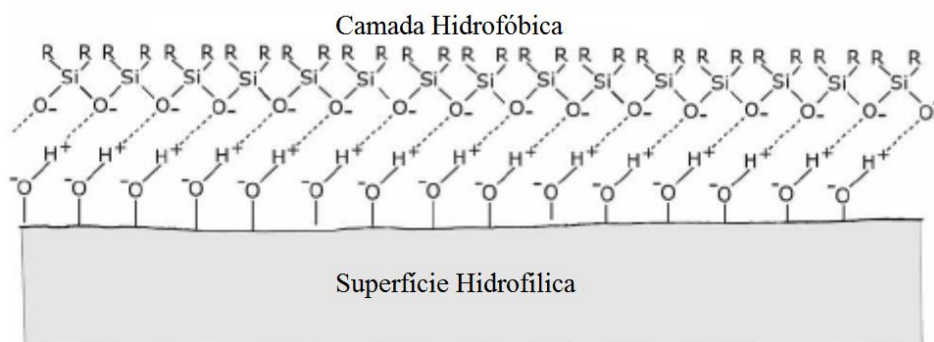


Figura 2.6 – Molécula de silicone numa superfície hidrofílica. Adaptado de [28].

Assim, ao serem modificadas as características da superfície do material, devido à aplicação do hidrófugo, é formada uma barreira sem polaridade que altera o seu comportamento face à água. Com efeito, a água no estado líquido não consegue penetrar esta barreira, no entanto existem espaços suficientes para a passagem de moléculas isoladas de água, sendo assim a camada de silicone permeável ao vapor de água. É importante referir que estes materiais apresentam uma durabilidade relativa, envelhecendo muito depressa, pois os átomos de hidrogénio e de carbono começam a desassociar-se, voltando a obter-se uma superfície tipicamente polar [39].

Os conceitos de superfície molhável e não molhável podem ser inferidos através do ângulo de contacto que caracteriza o comportamento de um líquido numa superfície sólida. O ângulo de contacto é determinado através do goniómetro onde uma gota de líquido é deixada sobre uma superfície vítrea, sendo filmada e posteriormente processada através de um *software* próprio. Um valor elevado de ângulo de contacto (θ superior a 90°) indica que o líquido não molha a superfície, significando que o *grout* perde pouca água durante a injeção ou que a água não penetra no *grout* com tratamento hidrofóbico no estado endurecido. Já um valor baixo de ângulo de contacto (θ inferior a 90°) indica que existe afinidade entre o líquido e a superfície. Este

conceito pode ser demonstrado na Figura 2.7 onde se observa uma gota de um líquido numa superfície hidrofóbica (não molhável) e numa superfície hidrofílica (molhável) [40, 41].

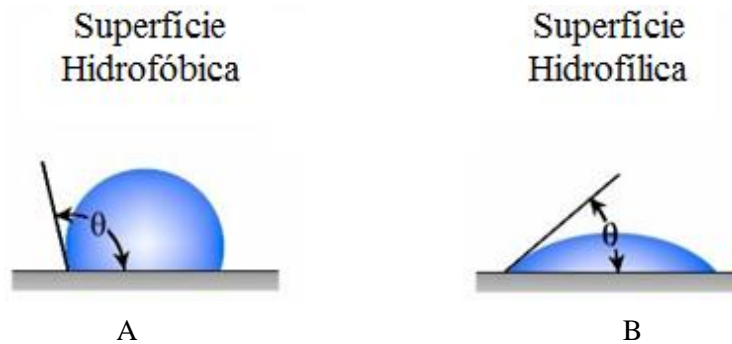


Figura 2.7 – Conceito de superfície hidrofóbica (A) e de superfície hidrofílica (B).

2.3.4 Óleo de linhaça

Os óleos como o óleo de linhaça e as gorduras como a banha de porco e a manteiga pertencem ao grupo dos lípidos, sendo que a diferença é que os óleos são líquidos à temperatura ambiente e as gorduras são sólidas [4].

O uso de óleos na construção civil data do Império Romano, com Vitruvius a referir que a aplicação de óleo da prensagem do azeite a uma argamassa antes do inverno impediria a formação de geada [42]. Já em 1570 o arquiteto veneziano Palladio refere que a adição dos óleos de linhaça e de nozes a uma argamassa de cal torná-la-ia hidrófuga [43].

O óleo de linhaça tem diversos usos na sociedade atual, é usado como veículo fixo nas tintas, aplicado como acabamento em madeiras e usado na indústria agroalimentar como suplementos [44]. Na construção civil é amplamente usado como hidrófugo de superfície, por exemplo, no tratamento das superfícies do betão em edifícios e pontes [6].

O óleo de linhaça é um hidrófugo de massa constituído por moléculas não polares. É composto por uma mistura de triacilgliceróis, que são formados por uma moldura de glicerol, contendo três ácidos derivados de ácidos gordos. Este óleo é considerado um ácido não saturado pois apresenta um ou mais pares de átomos de carbono com ligações duplas. A sua distribuição em percentagem de ácidos gordos específicos é apresentada na Tabela 2.2 assim como a de outros óleos. Nas colunas é apresentada o número total de átomos de carbono seguido do número de ligações duplas. Por exemplo o óleo de linhaça apresenta 60% de 18 átomos de carbono com 3 ligações duplas (18:3), denominado de ácido linolénico [4, 45].

Capítulo 2 – Estado do conhecimento

Tabela 2.2 – Distribuição em porcentagem de ácidos gordos em diversos tipos de óleos (adaptado de [45])

Tipo de óleo	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3
Linhaça	6	3	17	14	60
Girassol	6	5	20	69	vestígios
Azeite	10	2	78	7	1
Soja	11	4	22	53	8
Milho	13	3	31	52	1

O glicerol não é quimicamente estável num meio básico, sendo que as argamassas e *grouts* de cal hidráulica apresentam um PH básico médio de 12. Assim, o óleo de linhaça na presença de hidróxido de cálcio sofre hidrólise libertando glicerol e três ácidos carboxílico, levando assim que o ácido gordo esteja preso dentro da argamassa ou *grout*. Na Figura 2.8 observa-se a reação do triacilglicerol com o hidróxido de cálcio:

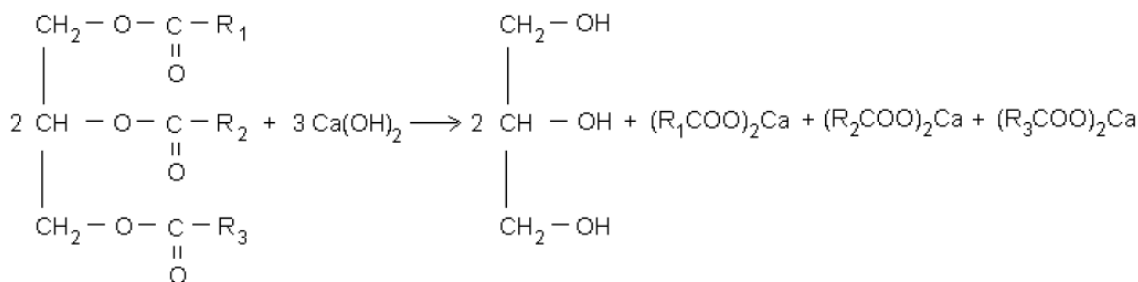


Figura 2.8 – Reação do triacilglicerol com o hidróxido de cálcio [4].

Na reação descrita pela figura anterior o hidróxido de cálcio vai quebrar a ligação do éster (ligação O–C=O) no triacilglicerol através da saponificação, que significa a hidrólise deste componente num meio básico [46]. Os produtos da reação formados: três ácidos carboxílicos e glicerol vão causar a hidrorepelência no *grout* ou argamassa [4;45].

O efeito do óleo de linhaça em *grouts* de cal utilizados na conservação de edifícios ainda foi pouco estudado. Rovnaníková [47] estudou o efeito da adição de óleo de linhaça em argamassas de cal através do efeito de diversos polímeros naturais em argamassas de cal aérea. Foi testada a adição de óleo de linhaça fervido em 1%, 5% e 10% em massa na argamassa (0,3%; 1,7% e 3,3% em massa de cal). O traço utilizado foi de 1:3:1 (cal, areia, água). Foi observada a diminuição da porosidade e absorção de água, o aumento significativo da resistência à compressão e diminuição da resistência à flexão, devido à provável ação do óleo. A permeabilidade ao vapor de água não foi afetada. Maiores porcentagens de óleo (5%, 10%) causaram aumento de volume, enquanto a argamassa de referência demonstrou retração.

3 Campanha experimental

3.1 Introdução

A campanha experimental decorreu nos Laboratórios de Construção do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa. Excluindo-se os ensaios reológicos, que decorreram no laboratório de reologia do CENIMAT|i3N – Centro de Investigação de Materiais do Departamento de Ciências dos Materiais da referida Faculdade.

Com o objetivo de avaliar o comportamento mecânico e reológico da adição de óleo de linhaça como um hidrófugo em *grouts* de injeção realizaram-se quatro formulações. Duas usando exclusivamente a cal hidráulica natural, uma com a adição do óleo e outra de referência (sem óleo); e outras duas com cal hidráulica natural e cimento de Portland, uma com a adição do óleo e outra de referência. Como o objetivo desta tese passa também por validar o uso de provetes não normalizados ($20 \times 20 \times 40 \text{ mm}^3$) em ensaios de *grouts*, adicionou-se o Cimento de Portland para se alcançar maior resistência mecânica nos provetes menores e não comprometer a realização dos ensaios. Na Figura 3.1 observam-se os provetes *standard* ($40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$), os provetes não normalizados, de dimensão reduzida e ainda os provetes cúbicos ($40 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$).

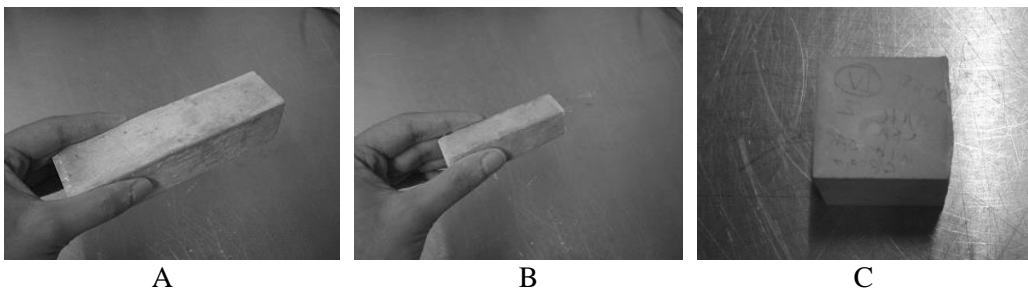


Figura 3.1 – Provetes *standard* (A), provetes de dimensão reduzida (B) e provetes cúbicos (C)

Neste capítulo caracterizam-se os diversos materiais utilizados, as formulações utilizadas, os procedimentos de ensaio e os respetivos resultados para as diferentes formulações.

3.2 Planificação da campanha experimental

A campanha experimental decorreu entre fevereiro e setembro de 2016. Iniciou-se com o ensaio reológico, seguida pelos ensaios mecânicos e durabilidade. Os ensaios mecânicos foram realizados aos 28 dias de cura (módulo de elasticidade dinâmico, resistência à compressão, resistência à flexão por

tração). Os ensaios de durabilidade foram iniciados imediatamente após o fim dos ensaios mecânicos (porosidade aberta, absorção de água por capilaridade e secagem). No fim da campanha experimental foi realizado o ensaio mecânico de aderência. Na Figura 3.2 pode-se observar a planificação da campanha experimental em forma de esquema, com o número de cada provete utilizado na campanha experimental, sendo os provetes do número 1 a 6 de dimensões *standard*, do número 7 a 9 e do 16 a 18 de dimensão reduzida, do número 10 a 15 de formato cúbico (40x40x40 mm³) e do número 19 a 24 de dimensões *standard* usados no ensaio da aderência.

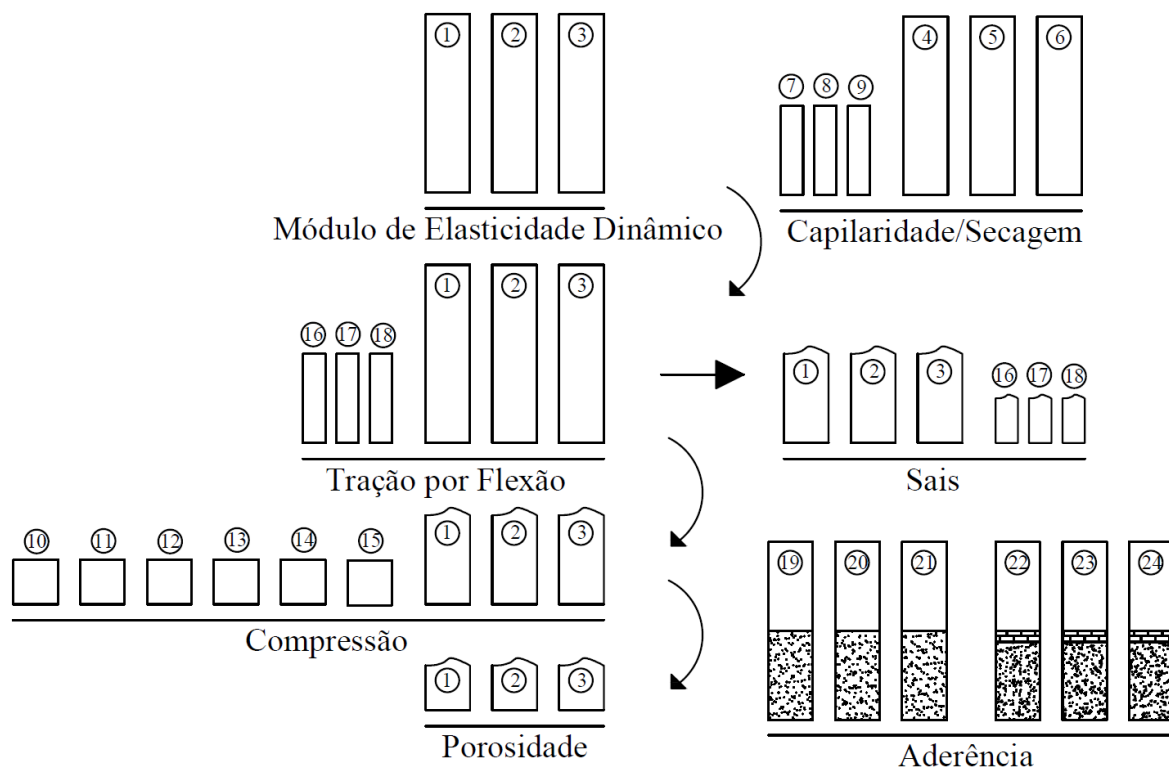


Figura 3.2 – Esquema da campanha experimental (ensaios mecânicos e de durabilidade)

3.3 Constituintes dos *grouts*

Para as quatro formulações realizadas foram usados cal hidráulica natural (NHL 5), cimento de Portland, água e os adjuvantes: superplastificante e óleo de linhaça.

A cal hidráulica natural (NHL 5) usada nesta campanha foi fabricada pela Secil Martingança, S.A. e cumpre os requisitos da Norma Europeia EN 459-1:2010. A sua ficha técnica pode ser consultada em ANEXO (Anexo I), e os seus dados técnicos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Características físicas e químicas da cal hidráulica natural NHL5 [48]

Resistência mecânica à compressão (MPa)	7 dias $\geq 2,0$ 28 dias $\geq 5,0$ e $\leq 15,0$
Finura (%)	90 μm $\leq 15,0$ 200 μm $\leq 5,0$
Blaine (cm ³ /g)	9400
Expansibilidade (mm)	$\leq 2,0$
Sulfato (SO ₃) (%)	$\leq 2,0$
Cal disponível (Ca(OH) ₂) (%)	$\geq 15,00$
Al ₂ O ₃ (%)	2,00
CaO (%)	85,00
Fe ₂ O ₃ (%)	2,00
MgO (%)	1,00
MnO (%)	0,03
SiO ₂ (%)	8,00
SiC (%)	0,01
SrO (%)	0,05
K ₂ O (%)	0,70

O cimento de Portland de calcário CEM II/B-L 32.5 N utilizado foi fabricado pela SECIL – Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A. e manufaturado na fábrica SECIL – Outão. Cumpre os requisitos da Norma Portuguesa NP EN 197-1. A sua Ficha Técnica pode ser consultada em ANEXO (Anexo II) e os seus dados técnicos na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Características físicas e química do cimento de Portland CEM II/B-L 32.5 N [48]

Resistência mecânica à compressão (MPa)	7 dias $\geq 31,10$ 28 dias $\geq 40,10$
Blaine (cm ³ /g)	4520
Expansibilidade (mm)	0,5
Sulfato (SO ₃) (%)	$\leq 2,35$
Cal disponível (Ca(OH) ₂) (%)	0,91
Al ₂ O ₃ (%)	3,37
CaO (%)	61,27
Fe ₂ O ₃ (%)	2,50
MgO (%)	0,96
SiO ₂ (%)	14,44
Resíduo insolúvel (%)	1,60
Perda ao rubro (%)	13,60

A água utilizada ao longo da campanha experimental foi retirada do concelho de Almada. O superplastificante ChrysoFluid AG provém da família dos naftalenos e a sua escolha vai ser explicada no capítulo 4. Na Tabela 3.3 observam-se as características do superplastificante utilizado.

Tabela 3.3 – Características do superplastificante

Características	Valores
Aspeto (cor)	Castanho-escuro
Massa Volúmica (20°C)	1,20g/cm ³
Ponto de Congelação	-5°C
Conteúdo de iões	Isento ($\leq 0,1\%$)
pH	7

O óleo de linhaça cru utilizado é não alimentar e indicado para trabalhos de restauro de madeira, é apresentado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Características do óleo de linhaça

Características	Valores
Aspeto (cor)	Castanho-claro
Massa Volúmica (20°C)	0,93g/ml
Ponto de Congelação	-24 °C

Na Figura 3.2 observa-se os materiais utilizados.



Figura 3.3 – Materiais utilizados nas formulações. Superplastificante (A) óleo de linhaça (B); cal hidráulica natural NHL5 (C); cimento de Portland CEM II/B-L 32.5 (D).

3.4 Produção dos grouts

3.4.1 Amassadura

No âmbito da campanha experimental foram formuladas diferentes composições de grout sujeitas a alterações não só da adição do óleo de linhaça como também da dosagem de água e de superplastificante. Na tabela seguinte (Tabela 3.5) apresentam-se as formulações utilizadas:

Tabela 3.5 – Formulações utilizadas na campanha experimental (traços apresentados em massa)

Mistura	Composição	Óleo	w/b (água/ligante)	Superplastificante
I	NHL	-	0,5	0,8
II	NHL	1,5	0,5	0,8
III	NHL+CEM (60%+40%)	-	0,45	0,6
IV	NHL+CEM (60%+40%)	1,5	0,45	0,6

O procedimento inicia-se com a pesagem das quantidades de ligante recorrendo-se à balança 1 (Figura 3.4). As quantidades de superplastificante e óleo de linhaça são pesadas na balança 2 (Figura 3.4), devido à sua maior exatidão, utilizando uma proveta e uma pipeta de *Pasteur* para maior precisão. A água utilizada é mensurada com uma proveta volumétrica.



Figura 3.4 – Balança 1 ($\pm 0,001$ kg) [A]; Balança 2 ($\pm 0,001$ g) [B]

A mistura é realizada numa cuba existente no laboratório, sendo previamente humedecida a pá e o balde. A proporção de materiais utilizados pode ser observada na Figura 3.5.

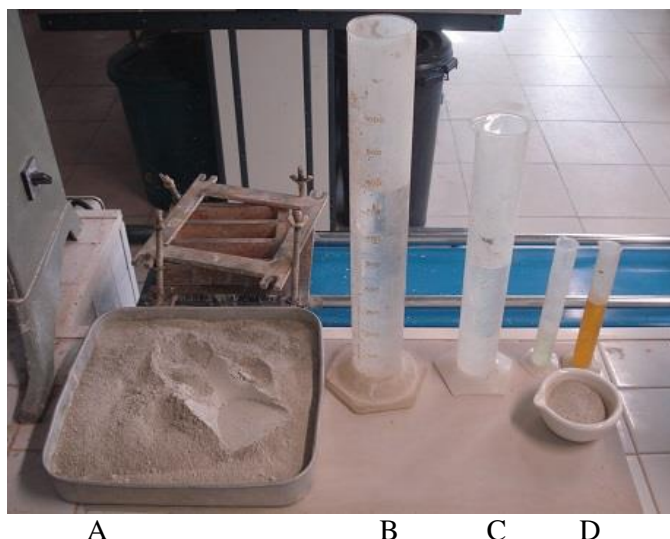


Figura 3.5 – Materiais utilizados na preparação da mistura II. Cal hidráulica natural NHL5 [A], água (70%) [B], água (30%) [C], superplastificante, óleo de linhaça com a amostra de cal [D].

Primeiramente é colocada 70% de água, em seguida a totalidade do ligante, sendo a mistura amassada durante 3 minutos, com o cuidado no final com uma espátula flexível dissolver possíveis

grumos que se tenham formado. Esta primeira mistura tem o objetivo de não deixar partículas do ligante não hidratadas, para quando da adição do superplastificante este atuar adequadamente. O superplastificante é adicionado com o remanescente da água (30%). Após mais 3 minutos de amassadura, utiliza-se novamente a espátula para dissolver eventuais grumos. Este procedimento é utilizado nas misturas I e III. Nas restantes misturas, (II e IV) antes da adição do superplastificante é adicionado o óleo de linhaça em forma de uma pasta, composta com óleo e ligante retirado da quantidade inicial (proporção 3:4 em massa). Após a adição do óleo, amassa-se durante mais 3 minutos e então adiciona-se o superplastificante. A calda final é colocada nos moldes com o auxílio de um *gobelet*. A calda para os ensaios reológicos é ainda coada com um peneiro, para remover eventuais grumos.

3.4.2 Incorporação do óleo de linhaça no *grout*

A incorporação do óleo de linhaça no *grout*, como explicado na secção anterior, é feita primeiramente através da mistura do óleo com o ligante no traço 3/4 (em massa, óleo/ligante). A adição desta mistura na cuba ocorre antes da adição do superplastificante, evitando-se assim a formação de flocos na mistura final. Na Figura 3.6 observa-se este processo.



Figura 3.6 – Incorporação do óleo com o ligante traço 3/4 (em massa, óleo/ligante).

3.4.3 Produção dos provetes

Foram produzidos 3 provetes *standard* ($40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$) iguais de cada tipo de mistura para cada tipo de ensaio. No âmbito desta dissertação pretende-se, igualmente, verificar a viabilidade da utilização de provetes mais pequenos para poupança de material em campanhas experimentais futuras, foram também realizados provetes de dimensão reduzida-com $20 \times 20 \times 80 \text{ mm}^3$, para realizar os mesmos ensaios dos provetes *standard*. Foram também realizados provetes cúbicos de $40 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ especificamente para este ensaio, mas neste caso 6 de cada mistura.

Os moldes utilizados para os provetes *standard* como cúbicos, são os moldes metálicos utilizados nos estudos de argamassas, com a adição de paralelepípedos de XPS (poliestireno extrudido) para realizar as formas cúbicas (Figura 3.7 B). Para os provetes pequenos foi construído um molde em madeira (Figura 3.7 C). Tanto nos moldes *standard* como nos pequenos foi aplicada uma camada de óleo descofrante antes da colocação da *grout*, nos moldes *standard* foi ainda aplicado silicone vedante branco nos bordos exteriores para evitar fugas, devido à fluidez da mistura. Na figura 3.6 observa-se os moldes utilizados ao longo da campanha experimental.

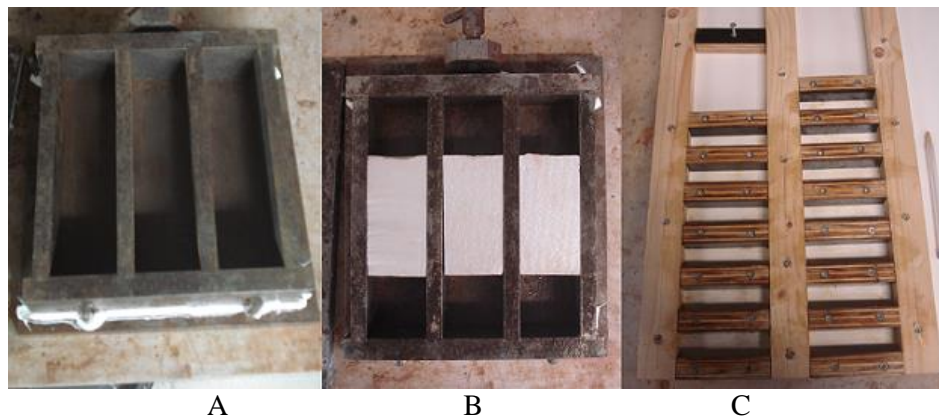


Figura 3.7 – Moldes utilizados na campanha experimental. Molde *standard* (A), molde *standard* para provetes cúbicos (B) e molde em madeira para provetes pequenos (C).

3.4.4 Condições de cura

A cura dos provetes ocorreu em sala condicionada (temperatura de 20 ± 2 °C e HR de 65 ± 5 %), primeiramente dentro dos moldes e quando apresentassem alguma rigidez, fora dos moldes e numa prateleira. Na Figura 3.8 observa-se a cura.



Figura 3.8 – Cura dos provetes em sala condicionada (temperatura de 20 ± 2 °C e HR de 65 ± 5 %). Com os moldes (A) e numa prateleira sem os moldes (B).

3.5 Ensaios reológicos

A campanha reológica foi realizada com recurso ao reómetro rotacional Gemini HRnano da Bohlin Instruments (Figura 3.9) e ao *software* reológico da mesma empresa. Atualmente não existe nenhum procedimento de ensaio normalizado para a realização de ensaios reométricos de caldas hidráulicas naturais, por isso este ensaio foi adaptado dos procedimentos desenvolvidos no âmbito de outros estudos envolvendo grouts de injeção à base NHL [20; 49]. A amassadura é realizada antes do ensaio, cerca de 6 minutos, e o ensaio demora cerca de 20 minutos por mistura.



Figura 3.9 – Reómetro rotacional Gemini HRnano da Bohlin Instruments [49]

O reómetro utilizado tem a geometria de pratos paralelos ($\Phi=40$ mm), com um afastamento entre pratos (*gap*) de 2 mm e com a temperatura de 20 °C. O ensaio tem início com uma pré-carga com uma taxa de corte de 10 s^{-1} durante 30 s. Em seguida a amostra repousa 60 s, finalmente é aplicada de taxa de corte em rampa ascendente entre os 0 e os 300 s^{-1} durante 10 minutos, onde os 60 segundos finais são à taxa de corte máxima (300 s^{-1}). Depois é aplicada uma rampa descendente dos 300 s^{-1} até ao repouso durante outros 10 minutos. A junção das duas curvas ascendente e descendente origina a curva de fluxo. Na Figura 3.10 observa-se uma ilustração da geometria usada nas medições reológicas.

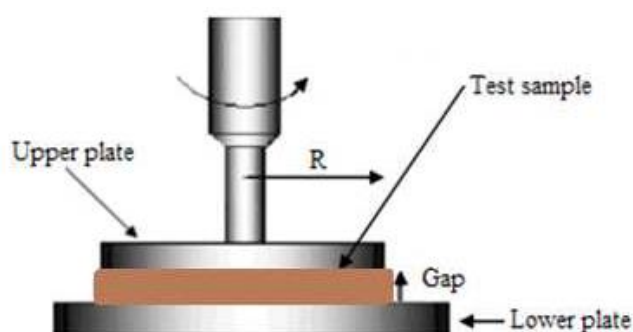


Figura 3.10 – Ilustração da geometria usada nas medições reológicas [49]

3.6 Ensaios mecânicos e de durabilidade

Os ensaios iniciaram-se aos 28 dias de cura, foram realizados entre fevereiro e setembro de 2016 e efetuados na seguinte ordem:

- Módulo de Elasticidade Dinâmico;
- Resistência à flexão por tração;
- Resistência à compressão;
- Porosidade Aberta;
- Capilaridade;
- Secagem;
- Termogravimetria;
- Resistência ao ataque por cloretos;
- Aderência por meio de provetes mistos.

3.6.1 Módulo de elasticidade dinâmico

Este ensaio não destrutivo foi o primeiro a ser realizado e foi baseado na norma portuguesa NP EN 14146:2006 [50], descrita para ensaiar pedras naturais.

Este parâmetro é determinado diretamente com recurso à máquina *ZEUS Resonance Meter*, que emite vibrações numa extremidade do provete que por sua vez são recebidas na outra.

Antes do início do ensaio foram medidas a massa e dimensões de cada provete, para posteriormente serem inseridas no *software* de ensaio. As medições foram efetuadas em quatro pontos, dois em cada extremidade do provete, fornecendo o programa de ensaio imediatamente o módulo de elasticidade dinâmico. No entanto, os módulos de elasticidade obtidos através do programa nem sempre são da mesma gama de valores, sendo necessária uma análise crítica pós-ensaio de modo a selecionar a gama de valores que melhor se coaduna ao material em estudo. Na figura 3.10 observa-se a realização do ensaio do módulo de elasticidade dinâmico.

Nota: Devido à pequena geometria dos provetes $20 \times 20 \times 80 \text{ mm}^3$ estes não foram ensaiados, pois a área do emissor era superior à face em contacto do provete.



Figura 3.11 – Provette a ser ensaiado ao módulo de elasticidade dinâmico

3.6.2 Resistência à tração por flexão

Este ensaio foi realizado com recurso ao equipamento ZWICK Z050 equipado com uma célula de carga de 2 kN e foi executado com base na norma EN 1015-11:1999a [51]. Este ensaio reside na aplicação de uma carga a meio vão do provete, onde a face superior é comprimida e inferior tracionada. A rotura ocorre quando se atinge a carga última na zona tracionada, donde resultam duas metades.

O provete foi colocado horizontalmente entre os dois apoios (espaçado 10 cm nos provetes 40x40x160 mm³ e espaçado 50 cm nos provetes 20x20x80 mm³). Teve-se o cuidado de a face livre no molde não ficar em contacto com os apoios nem com a célula de carga. O carregamento aumentou de forma constante, à taxa de 0,7 mm/min até ocorrer a rotura. O *software* regista um gráfico força-deslocamento de onde é retirado o valor associado ao rompimento do provete. Pela análise do referido o gráfico, a carga última de rotura é aquela que corresponde a um pico (valor mais elevado) e a que lhe está adjacente uma descida brusca, no que diz respeito aos valores de força imposta. Na Figura 3.12 observa-se o equipamento para a realização deste ensaio, assim como um provete depois de ser ensaiado.

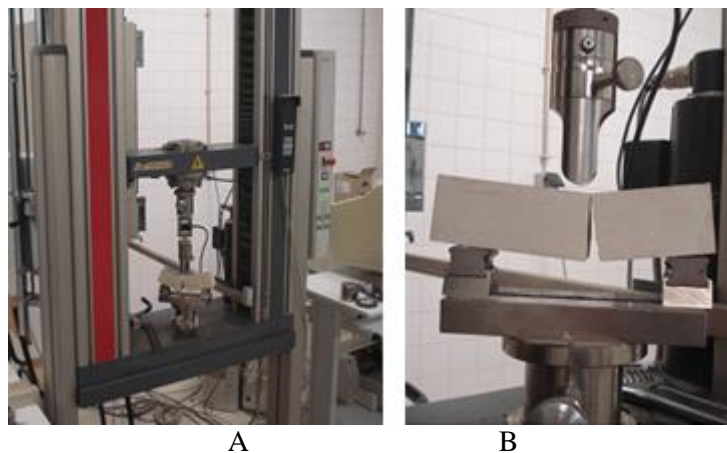


Figura 3.12 – Ensaio de resistência à tração por flexão: Equipamento utilizado (ZWICK Z050) (A) e provete após a realização do ensaio (B).

3.6.3 Resistência à compressão

Este ensaio foi realizado com uma metade do provete usada no ensaio de tração e foi utilizado o mesmo equipamento, a ZWICK Z050. Teve-se por base a norma EN 1015-11:1999a [51].

Cada metade de provete foi colocada num acessório para garantir que a área de contacto é de 40x40 mm², que posteriormente foi colocada entre dois pratos de prensa na ZWICK. Mais uma vez, teve-se o cuidado de a face livre no molde não ficar em contacto o acessório. O carregamento aumentou de forma constante, à taxa de 1,2 mm/min até ocorrer a rotura. O *software* regista um gráfico força-deslocamento de onde é retirado o valor associado ao rompimento do provete. Na Figura 3.13 observa-se um provete após a realização do ensaio.



Figura 3.13 – Proвете após a realização do ensaio de compressão.

Analogamente ao ensaio de tração por flexão, no instante em que o provete rompe, está diretamente associada uma força máxima de compressão, seguida de um decréscimo brusco imediatamente após a rotura do provete. Para obter os valores de resistência à compressão, realiza-se o quociente entre a força máxima de compressão pela correspondente área de aplicação do carregamento.

3.6.4 Porosidade aberta

Este ensaio foi realizado com as partes dos provetes resultantes do ensaio de compressão. Teve por base a norma NP EN 1936:2008 [52], definido para pedras naturais.

Iniciou-se o ensaio com a colocação dos provetes numa estufa a 60 ± 5 °C durante 24 horas. Em seguida procedeu-se à limpeza, para retirar material granular solto, e medição de massa. O ensaio tem a duração de 72 horas. Nas primeiras 24 horas, os provetes ficam no exsiccador com a bomba de vácuo acionada, para se retirar o ar. Findas as 24 horas adiciona-se água através de uma mangueira, até todos os provetes estarem submersos, mantendo-se o vácuo (i.e. sem abrir o exsiccador e mantendo a bomba ligada). A entrada de água deu-se de forma lenta, com uma duração superior a 15 minutos. Os provetes vão estar sujeitos a estas condições por mais 24 horas. Nas últimas 24 horas, retira-se o vácuo, sendo os provetes mantidos à pressão ambiente.

No fim do ensaio (após as últimas 24 à pressão ambiente) os provetes foram retirados do exsiccador e realizaram-se duas pesagens: primeiramente a pesagem hidrostática, com o provete imerso sobre um cesto de rede suspenso numa balança; em seguida a pesagem saturada, tendo o provete sido limpo com um pano húmido para remover a água em excesso. Na Figura 3.14 observa-se o procedimento de ensaio.

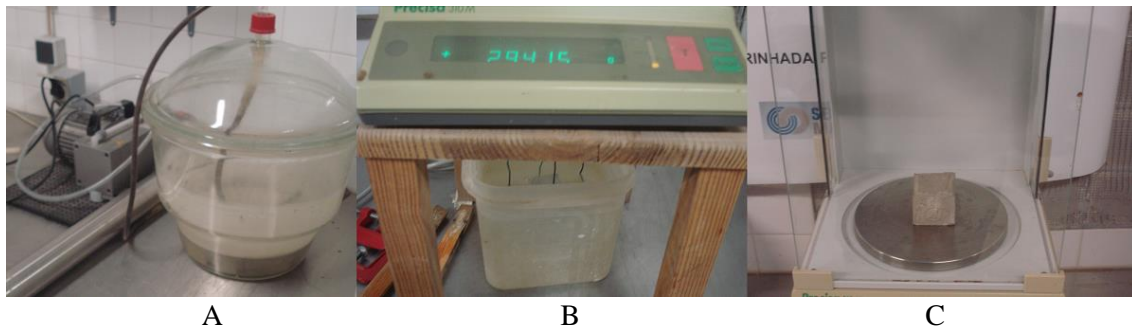


Figura 3.14 – Ensaio da porosidade: Exsicador utilizado no ensaio (A), pesagem hidrostática (B) e pesagem saturada (C).

3.6.5 Absorção de água por capilaridade

Para este ensaio foram utilizados provetes inteiros e foram seguidas as normas europeias EN 15801:2009 [53] e EN 1015-18:2002 [54].

Antes do início do ensaio, os provetes foram colocados numa estufa a $60\pm 5^\circ\text{C}$ durante 24 horas para garantir completa secagem aquando do início do ensaio. Em seguida foram pesados e impermeabilizados com uma mistura de pez de louro e resina de abelha. Os dois componentes são aquecidos num recipiente em quantidades iguais (traço 1:1, em massa) até formarem uma calda uniforme. Em seguida os provetes são pincelados em todas as faces laterais. Na Figura 3.15 observa-se a preparação da impermeabilização. O recurso à impermeabilização serve para que a ascensão de água ocorra apenas pela face inferior do provete, a face que irá estar em contacto com a água.

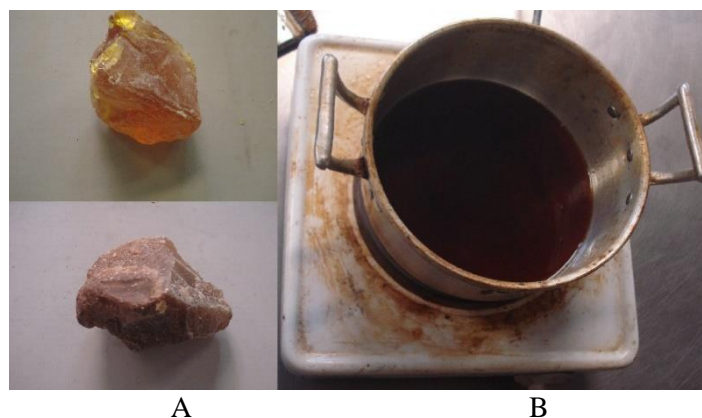


Figura 3.15 – Preparação da impermeabilização. Pez de louro (A - superior); cera de abelha (A - inferior) e mistura aquecida (B).

O ensaio decorreu em sala condicionada com temperatura de $20\pm 3^\circ\text{C}$ e humidade relativa de $65\pm 5\%$. Para o início do ensaio foi preparada uma caixa estanque com o ambiente húmido através de uma massa de água. O tabuleiro onde decorreu o ensaio, nivelado através de dois suportes, continha uma

lâmina de água com 5 mm e uma rede de borracha, para permitir a entrada de água através da base. Esta lâmina foi verificada ao longo do ensaio com o auxílio de uma régua.

O ensaio foi iniciado com a medição da massa seca dos provetes, depois foram medidas as massas em contacto com água na base aos 5, 10, 15, 30 minutos e 1 hora. A partir daí, foram medidas as massas de hora a hora durante 8 horas. Finalmente, as massas foram medidas de 24 em 24 horas, até a variação de massa entre pesagens consecutivas ser inferior a 2%.

Os provetes a ensaiar foram divididos em dois grupos de 12 provetes, de modo a respeitar os tempos de ensaio. Foi tida em conta a representatividade da amostra, tentando-se obter nos dois grupos uma amostra de cada mistura. A pesagem dos provetes foi feita cuidadosamente para evitar a queda de gotículas de água sobre outros provetes, e o mais rápido possível para garantir que a caixa esteja aberta o menos tempo possível. Na Figura 3.16 observa-se a realização do ensaio.

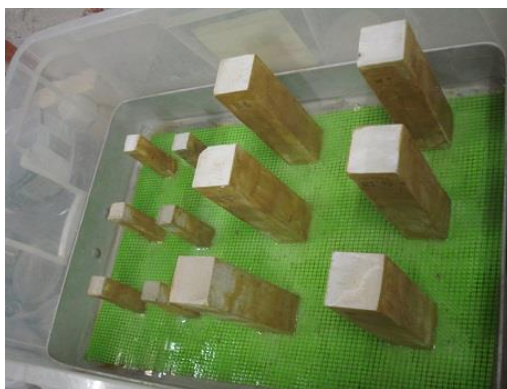


Figura 3.16 – Ensaio de capilaridade.

3.6.6 Secagem

O ensaio de secagem foi realizado no seguimento do ensaio de capilaridade, com base na norma europeia EN 16322:2013 [55] e decorreu na sala condicionada com temperatura de $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa de $65\pm 5\%$.

O ensaio tem como objetivo a avaliação do comportamento dos vários *grouts* à quantidade de água perdida ao longo do tempo, desde o estado saturado. A última medição do ensaio de capilaridade corresponde à primeira medição do ensaio de secagem. Os provetes foram vedados na base em contacto com a lâmina de água, através de película aderente e um elástico para garantir a secagem unidirecional e colocados numa bancada impermeável. Ou seja, isto é, a face que durante o ensaio de capilaridade tinha sido sujeita ao contacto com água fica isolada. As medições ocorreram no primeiro dia de hora a hora, durante as primeiras sete horas e posteriormente uma vez por dia nos restantes dias. O ensaio considera-se terminado quando se atingir massa constante entre pesagens consecutivas. Na Figura 3.17 observa-se a realização deste ensaio.



Figura 3.17 – Ensaio de secagem.

3.6.7 Resistência ao ataque por cloretos

Este ensaio foi realizado com base na norma portuguesa NP EN 12370:2001 [56]. Apesar de na norma estar preconizado o uso de uma solução de sulfato de sódio decahidratado, foi utilizada uma solução de cloreto de sódio, por este se encontrar imediatamente disponível no laboratório e não comprometer o calendário da campanha experimental. Nesta solução foi mantida a concentração indicada na norma, de 14%.

Após o ensaio de tração por flexão os provetes resultantes foram colocados numa estufa a $60\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Foi preparada a solução de cloreto de sódio e colocada num recipiente estanque, tentando-se manter este tapado sempre que possível para evitar a evaporação. Os provetes foram pesados e imersos dentro do recipiente durante 2 horas. Dentro deste foi deixado um espaçamento não inferior a 10 mm entre provetes e uma distância não inferior a 20 mm até às paredes do recipiente. Após a imersão estes foram colocados numa estufa com a $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante no mínimo 36 horas, arrefecidos durante 2 horas e novamente pesados. Repetiu-se este procedimento durante 15 ciclos. Quando a massa do provete era reduzida a cerca de metade da massa inicial, esse provete era retirado do ensaio. Na Figura 3.18 observa-se a realização do ensaio.

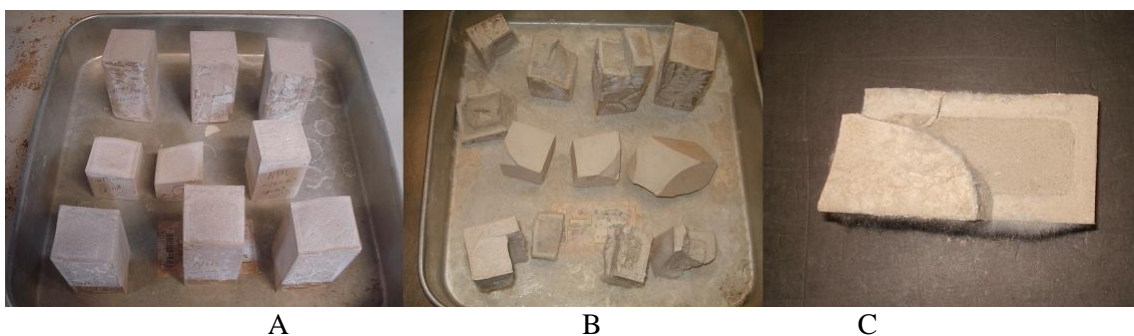


Figura 3.18 – Ensaio da resistência ao ataque por cloretos. Provetes no início do ensaio (A); provetes no fim do ensaio (B) e pormenor da penetração dos sais num provete (C).

3.6.8 Termogravimetria

Para este ensaio foi utilizado o equipamento de análise TG-DTA/DSC STA 449 F3 Jupiter da Netzsch-Gerätebau GmbH, com uma unidade de refrigeração calibrada para 27 °C e um sistema de abastecimento da atmosfera do equipamento constituído pelo gás inerte Azoto. Os procedimentos de ensaio utilizados foram os que estão definidos nas fichas de ensaio do equipamento.

As amostras a utilizar foram retiradas do interior do provete imediatamente antes do ensaio para evitar a carbonatação. Estas foram moídas com o auxílio de um almofariz, pesadas (é necessário 1 g para realizar o ensaio), colocadas numa caixa de *petri* e finalmente aplicadas no cadinho. No ensaio foi utilizada a haste portadora em alumina para trabalhar com o cadinho TG – *crucible*. Foi utilizada uma taxa de aquecimento de 10 °C/min de 20 °C a 1000 °C, com uma paragem de segurança aos 1010 °C. Após o ensaio, o cadinho foi limpo com o auxílio de um cotonete e álcool. Repetiu-se este procedimento para as quatro misturas. Na figura 3.16 observa-se o procedimento de ensaio, desde a preparação da amostra ao ensaio no equipamento.

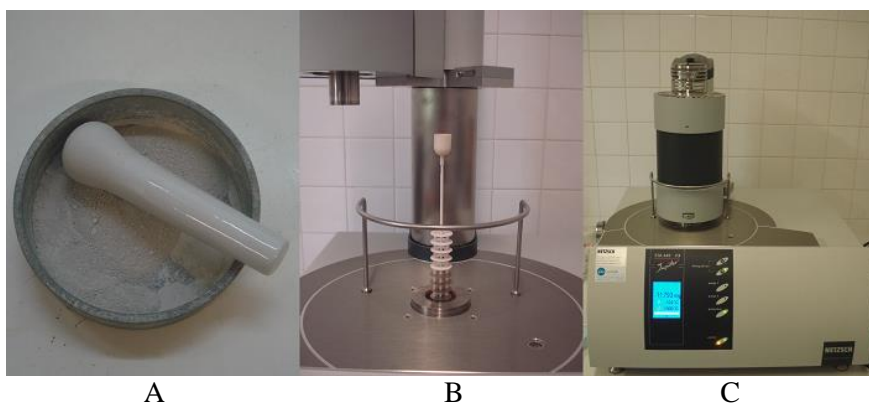


Figura 3.19 – Ensaio da termogravimetria. Moagem da amostra do provete com o auxílio de um almofariz (A), colocação da amostra no cadinho e equipamento utilizado no ensaio (B), TG-DTA/DSC STA 449 F3 Jupiter da Netzsch-Gerätebau GmbH (C).

3.6.9 Aderência

A metodologia do ensaio foi adaptada de Gonçalves [57] e foi realizada com provetes mistos. O objetivo deste ensaio passa por validar a aderência entre o *grout* e o suporte e entre o *grout* e o revestimento, para tal foram idealizados dois tipos de provetes mistos, um com o *grout* em estudo e tijolo para simular a aderência ao suporte e outro também com o *grout* e uma argamassa de cal aérea para simular a aderência ao revestimento. Para o provete misto da aderência ao suporte não foi utilizado

Capítulo 3 – Campanha experimental

apenas o tijolo devido à impossibilidade de se arranjar um tijolo maciço antigo com dimensão suficiente para se extrair amostras com $40 \times 40 \times 80 \text{ mm}^3$, assim foi utilizado um pedaço de tijolo colado com uma resina epoxídica a uma argamassa cimentícia, garantindo-se assim que a rotura ocorreria entre o *grout* e o tijolo. No outro provete misto da aderência ao *grout* e revestimento foi utilizado *grout* e meio provete *standard* de argamassa de cal aérea ($40 \times 40 \times 80 \text{ mm}^3$). Tanto o tijolo como a argamassa foram estudados quanto à porosidade, e a argamassa também foi estudada à tração por flexão.

A preparação dos provetes consiste na colocação de silicone nos bordos do para vedar eventuais fugas de *grout*. Os provetes de argamassa e de tijolo também são vedados com película aderente em todas as faces, exceto na face de contacto com o *grout*. Os provetes de tijolo são unidos com a argamassa de base cimentícia com base numa resina epoxídica. A preparação do *grout* é feita através do processo descrito anteriormente e é vertido com a ajuda de um *gobelet*. Após os 28 dias de cura os provetes são ensaiados na máquina universal de tração ZWICK e utilizando-se o procedimento de ensaio respetivo. Na Figura 3.20 apresenta-se a preparação dos provetes e o ensaio de aderência por provetes mistos.

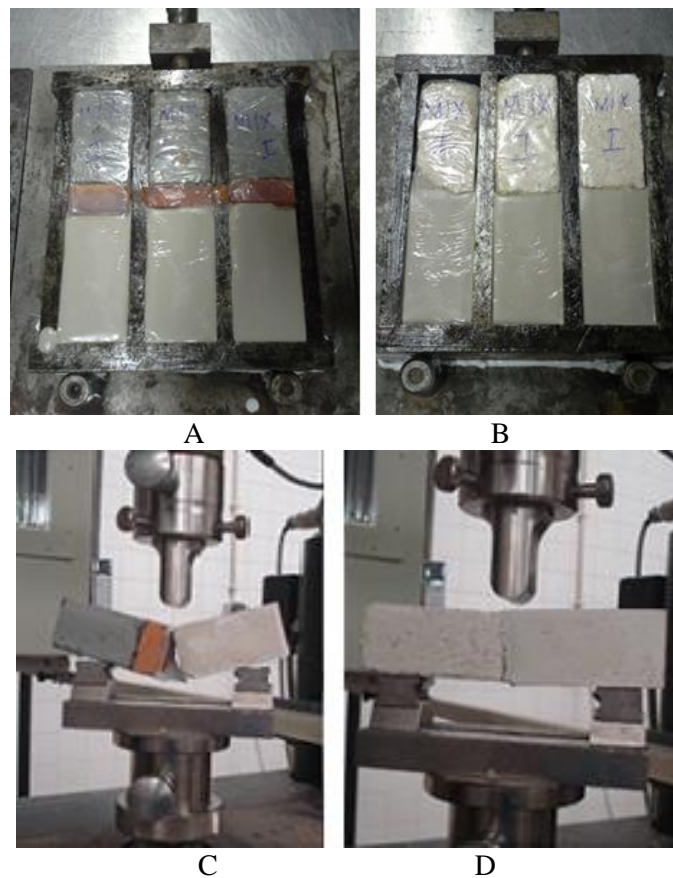


Figura 3.20 – Ensaio de aderência. A – provetes mistos de tijolo e *grout*, B – provetes mistos de argamassa e *grout*, C – ensaio de aderência de um provete misto de tijolo, D – ensaio de aderência de um provete misto de argamassa.

4 Apresentação e discussão de resultados

4.1 Introdução

No presente capítulo são apresentados os resultados dos ensaios realizados durante a campanha experimental, descritos no capítulo 3. Estes resultados também são comparados com trabalhos realizados sobre a mesma temática, a influência da adição de um hidrófugo e a relação existente entre provetes *standard* e de dimensão reduzida. Assim, a estrutura deste capítulo inicia-se pela explicação da determinação da razão água/ligante e da adição de um superplastificante. Em seguida são explicados os resultados obtidos através dos ensaios realizados, seguindo a mesma ordem do capítulo 3: ensaios reológicos, ensaios mecânicos e ensaios de durabilidade.

A determinação do rácio água/ligante depende da utilização do *grout*. Assim, um *grout* para tensionamento de cabos de pré-esforço deve ser pouco fluido (rácio água/ligante de 0,35 a 0,42) e um *grout* para consolidação de solos deve ser bastante fluído e apresentar um rácio água/ligante de 1 a 2. Já os *grouts* para consolidação de paredes de alvenaria apresentam um rácio intermédio entre estes dois casos, entre 0,5 e 1, para permitir a injetabilidade e acautelar os fenómenos de segregação e exsudação [58]. Atendendo a estes fatores, o rácio água/ligante escolhido foi de 0,5 para as misturas sem cimento (mix I e II) e de 0,45 para as misturas com cimento (mix III e IV), sendo estes valores semelhantes aos valores usados em trabalhos realizados nesta Faculdade [17, 29, 59]. A diminuição do rácio nas misturas com cimento deve-se à exsudação observada durante uma campanha experimental preliminar.

Os superplastificantes aumentam a fluidez do *grout*, sem a necessidade de se aumentar a quantidade de água. Estes funcionam através de forças repulsivas, que previnem a floculação das partículas sólidas em contacto com a água. Assim a água que iria estar retida nos flocos é libertada, aumentando-se deste modo a água livre disponível. O superplastificante utilizado na campanha experimental é da família dos naftalenos, pertencendo à segunda geração de superplastificantes, onde a ação dispersiva é obtida através da repulsão eletrostática provocada pela ionização das partículas do ligante com o mesmo sinal de carga [16].

4.2 Ensaio reológicos

A reologia é a ciência que estuda o escoamento e a deformação da matéria. Esta ferramenta é utilizada para o estudo do escoamento de *grouts* compostos por cais hidráulicos ou cimentos. Estes *grouts* têm o comportamento reofluídificante, que significa que a viscosidade decresce que com o aumento da taxa de corte. Este comportamento pode ser observado na Figura 4.1.

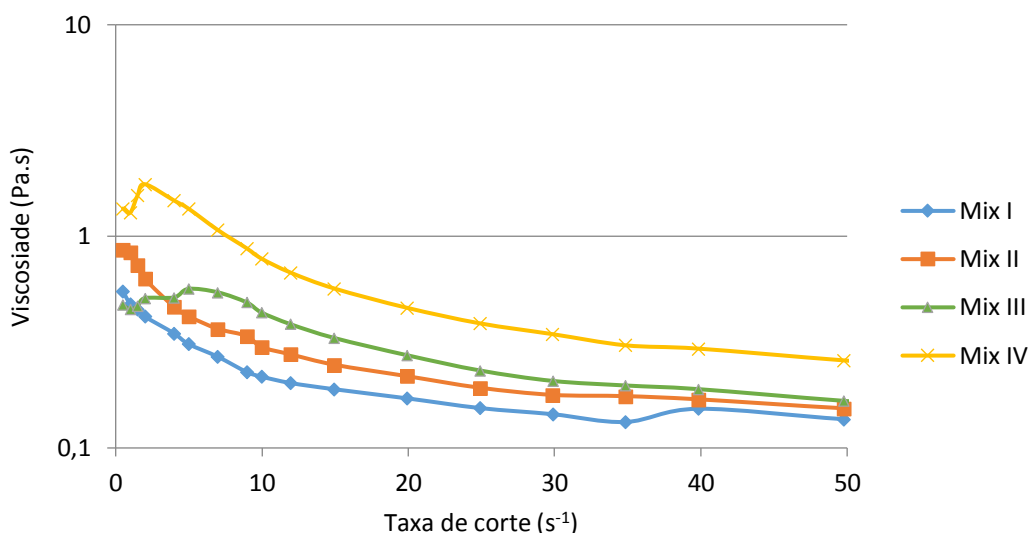


Figura 4.1 – Comportamento reofluidificante das misturas em estudo.

Através do modelo de Bingham modificado [16] é possível determinar os parâmetros reológicos fundamentais: a tensão de cedência e o coeficiente de viscosidade plástica. Na (4.1) é apresentado o modelo de Bingham modificado:

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \times \dot{\gamma} + B \times \dot{\gamma}^2 \quad (4.1)$$

onde:

- τ – Tensão de corte [Pa]
- τ_0 – Tensão de cedência [Pa]
- η – Coeficiente de viscosidade plástica [Pa.s]
- $\dot{\gamma}$ – Taxa de corte [s⁻¹]
- B – Constante sem significado físico

Na Figura 4.2 apresentam-se as curvas de fluxo para as quatro misturas obtidas através do ensaio reométrico. Através destas curvas e com a aplicação do modelo acima descrito obtêm-se a tensão de cedência observada na Figura 4.3 e o coeficiente de viscosidade plástica observada na Figura 4.4. Os resultados das Figura 4.3 e 4.4 foram apresentados em forma de gráfico de barras, comparando os valores das composições em estudo.

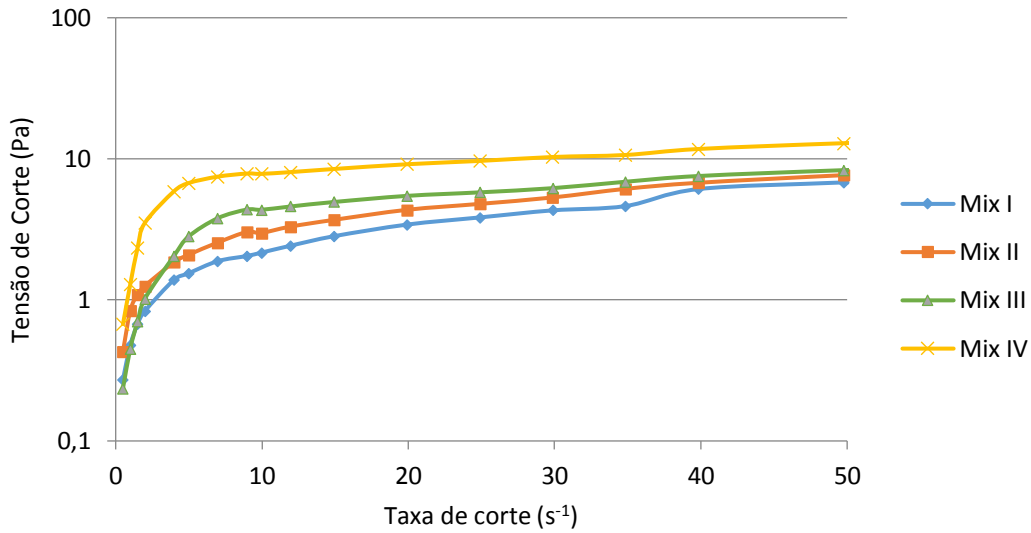


Figura 4.2 – Curvas de fluxo para os *grouts* no ensaio de reometria.

Com a análise da Figura 4.3 observa-se que os valores da tensão de cedência aumentam com a adição do óleo de linhaça. Os valores das misturas II e IV são aproximadamente o dobro das misturas I e III. Relativamente à viscosidade plástica observa-se que os valores são todos muito próximos, sendo as variações entre as misturas I e II muito pequenas, notando-se ainda que se verificou um aumento significativo com a introdução do óleo no *grout* com cimento.

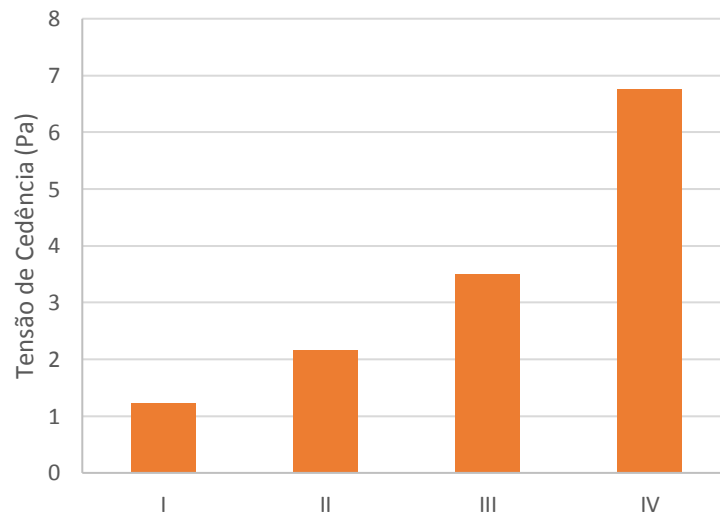


Figura 4.3 – Valores da tensão de cedência [Pa].

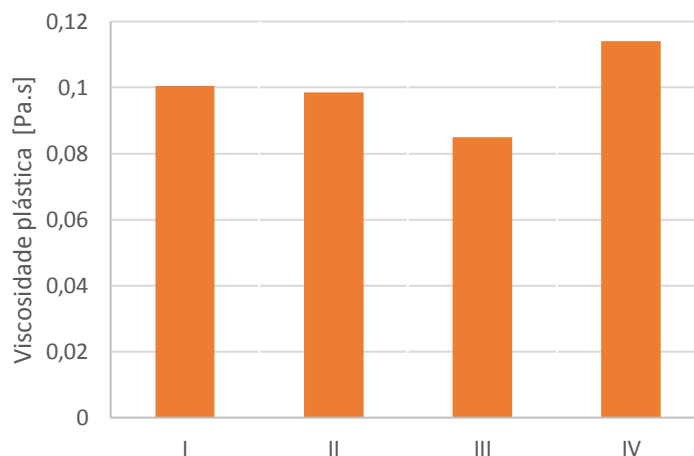


Figura 4.4 – Valores de viscosidade plástica [Pa.s]

A tensão de cedência ou tensão limite de escoamento é a tensão mínima necessária para que se inicie o escoamento [59; 60]. Está relacionada com a capacidade do *grout* escoar quando é aplicada uma determinada taxa de corte e afeta a capacidade de um *grout* escoar ao longo de um revestimento. A viscosidade plástica está relacionada com velocidade de escoamento de um *grout* após o início do escoamento. Menos viscosidade indica uma maior velocidade de escoamento dentro do revestimento ou entre um revestimento e suporte [20]. Assim, as condições reológicas necessárias para uma boa aplicação do *grout* são valores baixos de tensão de cedência e de viscosidade plástica [16].

Os valores obtidos para a tensão de cedência para as misturas I e II são inferiores aos valores obtidos por Cardoso [17] em condições muito semelhantes (diferenciando-se apenas a dosagem de superplastificante que de 0,8% acresce para 1,0%). Já para o mesmo autor os valores do coeficiente de viscosidade plástica também são superiores. Significando que mesmo com adição do óleo as propriedades reológicas do *grout* não são comprometidas.

Relativamente às misturas com cimento denota-se um pior desempenho tanto na tensão de cedência como na viscosidade plástica. É importante referir que em misturas apenas de base cimentícia a adição de um hidrófugo melhora as propriedades reológicas, podendo contribuir para a fluidez de uma mistura da mesma forma que um superplastificante [62].

4.3 Ensaios mecânicos e de durabilidade

4.3.1 Módulo de elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade dinâmico permite quantificar a rigidez de um material sólido, caracterizando a deformabilidade de um *grout* com o seu suporte. O *software* do equipamento calcula imediatamente o valor do módulo de elasticidade (E_d) dinâmico através da equação 4.2.

$$E_d = \frac{4 \times L^2 \times F_L^2 \times \gamma}{g} \times 10^6 \quad (4.2)$$

onde:

- E_d – Módulo de elasticidade dinâmico [MPa = N/mm²]
- L – Comprimento do provete [m]
- F_L – Frequência de ressonância fundamental longitudinal [Hz]
- γ – Peso volúmico do provete em ensaio [N/m³]
- g – Aceleração gravítica [g=9,80665 m/s²]

Com a análise do módulo de elasticidade dinâmico pode-se inferir a deformabilidade de uma argamassa assim como a sua tendência relativamente ao choque. Assim, um módulo de elasticidade baixo indica uma maior deformabilidade do *grout*. É importante referir novamente que os provetes pequenos não foram ensaiados devido à geometria do emissor do aparelho ser superior à geometria dos provetes.

Na Figura 4.5 é apresentado um gráfico de barras com os resultados do ensaio, através da sua análise conclui-se que a adição do óleo diminui o valor de E_d . Entre o mix e I e II existe uma diminuição de cerca de 35% e entre o mix III e IV existe uma diminuição de cerca de 20%. Os valores do módulo de elasticidade do *grout* devem ser semelhantes ao suporte e ao revestimento, assim para a consolidação de revestimentos antigos são necessárias argamassas mais deformáveis.

Com estes resultados pode-se inferir que os resultados obtidos para as misturas com cal hidráulica natural estão compatíveis com os valores observados nas argamassas de edifícios antigos, ou seja, entre os 2000 e 5000 MPa [9].

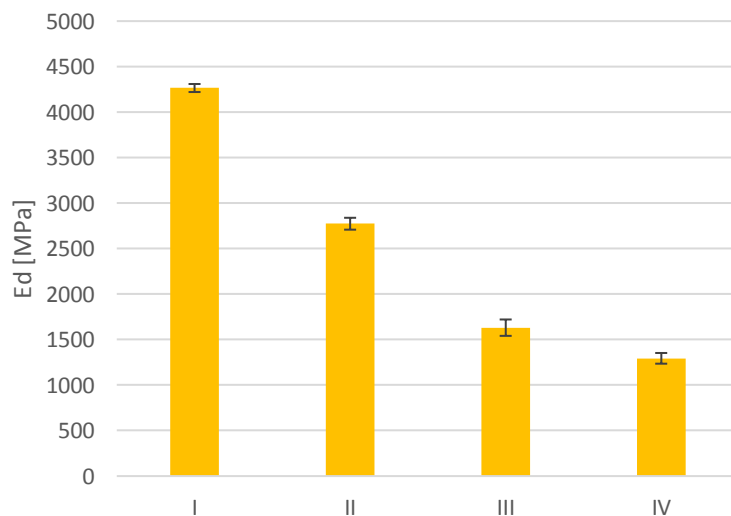


Figura 4.5 – Ensaio do módulo de elasticidade dinâmico

4.3.2 Resistência à tração por flexão

O ensaio de resistência à tração por flexão (R_t) permite determinar a resistência à fendilhação e ao desgaste de um *grout* para consolidação de revestimento. Os *grouts* com valores de R_t superiores apresentam melhores resistências à fendilhação e desgaste, desde que os valores de R_t sejam compatíveis com o suporte e revestimento.

O valor de R_t é calculado através da Equação 4.3:

$$R_t = \frac{M \times d}{I} \quad (4.3)$$

onde:

- R_t – Resistência à tração [MPa = N/mm²]
- M – Momento produzido pela carga aplicada [N.mm]
- I – Inercia do provete [mm⁴]
- d – Altura do provete [mm]

Tendo em conta a secção quadrado do provete, e, considerando um modelo simplesmente apoiado, obtém-se a Equação 4.4, que traduz o cálculo do momento criado pela carga aplicada e para a inércia do provete:

$$M = \frac{F_t \times l}{4} \quad (4.4)$$

onde:

- M – Momento produzido pela carga aplicada [N.mm]
- F_t – Força última aplicada a meio vão [N]
- l – Distância entre apoios [mm]

Por sua vez, é conhecida a expressão que traduz o momento de inércia de uma secção quadrada, que é dada pela Equação 4.5:

$$I = \frac{b \times d^3}{12} \quad (4.5)$$

onde:

- I – Inercia do provete [mm⁴]
- b – Largura do provete [mm]
- d – Altura do provete [mm]

Simplificando as expressões acima indicadas, a resistência à tração por flexão pode ser expressa pela equação seguinte: O valor de R_t é calculado através da Equação 4.6:

$$R_t = \frac{3 \times F_t \times l}{2 \times b \times d^2} \quad (4.6)$$

onde:

- R_t – Resistência à tração [MPa = N/mm²]
- F_t – Carga da última tração por flexão [N]
- l – Distância entre apoios [mm]
- b – Largura do provete [mm]
- d – Altura do provete [mm]

Os resultados são apresentados em forma de gráficos de barras, comparando os resultados entre as misturas com e sem o óleo de linhaça, ou seja mix I e II (sem cimento) e mix III e IV (com cimento). Para cada tipo de mistura existem 3 provetes *standard* e 3 provetes de dimensão reduzida. Na Figura 4.6 são apresentados os resultados do ensaio à tração por flexão aos 28 dias, realçando-se a diferença entre as quatro misturas e o tipo de provete, *standard* ou de dimensão reduzida.

Pode-se constatar que a adição do óleo de linhaça origina uma diminuição de R_t , tanto nas misturas com cimento e sem cimento (mix I vs. mix II e mix III vs. mix IV). Também se pode observar que nos provetes de dimensão reduzida o valor de R_t aumenta de forma generalizada em todas as misturas. Os valores de R_t diminuem da mistura I para a mistura II cerca de 71% nos provetes *standard* e cerca de 46% nos provetes de dimensão reduzida. Entre as misturas III e IV a diminuição é de cerca de 20% em ambos provetes, *standard* e de dimensão reduzida. Assim, a correlação observada neste ensaio entre os dois tipos de provetes é de 0,9275 (Figura 4.8).

Estes resultados podem ser comparados com os obtidos por Justnes [45], onde também foram observadas reduções de cerca de 15% nas resistências mecânicas em argamassas cimentícias com adição do óleo de linhaça. O aumento do valor de R_t nos provetes de dimensão reduzida pode ser explicado segundo Gomes Martins [63], que infere que em provetes de maior dimensão existe uma probabilidade acrescida de ocorrência de fissuras e defeitos do que em provetes de dimensões reduzidas [64]. Também o efeito das partículas que em provetes de maior dimensão poderia ser desprezível, em provetes de pequena dimensão poderia ser influenciável. Pode-se ainda mencionar que os resultados do mix I (provetes *standard*) são superiores aos observáveis em argamassas de cal hidráulica [65; 66], com o valor de R_t a ser aproximadamente 0,4 MPa; e em argamassas de cal aérea com $R_t=0,12$ MPa [67]. Com a adição do óleo (mix II – provetes *standard*) é reparado que os valores tornam-se bastante semelhantes às argamassas de cal hidráulica.

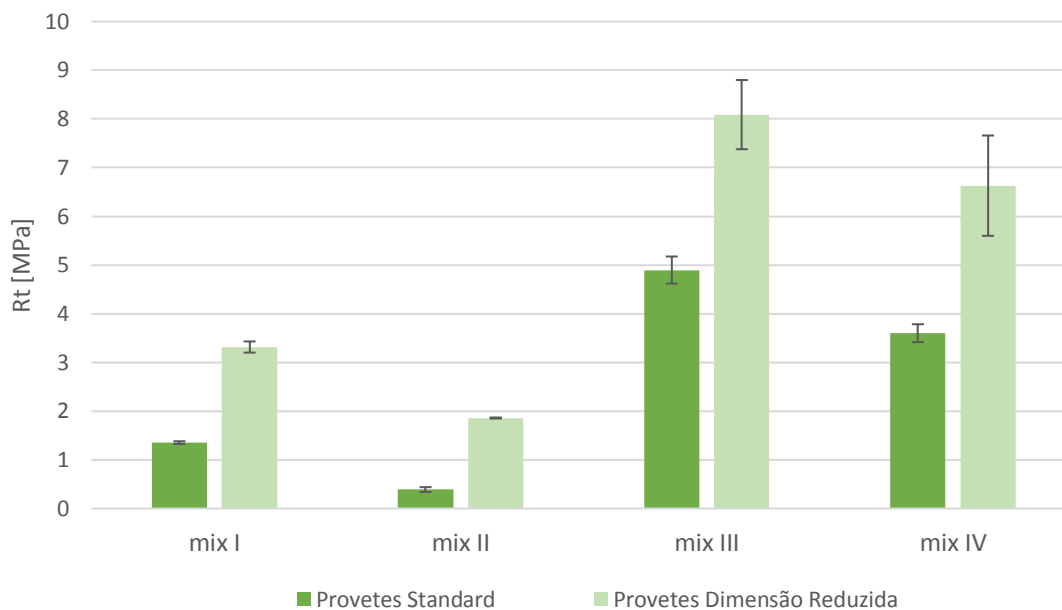


Figura 4.6 – Resistência à tração por flexão

4.3.3 Resistência à compressão

No ensaio de resistência à compressão é observável o efeito de Poisson. Os valores da resistência à compressão (R_c) são calculados através do quociente entre a carga última de compressão e a área comprimida. ($40 \times 40 \text{ mm}^2$). Os valores da R_c de um *grout* para consolidação de revestimento devem apresentar valores semelhantes ao do suporte e do revestimento.

Neste ensaio foram ensaiados provetes resultantes do ensaio de tração por flexão *standard* (3 provetes de cada mistura) e provetes cúbicos (4 a 6 provetes de cada mistura) realizados especificamente para este ensaio, em substituição dos provetes pequenos. Os provetes pequenos não poderiam ser ensaiados, visto que a área de contacto dos provetes ($20 \times 20 \text{ mm}^2$) era diferente da área de contacto do equipamento de ensaio ($40 \times 40 \text{ mm}^2$).

Na Figura 4.7 observa-se um gráfico de barras, comparando os valores de R_c entre as 4 misturas diferentes e os provetes *standard* e cúbicos. Tanto das misturas I para a II, como das misturas III para a IV observa-se uma diminuição de valores com a adição do óleo de cerca de 40%, indiferenciadamente do tipo de provete, *standard* ou cúbico. Observa-se ainda que a diferença entre os provetes *standard* e cúbicos é mínima, estando contida no intervalo do desvio-padrão.

Os resultados obtidos podem ser comparados com os resultados obtidos Čechová [4] onde foi observada uma pequena redução em argamassas de cal hidráulica com a adição do óleo de linhaça e novamente com os resultados obtidos por Justnes [45], onde esta redução foi observada em provetes cimentícios. Quanto à comparação com argamassas de cal hidráulica, constata-se que

os valores obtidos são bastante superiores em argamassas de cal hidráulica (R_c aproximadamente igual a 1,0 MPa [65; 66]; e em argamassas de cal aérea com $R_c=0,3$ MPa [67]).

Na Figura 4.8 observa-se a correlação entre provetes de dimensão reduzida e *standard*, onde se pode reparar correlações muito próximas de um, que viabiliza a utilização de provetes de dimensão reduzida em detrimento dos provetes *standard*.

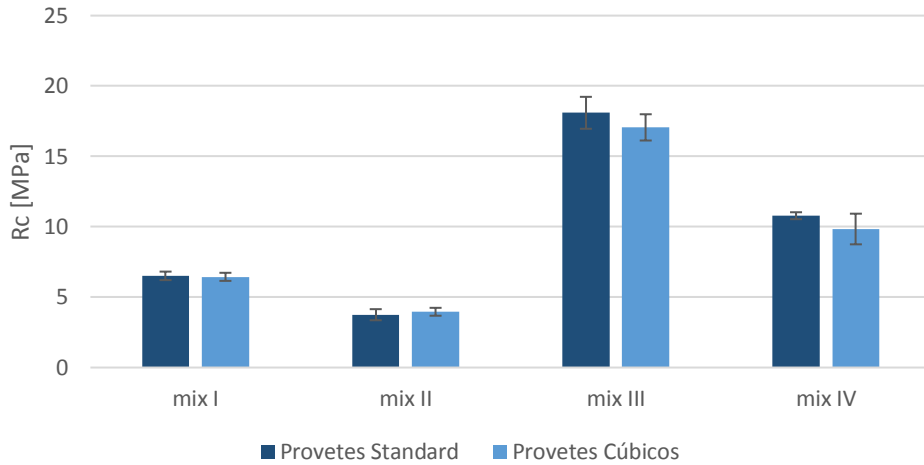


Figura 4.7 – Resistência à compressão

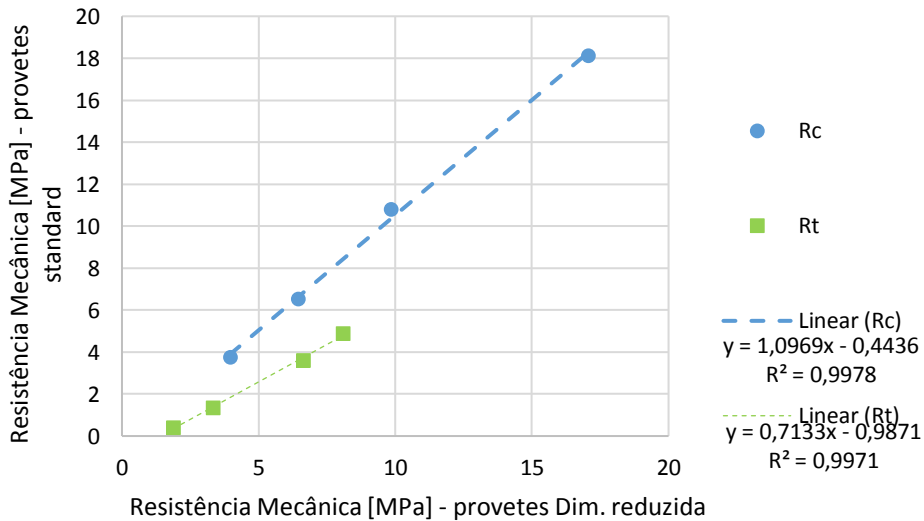


Figura 4.8 – Correlação entre provetes de dimensão reduzida e provetes *standard*

4.3.4 Termogravimetria

A termogravimetria é uma técnica em que uma substância é monitorizada em função da temperatura, numa atmosfera controlada. Com o aumento de temperatura ocorre a perda de massa em determinados picos relacionados com a perda de um material volátil. Os resultados extraídos deste ensaio são elaborados por um *software* do equipamento que posteriormente são exportados

Capítulo 4 – Apresentação e discussão de resultados

em forma de gráfico, com a temperatura em abcissas e a derivada da variação de massa em ordenadas.

No estudo das curvas de termogravimetria associadas aos *grouts* de cal hidráulica ou cimento observam-se três picos associados a quatro estados diferentes. A análise dos picos vai ser efetuada da esquerda para a direita; no primeiro pico, no troço descendente encontra-se a evaporação de água não hidratada, ou água em excesso. No mesmo pico, mas no troço ascendente encontra-se a perda de água quimicamente interligada aos produtos da reação (silicatos e aluminatos). No pico seguinte ocorre a reação da desidroxilação, que é a perda de água associada ao hidróxido de cálcio. No último pico observado no gráfico ocorre a reação da descarbonatação, onde é libertado dióxido de carbono por parte do carbonato de cálcio. Em termos de temperaturas, a primeira reação ocorre até aos 150 °C, a segunda entre os 150 °C e os 450 °C, a terceira entre os 450 °C e os 650 °C e finalmente, a quarta reação ocorre entre os 650 °C e os 1000 °C. A reação de desidroxilação origina água e óxido de cálcio e a reação da descarbonatação origina dióxido de carbono e óxido de cálcio. A água e o dióxido de cálcio formados nestas reações são elementos voláteis, enquanto o óxido de cálcio ou cal viva é o elemento sólido [61].

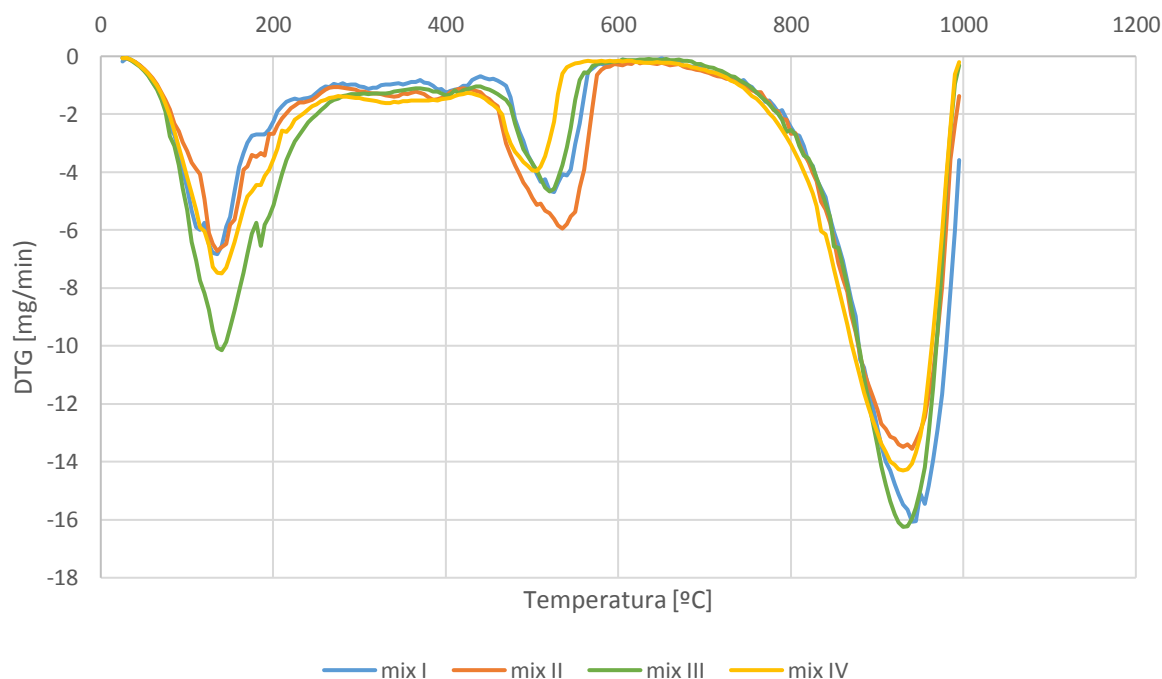


Figura 4.9 – Curvas do ensaio de termogravimetria

Analisando-se os gráficos da Figura 4.9, observa-se que nas misturas I e II o primeiro pico relacionado com a água, encontra-se nos 6% enquanto nas misturas III e IV este pico encontra-se nos 11%. Esta disparidade de valores é causada pela menor adição de água nas misturas III e IV, que origina menos água livre e maior quantidade de água combinada.

A ordem de valores de temperaturas é relativamente a mesma, ou seja, entre os 100 e os 150°C. Relativamente à adição do óleo de linhaça nas misturas sem cimento, o pico relacionado com desidroxilação aumenta mas o pico relacionado com a descarbonatação diminui. Esta correlação acontece pois o produto sólido formado é o mesmo, o óxido de cálcio, logo a diminuição de um pico origina o aumento de outro pico. Assim, a adição do óleo de linhaça atrasa a hidratação do carbonato de cálcio, reduzindo as resistências mecânicas ao longo do tempo. Quando às misturas com cimento, o efeito observado é precisamente o oposto, ou seja, o pico da desidroxilação diminui e o pico da descarbonatação aumenta aquando a adição do óleo. Esta ocorrência poderá estar relacionada com a presença apenas de 60 a 68% de óxido de cal numa mistura apenas de cimento.

4.3.5 Porosidade aberta

O ensaio de porosidade aberta (P_{ab}) de um *grout* permite inferir, em percentagem, o volume de poros abertos ao exterior. Assim é possível quantificar a compacidade do *grout* e a sua capacidade de absorver água. Logo, quanto menor for o valor da porosidade aberta do *grout*, mais compacto este será.

O cálculo da percentagem de porosidade aberta (P_{ab}) é feito através da relação entre o volume de poros abertos e o volume aparente do provete, através da massa saturada, massa hidrostática e massa seca. É utilizada a Equação 4.7:

$$P_{ab} = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \times 100 \quad (4.7)$$

onde:

- P_{ab} – Porosidade aberta [%]
- m_s – Massa saturada do provete [g]
- m_h – Massa hidroestática do provete [g]
- m_d – Massa seca do provete [g]

Para este ensaio foram utilizados os fragmentos resultantes do ensaio de compressão, 3 de cada tipo de mistura. Na Figura 4.10 observa-se um gráfico de barras comparando o valor de P_{ab} entre as quatro misturas.

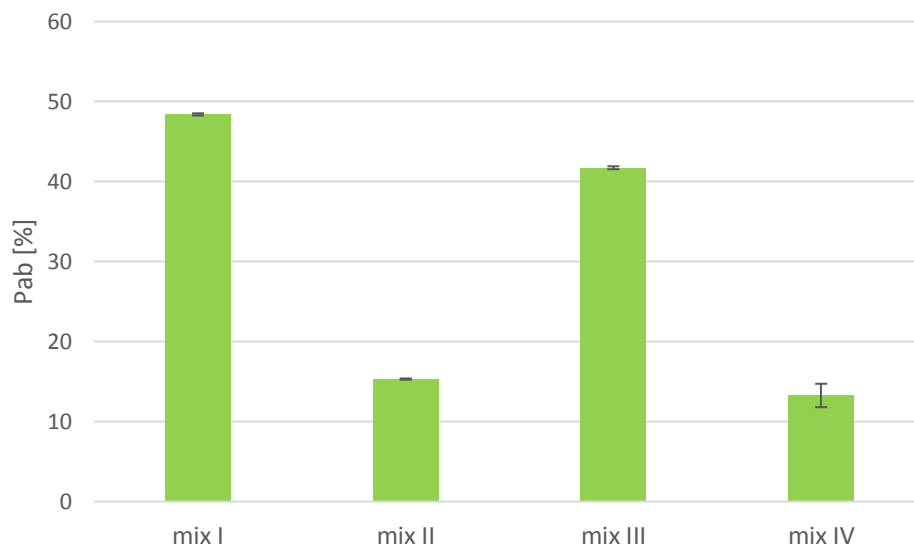


Figura 4.10 – Ensaio de porosidade

Através dos resultados apresentados na Figura 4.10, é possível verificar que existe um grande decréscimo, de cerca de 68%, entre as misturas sem óleo (mix I e mix III) e as misturas com óleo (mix II e IV).

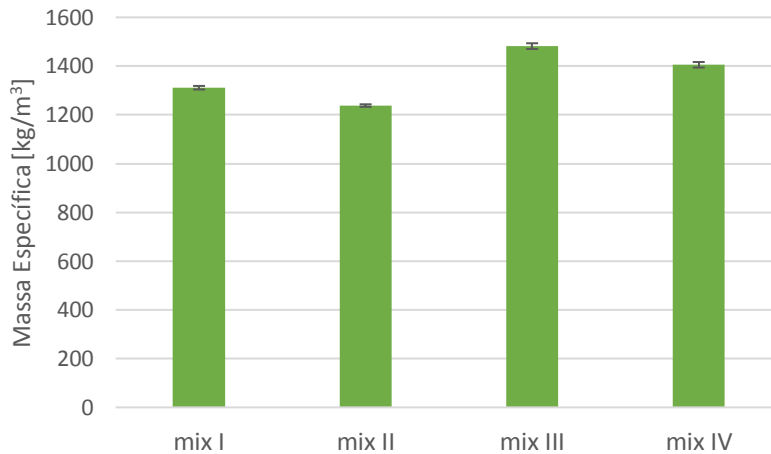


Figura 4.11 – Massa específica

Para melhor compreensão de este resultado é apresentado na Figura 4.11 a massa específica das quatro misturas onde se observa uma diminuição dos valores quando é acrescentado o óleo de linhaça. Esta diminuição de valores significa o aumento das dimensões dos poros podendo ser corroborada por Čechová [4], que realizou um ensaio de porosidade por intrusão de mercúrio. Este ensaio mede o raio de entrada do mercúrio, através da pressão (mantida constante durante o ensaio) que é necessária para introduzir o mercúrio dentro do poro que depende do

tamanho da sua entrada. No entanto, este ensaio transmite uma ideia das dimensões dos poros. Assim, nos resultados obtidos por Čechová observa-se um aumento das dimensões dos poros para o dobro em argamassas de cal hidráulica com a adição do óleo de linhaça. Relativamente aos valores obtidos pela mesma autora relativamente ao ensaio da porosidade aberta, nota-se uma ligeira diminuição nestas mesmas argamassas.

Em todo o caso, para se melhor entender este resultado seria necessário realizar o ensaio da porosidade por intrusão de mercúrio nos *grouts* pois não é evidente se a água conseguiu penetrar na totalidade dos *grouts* com adição do óleo.

Com o objetivo de se estudar o revestimento e o suporte onde aplicação dos *grouts* é efetuada realizou-se o ensaio da porosidade também para provetes de argamassa de cal aérea e para tijolos cerâmicos furados. Os resultados são apresentados na Figura 4.12 e constata-se que os valores da porosidade das argamassas, como era expectável, são muito inferiores aos valores do *grout* sem adição do óleo. Já os valores para os tijolos são semelhantes aos valores observados para os *grouts* sem adição do óleo, apesar do elevado desvio padrão.

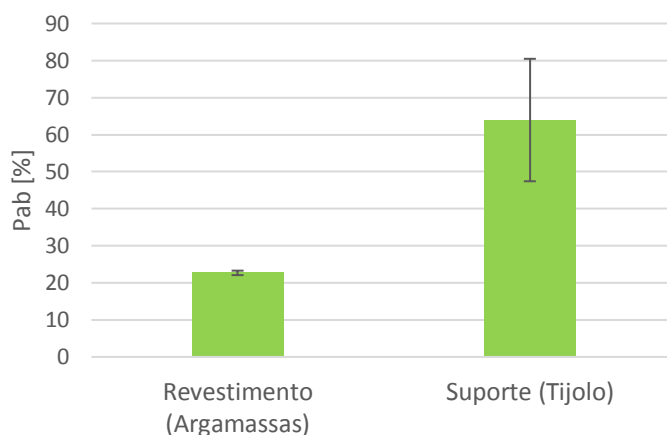


Figura 4.12 – Ensaio de porosidade para o revestimento (argamassas) e suporte (tijolos)

4.3.6 Absorção de água por capilaridade

O objetivo deste ensaio é estudar o comportamento do grout em relação à água no estado líquido. Com os dados obtidos é possível obter dois parâmetros: o coeficiente de capilaridade (CC) que representa a absorção no início do ensaio e a sorptividade que permite quantificar a velocidade da ação capilar de um líquido num meio poroso.

No estudo de um *grout* para consolidação de revestimentos pretende-se que os tanto os valores de CC como de VA sejam baixos, ou seja, que a velocidade de absorção de água seja baixa e que o *grout* absorva a menor água possível.

Capítulo 4 – Apresentação e discussão de resultados

A curva de absorção capilar é determinada através da Equação 4.8, utilizando a média das massas de três provetes (*standard* e de dimensão reduzida) por mistura.

$$m = (m_i - m_0)/A \quad (4.8)$$

onde:

- m – massa da quantidade de água absorvida [Kg/m^2]
- m_i – massa do provete no fim do instante t_i [Kg]
- m_0 – massa do provete seco no instante t_0 [Kg]
- A – área da secção do provete em contacto com a água [m^2] ($0,04 \times 0,04 \text{m}^2$ nos provetes *standard* e $0,02 \times 0,02 \text{m}^2$ nos provetes pequenos)

Na Figura 4.13 observa-se a curva de absorção capilar, construída até cerca das 240 horas de ensaio (10 dias), com a raiz do tempo em abcissas e a absorção capilar em ordenadas. Constatase que os provetes com a adição do óleo de linhaça absorvem menos água do que os provetes sem a adição deste, sendo esta afirmação válida para todos os tipos de mistura e tipos de provete.

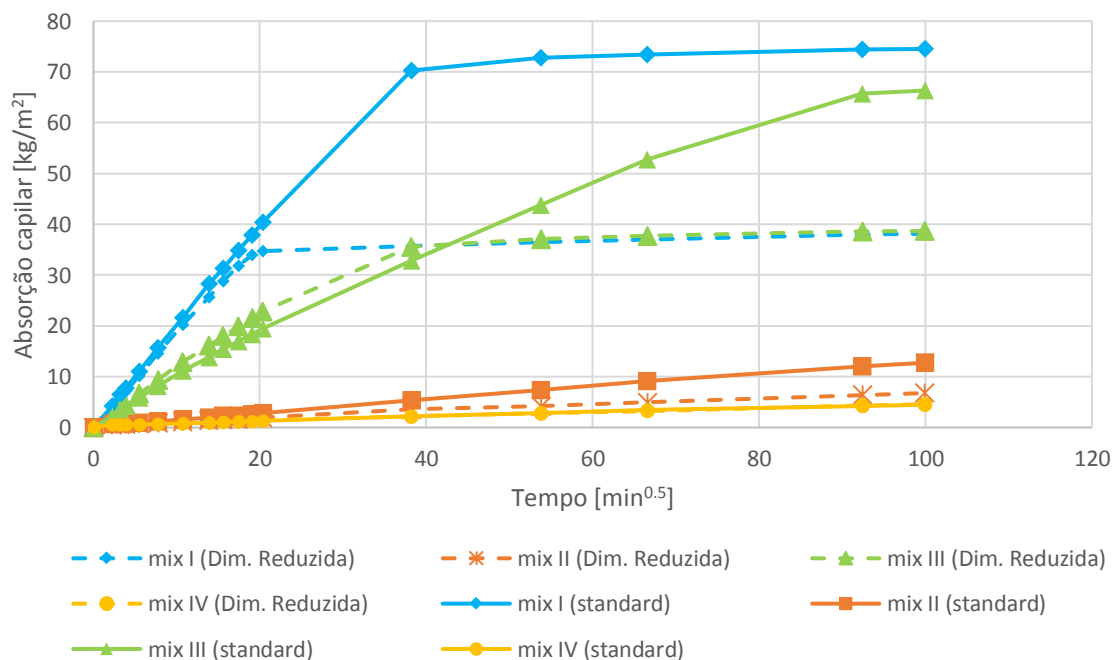


Figura 4.13 – Curvas de absorção capilar

Observa-se também que os provetes com a adição do óleo nunca chegam a estabilizar, ao contrário dos provetes sem a adição, que estabilizam aproximadamente às 6 horas de ensaio (mix I dimensão reduzida); às 26 horas de ensaio (mix I *standard* e mix III dimensão reduzida) e às 141 horas de ensaio (mix III *standard*). Comparando os valores dos provetes *standard* e de dimensão reduzida sem a adição do óleo, os de dimensão reduzida estabilizam antes dos provetes *standard* para o mesmo tipo de mistura, cerca de 20 horas antes para o mix I e 115 horas antes para o mix III. Adicionalmente o declive inicial da curva de absorção capilar é muito semelhante para os provetes *standard* e de dimensão reduzida nas misturas I e III.

Através da análise do gráfico da Figura 4.13 é possível determinar o coeficiente de capilaridade (CC) e a sorptividade (S). O coeficiente de capilaridade é determinado através do declive do trecho reto inicial de cada provete. A sorptividade corresponde aos valores do coeficiente assintótico pela divisão da massa volúmica da água à temperatura de ensaio ($997,56 \text{ Kg/m}^3$ (23°C)).

As curvas de absorção capilar representadas na Figura 4.12 podem ser comparadas com as curvas obtidas por Lanzón [68], que realizou um ensaio de capilaridade para argamassas cimentícias com a introdução de aditivos hidrófugos em pó. Nas curvas apresentadas no seu estudo observa-se que a introdução em 1,0% de aditivos hidrófugos em pó como sabões de ácidos gordos, silicones e polímeros hidrofóbicos diminui significativamente a absorção de água por capilaridade, traduzindo-se em curvas semelhantes às visionadas nas misturas com adição do óleo de linhaça. As curvas apresentadas por Lanzón têm um declive menor, ou seja, os provetes de argamassa absorvem menos água, mas é importante referir que os aditivos utilizados são compostos químicos trabalhados laboratorialmente, com todos os custos associados.

Também Justnes [45] traçou as mesmas curvas para argamassas de cimentícias, mas usou o óleo de colza sendo que as curvas apresentadas para a dosagem de 1,0% são semelhantes às observadas anteriormente, com os valores mais próximos das curvas do óleo de linhaça.

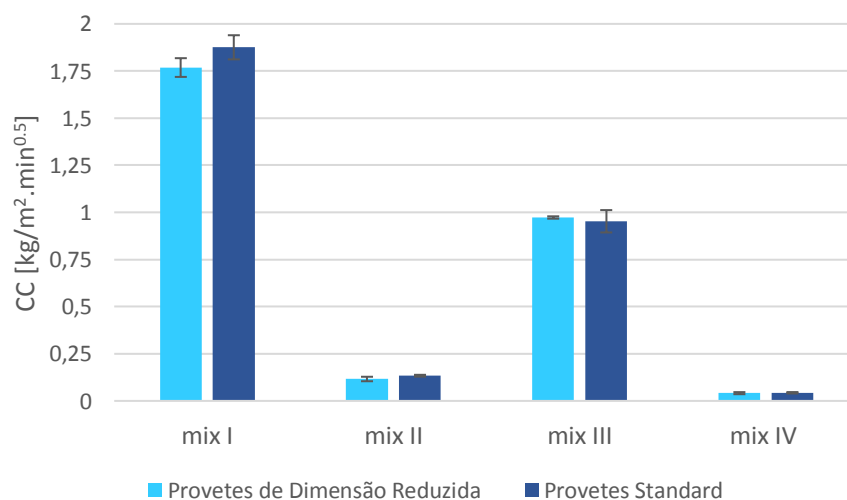


Figura 4.14 – Coeficiente de capilaridade

Analisando-se agora o gráfico de barras da Figura 4.14 nota-se que o coeficiente de capilaridade diminui com a adição do óleo. Também se verifica que a variação do coeficiente de acordo o tipo de provete, *standard* ou de dimensão reduzida, é mínima.

Os resultados observados na Figura 4.14 podem ser comparados com os de Čechová [4], onde nas argamassas de cal hidráulica com a adição do óleo de linhaça observa-se uma redução do coeficiente de capilaridade de cerca de 65%, sendo que nesta campanha experimental a redução é de cerca de 90% nos *grouts* de cal hidráulica. Assim, torna-se importante referir que a análise do coeficiente de capilaridade dos provetes com adição do óleo deve ser feita com precaução, não sendo possível definir com exatidão o declive da curva de absorção, uma vez que a curva de absorção nunca chega a estabilizar. Estes resultados também podem ser confrontados com os valores observados em argamassas de cal aérea, onde o valor do coeficiente de capilaridade observado foi de $2,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$ [67] e em argamassas de cal hidráulica onde o valor observado foi de aproximadamente $2,8 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$ [63; 64], notando-se assim uma grande melhoria do desempenho nos *grouts* com a adição do óleo.

Observando-se agora o gráfico de barras da Figura 4.15 constata-se que a sorptividade segue a mesma tendência observada no coeficiente de capilaridade, uma vez que segue o mesmo procedimento de cálculo.

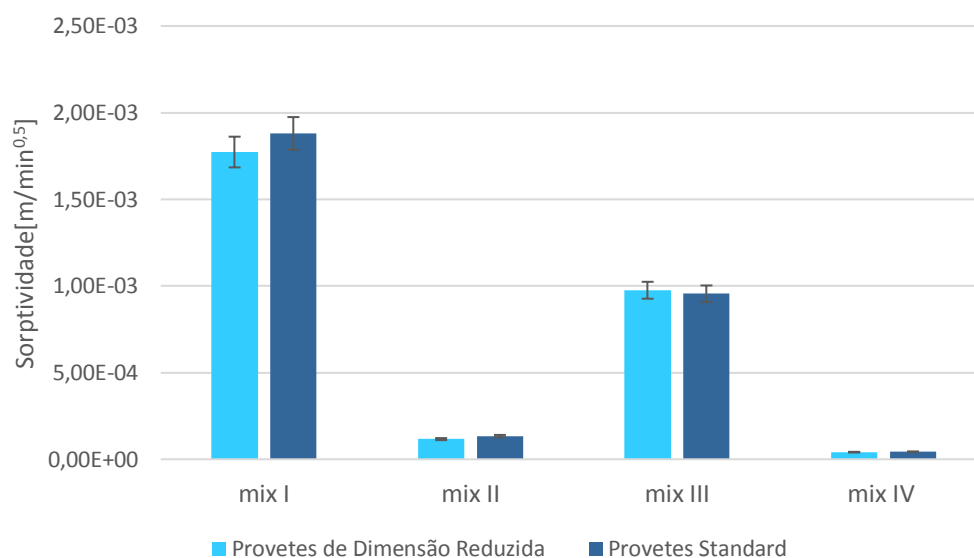


Figura 4.15 – Sorptividade

Na Figura 4.16 constata-se a relação entre provetes de dimensão reduzida e *standard* para os valores de coeficiente de capilaridade e sorptividade. Observa-se que, à semelhança dos ensaios mecânicos, as correlações observadas são muito próximo de 1, validando-se assim mais uma vez o uso de provetes de dimensão reduzida.

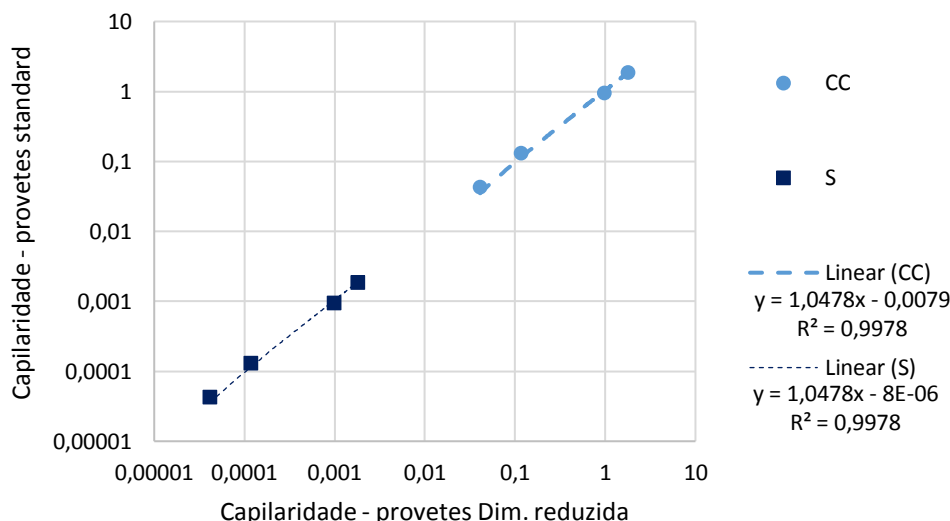


Figura 4.16 – Correlação entre os provetes de dimensão reduzida e *standard* para os ensaios da capilaridade.

4.3.7 Secagem

O objetivo deste ensaio é estudar a quantidade de água perdida pelos provetes após o ensaio de capilaridade, em função do tempo. O processo de secagem pode ser dividido em três fases: na primeira fase o material é considerado saturado, com o início da secagem a água líquida é transportada até à superfície do material (frente de secagem) devido maioritariamente a forças de capilaridade, é nesta superfície que se inicia a evaporação da água. Na segunda fase a frente de secagem recua para o interior do material, levando a um maior percurso da difusão de vapor e originando a diminuição da taxa de secagem. Esta fase termina quando deixa de existir água líquida na frente de secagem. A terceira fase é de carácter higroscópico, sendo a primeira de carácter capilar e a segunda de carácter capilar e higroscópico. Na terceira fase a taxa de secagem diminui lentamente até ao equilíbrio higroscópico [69].

É possível retirar dois parâmetros para caracterizar o *grout*: a taxa de secagem (TS), que representa a água perdida pelos provetes no durante as primeiras horas de ensaio e o índice de secagem (IS), que representa a perda de água dos provetes durante todo o ensaio. O *grout* será mais eficiente quanto maior for a perda de água na fase inicial (alta taxa de secagem) e quanto menor for o valor do índice de secagem, significando que a secagem global foi rápida [65].

A relação entre a quantidade de água evaporada com o tempo de ensaio é descrita pela equação 4.6, semelhante à Equação 4.9 do ensaio de capilaridade:

$$m = \frac{m_i - m_0}{A} \quad (4.9)$$

onde:

- m – massa da quantidade de água perdida [kg/m^2]
- m_i – massa do provete no fim do instante t_i [kg]
- m_0 – massa do provete no instante t_0 [kg]
- A – área da secção do provete livre para a secagem [m^2] ($0,04 \times 0,04 \text{ m}^2$ nos provetes *standard* e $0,02 \times 0,02 \text{ m}^2$ nos provetes de dimensão reduzida)

A curva com as percentagens de água retida em cada provete é traçada através da diferença de massas entre a massa ao longo do tempo no ensaio da secagem e a massa seca antes do ensaio de capilaridade, podendo ser observada na Figura 4.17. Não é possível observar-se com exatidão as três fases do processo de secagem, sendo que a primeira fase corresponde à sobreposição de pontos iniciais onde os provetes perdem maior quantidade de água. A segunda fase inicia-se quando a perda de água deixa de ser constante, ou seja no ponto de inflexão definido aproximadamente às 25 horas de ensaio [69]. A fronteira entre a segunda e a terceira fase é incerta uma vez que o decréscimo da velocidade de secagem é demorado pois é difícil atingir as condições de humidade relativa do ambiente.

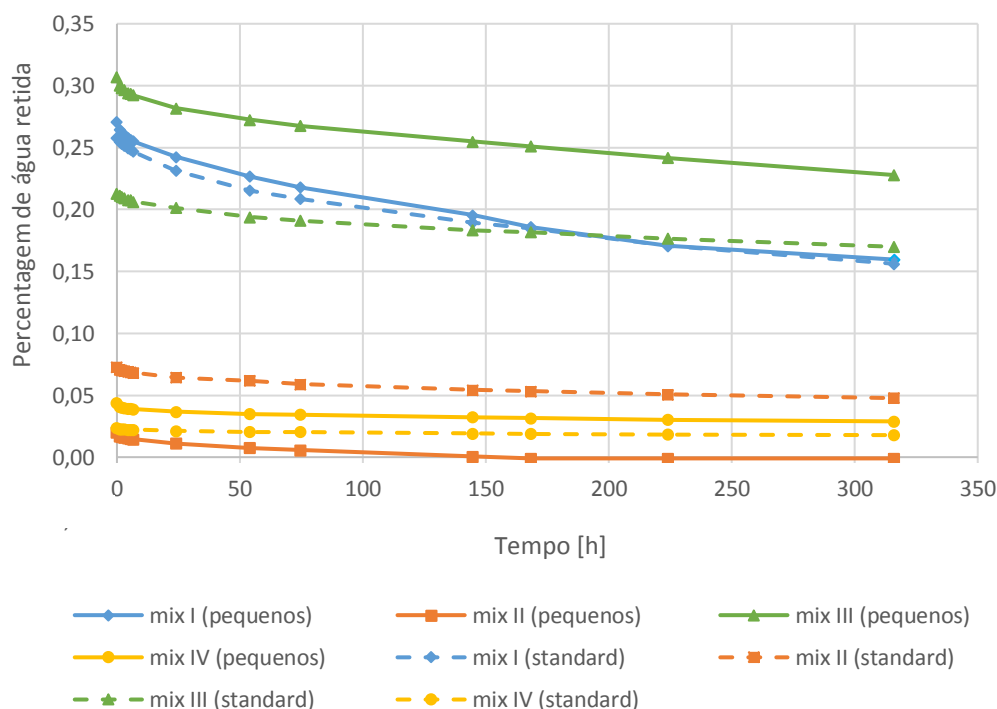


Figura 4.17 – Percentagem de água retida

Constata-se que os provetes com a adição do óleo são os que perderam menos água, pois no ensaio de capilaridade foram estes que também absorveram menos água. Na diferenciação entre os provetes *standard* e de dimensão reduzida, observa-se o mesmo efeito, como os provetes

de dimensão reduzida são de medidas menores absorveram menos água e assim também perderam menos água.

Na Figura 4.18 observa-se um gráfico de barras que representa a taxa de secagem entre as quatro misturas, diferenciando também o tipo de provete, dimensão reduzida ou *standard*. A taxa de secagem foi calculada com os dados da Equação 4.9 aplicada à primeira fase da secagem. Neste gráfico também é possível destacar que quanto mais água o provete ganha, mais ele perde, logo os provetes sem o óleo apresentam uma maior taxa de secagem. Ainda se repara que os provetes cimentícios têm uma taxa de secagem menor, pois a presença de cimento reduz a sua permeabilidade, sendo esta uma desvantagem da utilização de argamassas cimentícias em revestimentos antigos.

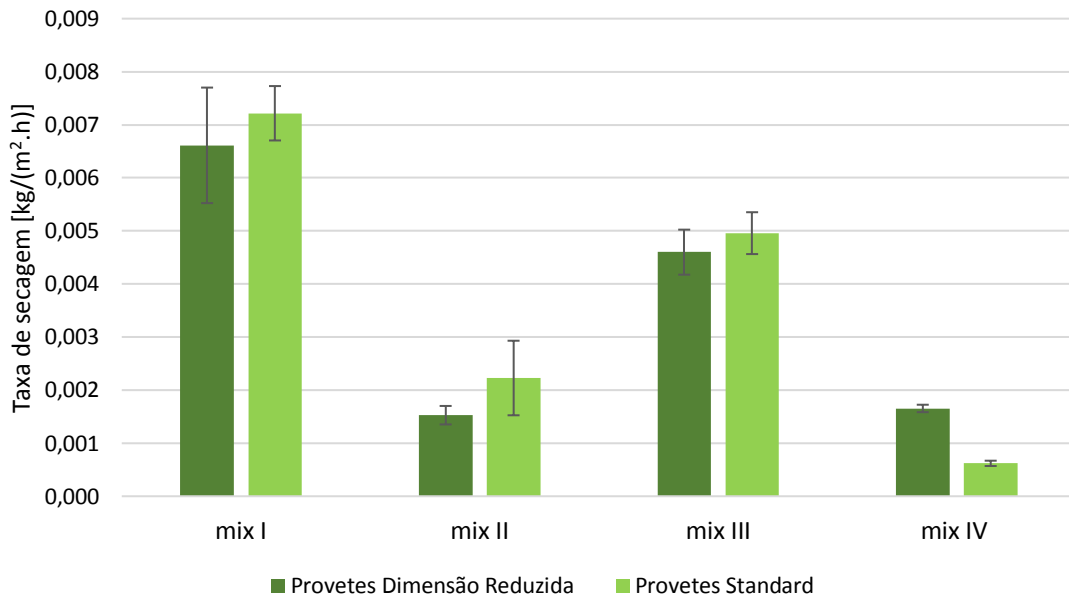


Figura 4.18 – Taxa de secagem

Através do cálculo do teor em água (Wt) na Equação 4.10 é possível calcular índice de secagem acordo com a Equação 4.11.

$$Wt = \frac{m_i - m_0}{m_0} \times 100 \quad (4.10)$$

onde:

- Wt – teor em água [%]
- m_i – massa do provete no fim do instante t_i [kg]
- m_0 – massa do provete seco antes do início do ensaio de capilaridade [kg]

$$IS = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left[(t_i - t_{i-1}) \times \frac{W_{ti-1} + W_{ti}}{2} \right]}{W_{m\acute{a}x} \times t_f} \quad (4.11)$$

onde:

- IS – índice de secagem
- t_i – tempo decorrido em i minutos depois do início do ensaio [min]
- t_{i-1} – tempo na medição anterior ao instante i [min]
- W_i – teor em água correspondente ao instante i [%]
- W_{i-1} – teor em água correspondente ao instante t_{i-1} [%]
- $W_{m\acute{a}x}$ – teor em água correspondente ao valor máximo do ensaio (início do ensaio) [%]
- t_f – tempo final de ensaio [min]

Na Figura 4.19 observa-se um gráfico de barras que representa o índice de secagem entre as quatro misturas, diferenciando também o tipo de provete, dimensão reduzida ou *standard*. Observa-se que não existe grande diferenciação entre as quatro misturas e os diferentes tipos de provete.

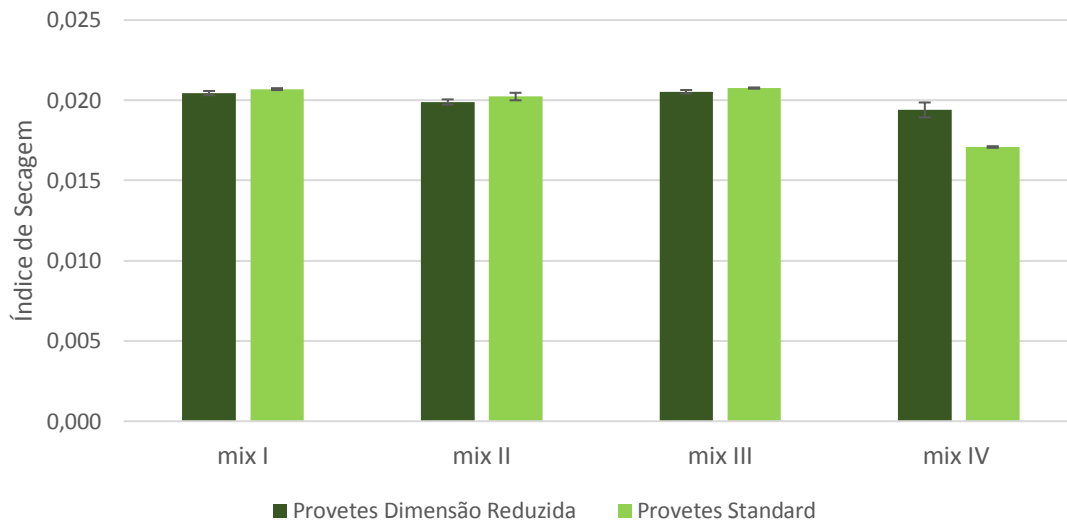


Figura 4.19 – Índice de Secagem

Confrontando-se os resultados, as argamassas de cal hidráulica que apresentam valores de índice de secagem médios de 0,30 [65; 66] e as argamassas de cal aérea apresentam valores de 0,1 [67] analisados aos 28 dias. Os valores obtidos neste trabalho experimental de *grouts* são bastante inferiores aos observados, ressalvando-se que quanto menor o índice de secagem, mais depressa se realiza o processo de secagem global. Relativamente à diferenciação das misturas

com óleo e sem óleo e às pequenas diferenças observadas no índice de secagem, estes resultados podem ser comparados com os de Čechová [4]. Segundo este mesmo autor, a primeira fase de secagem está interligada com o meio exterior, onde a porosidade do material vai influenciar a perda de água. A adição do óleo vai influenciar as fases dois e três, aquando a atração das moléculas de água para a superfície do material. Existem duas hipóteses a serem consideradas, o caso onde o óleo limita a adsorção das moléculas de água, tornando assim a secagem mais rápida, ou então o caso onde o óleo bloqueia as moléculas de água em poros muito pequenos tornando assim a secagem mais lenta. No entanto, aquando a adição do óleo não se observam mudanças significativas no índice de secagem, o que leva a concluir que a sua adição não atrasa o processo de secagem, não retendo assim humidade no interior das argamassas.

Quanto às correlações entre os dois tipos de provetes utilizados neste ensaio, estas podem ser visionadas na Figura 4.20, e seguem a tendência observada nos ensaios anteriores, com valores próximos de um para a taxa de secagem e de 0,8 para o índice de secagem.

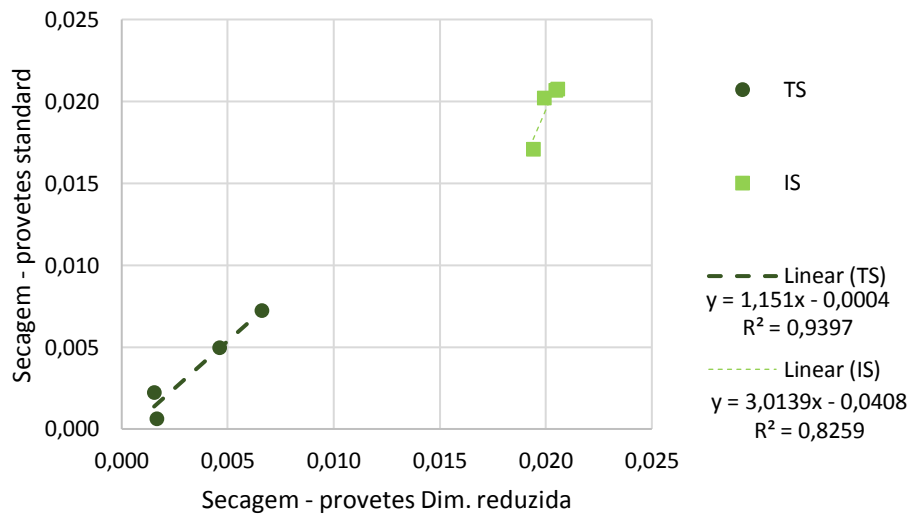


Figura 4.20 – Correlações entre provetes de dimensão reduzida e *standard* no ensaio de secagem.

4.3.8 Resistência ao ataque por cloretos

Neste ensaio é demonstrada a evolução do *grout* na presença de sais ao longo do tempo. Foram realizadas dois tipos de análise, uma análise visual demonstrando a degradação dos provetes ao longo do ensaio e uma análise através da variação de massa dos provetes. Esta última análise é feita recorrendo-se à Equação 4.12:

$$V.M. = \frac{m_i - m_0}{m_0} \times 100 \quad (4.12)$$

onde:

- $V.M.$ – Variação de massa [%]
- m_i – massa do provete no ciclo i [g]
- m_0 – massa inicial do provete [g]

Assim é possível observar na Figura 4.21 um gráfico que relaciona a variação de massa dos provetes em percentagem, com o número de ciclos do ensaio. Consta-se que no início do ensaio existe uma expansão dos provetes em todas as misturas, sendo esta expansão maior nas misturas sem óleo (mix I e mix III). Esta expansão é explicada pelo aumento do volume dos sais no estado sólido, criando fendas que por sua vez vão permitir a entrada de mais sais.

A partir do ciclo 8 assiste-se a um decréscimo de massa na mistura I (*standard*), sendo que no ciclo 13 esta mistura já perdeu 50% da sua massa inicial, sendo assim retirada do ensaio. No ciclo 8 também se observa um decréscimo de massa nas misturas com óleo (mix II e mix IV) (*standard*) que chegam a perder cerca de 10% e 35%, respetivamente.

A partir do ciclo 11 observa-se um decréscimo de massa nas misturas III, tanto *standard* como de dimensão reduzida e na mistura I *standard*. Na mistura III o decréscimo é abrupto, chegando ao ciclo 12 já sem provetes de dimensão reduzida e no ciclo 14 nos provetes *standard*. Já na mistura I *standard* esta sai do ensaio no ciclo 14. Quanto aos restantes provetes com óleo (mix II e mix IV) (dimensão reduzida) não se chega a observar um decréscimo de massa significativo ao longo do ensaio, estando a variação de massa muito próxima dos 0%.

Relativamente à comparação entre os provetes de dimensão reduzida e *standard*, observa-se que não existe grande diferença entre estes, pode-se referir que os provetes *standard*, como têm maior área de contacto com os sais, vão absorver maior quantidade de água, apresentando maior degradação ao longo do ensaio.

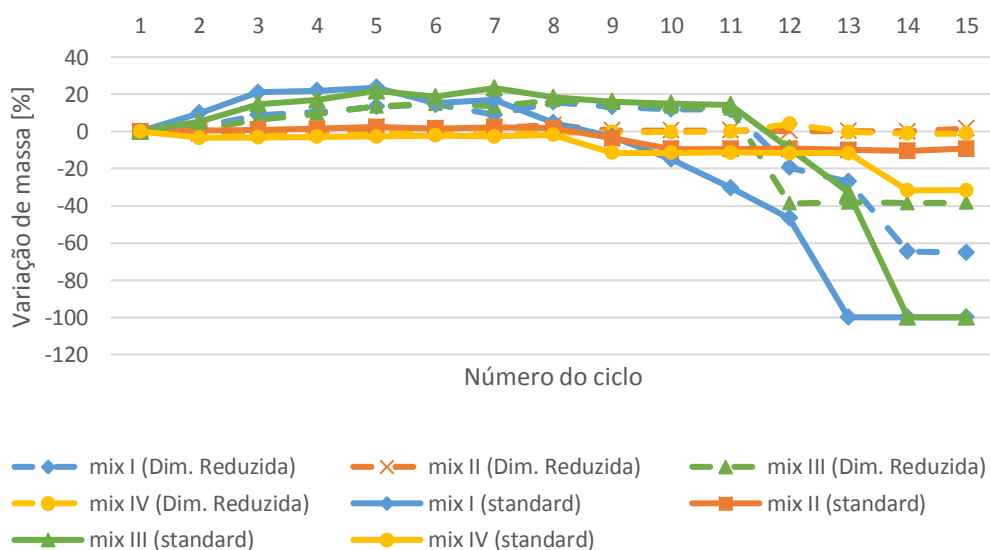


Figura 4.21 – Ensaio de resistência ao ataque por cloretos

Os resultados apresentados na Figura 4.21 podem ser comparados com os resultados obtidos por Čechová [4] para argamassas de cal hidráulica com adição de óleo de linhaça. Nas curvas apresentadas no seu trabalho para 1 ano as argamassas sem adição do óleo se deterioraram mais rapidamente, o que também acontece nas curvas dos *grouts* apresentadas em cima, mas aos 28 dias. Maravelaki-Kalaitzaki [70] também estudou a introdução de um hidrófugo aplicado na superfície (siloxanos) em argamassas de cal hidráulica, o efeito observado foi semelhante, com as argamassas a apresentarem um melhor comportamento em relação ao cloreto de sódio, mas a deteriorarem-se muito mais tarde, sendo que ao 15º ciclo apresentavam percentagens de perda de massa da ordem dos 2%.

Quanto à análise visual pode-se inferir que existiram dois tipos de rotura. Uma rotura fragmentada através de várias fendas nas misturas sem cimento (mix I e II) e uma rotura apenas com a abertura de uma fenda nas misturas com cimento (mix III e IV). Na Figura 4.22 comparam-se os vários tipos de rotura, enquanto na Figura 4.23 é possível quantificar a abertura da uma fenda na mistura III.

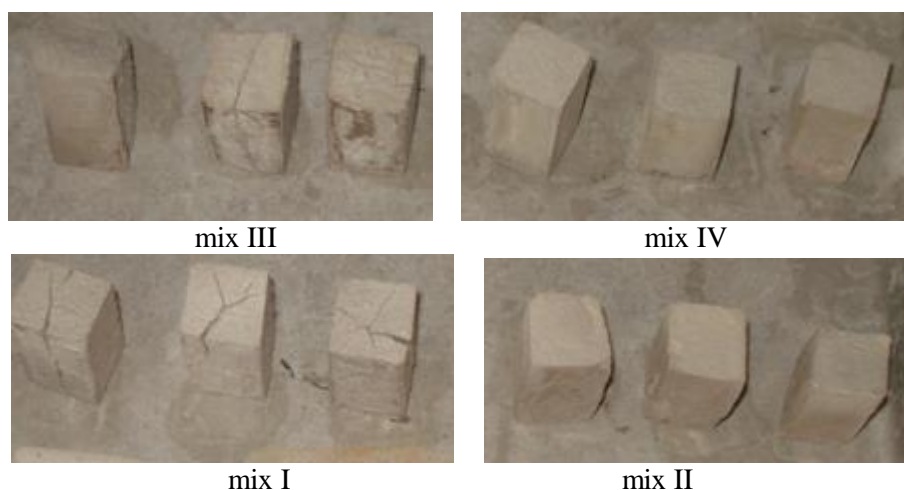


Figura 4.22 – Tipos de rotura durante o ensaio de resistência ao ataque por cloretos nos provetes de dimensão reduzida. Rotura com várias fendas no mix I e rotura com uma fenda no mix III.



Figura 4.23 – Rotura de um provete do mix III *standard*.

4.3.9 Aderência

A aderência do *grout* em relação ao suporte e ao revestimento foi estudada através de provetes mistos e pela realização do ensaio de tração por flexão. Relativamente ao tratamento de dados foram comparados os valores da resistência à tração (através da Equação 4.6) e o tipo de rotura observada.

Na Figura 4.24 observa-se um gráfico de barras com os valores da resistência à tração por flexão para as misturas I e II e comparando-se as resistências entre o *grout* e o suporte (tijolo) e entre o *grout* e o revestimento (argamassa). Este ensaio foi somente realizado para as misturas sem cimento, pois a adição deste tinha apenas o propósito de validar o uso de provetes não normalizados. Para além de se tratar de um ligante que não se adequa a uma intervenção de consolidação de revestimentos antigos. As diferenças observadas entre os valores da resistência à tração por flexão para o *grout*-tijolo são superiores. Relativamente à adição do óleo pode-se inferir que adição do óleo é vantajosa, uma vez que melhora os valores da resistência à tração na ligação entre os *grout*-tijolo. Quanto à aderência entre o *grout*- argamassa pode-se observar que os valores de resistência à flexão acompanham a mesma tendência de aumento com a adição do óleo, mas face ao tipo de rotura ocorrida os valores obtidos não correspondem à resistência na zona de interface.

Contrapondo estes resultados com as resistências à tração apenas das argamassas (revestimento) e dos tijolos (suporte), obteve-se experimentalmente um valor de 0,297 MPa para as argamassas e um valor de cerca de 10 MPa para os tijolos [15], o que significa que o *grout* encontra-se dentro da gama dos valores da argamassa. Relativamente a outros valores encontrados na literatura, no que toca *grouts*, segundo Figueiredo [15] que realizou um estudo com *grout* com o mesmo ligante (cal hidráulica natural NHL5) obteve-se valores de resistências de 1,08 MPa, ou seja, um valor um pouco superior ao obtido experimentalmente.

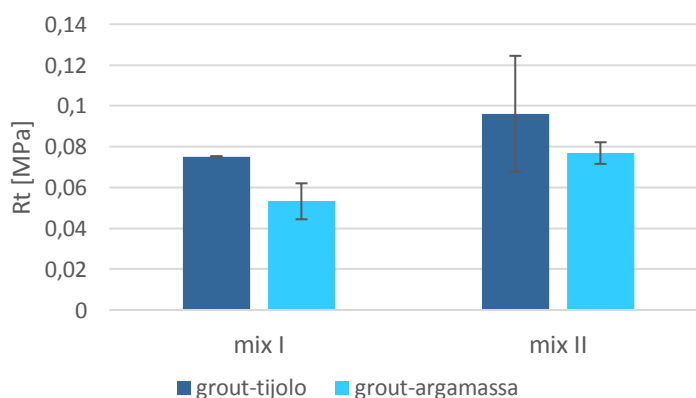


Figura 4.24 – Resistências à tração pelo ensaio de aderência.




Em relação ao tipo de rotura foram observados três: a rotura adesiva por desligamento na ligação, a rotura na interface da ligação e a rotura coesiva pelo suporte. As primeiras duas roturas

permitem inferir a resistência na ligação, uma vez que é aí que acontece a rotura. A rotura coesiva apenas permite concluir que o suporte foi menos resistente que a ligação.

De salientar que a rotura adesiva por desligamento na ligação foi observada nos provetes do mix I (sem óleo) constituídos por *grout* e tijolo. Neste tipo rotura existe uma separação evidente entre os materiais, sendo que apenas existiu uma pequena permanência do *grout* no tijolo. Tal pode ser justificado por uma fraca aderência entre a calda e o tijolo ou ao facto dos valores de resistência à flexão do *grout* serem mais elevados do que na interface de ligação. Já nos provetes da mesma mistura, mas com a adição do óleo (mix II) observou-se uma rotura na interface da ligação com a aderência parcial dos dois materiais. Verificou-se que nestes provetes existiu uma maior permanência do *grout* no tijolo. Esta variação do tipo de rotura poderá esta relacionada com o enfraquecimento da resistência à flexão do *grout* na presença do óleo, sendo a resistência à flexão na zona de interface superior à do próprio *grout*. Na Tabela 4.1 observam-se os três tipos de rotura associados aos quatro tipos de provetes de ensaio.

Confrontando os tipos de rotura observados com os tipos de rotura mencionados por Figueiredo [15] constata-se que a rotura entre o *grout* e o revestimento é do mesmo tipo, ou seja, rotura coesiva pelo suporte, validando o valor de resistência superior do *grout*. Quanto às roturas entre o *grout* e o tijolo observam-se roturas adesiva e pela interface de ligação, presumindo-se que alteração do tipo de rotura esteja condicionada com a influência do óleo na resistência à flexão próprio *grout* e pela eventual alteração de porosidade nas superfícies de tijolo analisadas.

Tabela 4.1 – Tipos de rotura observados no ensaio da aderência.

<p>Rotura adesiva observada no mix I entre o <i>grout</i> e o tijolo</p>	
<p>Rotura na interface observada no mix II entre o <i>grout</i> e o tijolo</p>	
<p>Rotura coesiva pelo suporte observada no mix I e II entre o <i>grout</i> e a argamassa</p>	

5 Conclusões e desenvolvimentos futuros

5.1 Introdução

Neste capítulo são apresentadas as conclusões adquiridas com a realização deste estudo. No subcapítulo das considerações finais é feito um breve resumo dos objetivos e pressupostos desta dissertação. Os ensaios realizados aos *grouts* são comparados em termos de ensaios reológicos, ensaios mecânicos e ensaios de durabilidade. A validação do uso de provetes de dimensão reduzida (20x20x40 mm³), em vez dos provetes *standard* (40x40x160 mm³) é apresentada em forma de tabela. Finalmente, são ainda apresentadas sugestões de desenvolvimentos futuros a realizar no seguimento deste trabalho.

5.2 Considerações finais

Este trabalho teve como pretensão o estudo da influência da adição de um hidrófugo de origem natural, o óleo de linhaça, em *grouts* de cal hidráulica natural. O segundo objetivo principal passava pela validação da utilização de provetes de dimensão reduzida. Face a este último objetivo, e para não comprometer a campanha experimental foi adoptada uma formulação com cimento de Portland e cal hidráulica natural. Assim, foram realizadas quatro formulações, duas de cal hidráulica natural e duas de cal hidráulica natural e cimento de Portland, com uma formulação de referência e outra com adição do óleo. Durante este trabalho experimental observou-se que adição do óleo diminuiu as resistências mecânicas mas melhorou significativamente o comportamento do *grout* relativamente à água e cloretos. Quando à realização de provetes de dimensão reduzida, ficou assegurado que o seu uso não influencia em grande escala os resultados experimentais, uma vez que as tendências observadas são semelhantes tanto nestes provetes como nos provetes *standard*. Em seguida são apresentadas as considerações finais relativamente a cada tipo de ensaio e para o estudo comparativo entre as dimensões dos provetes:

5.2.1 Ensaio reológicos

A adição do óleo de linhaça nos *grouts* aumenta os valores da tensão de cedência para o dobro em ambas as misturas, sendo necessário salientar que os valores observados são no seu todo inferiores a valores de ensaios semelhantes. Já os valores da viscosidade plástica na mistura constituída apenas por cal hidráulica natural não se alteram significativamente com a adição do óleo significando que a sua adição não influencia a velocidade de escoamento do *grout*.

5.2.2 Ensaios mecânicos

Nos ensaios mecânicos observou-se globalmente uma diminuição da resistência mecânica aquando a adição do óleo de linhaça.

- No ensaio do módulo de elasticidade dinâmico observou-se uma diminuição de valores pequena (cerca 30%), mantendo no entanto os valores recomendados para assegurar a compatibilidade na conservação do edificado.
- No ensaio da resistência à tração por flexão as diminuições foram superiores nas misturas sem cimento (entre 46 a 70%) nas misturas de cal hidráulica e cerca de 20% nas misturas com a inclusão do cimento. Embora o valor de R_t diminua com a adição do óleo, os valores do *grout* continuam a ser superiores aos observados em argamassas de revestimentos antigos.
- No ensaio de resistência à compressão registou-se uma redução geral de cerca de 40%, sendo de ressaltar novamente que mesmo com a diminuição dos valores de R_c com a adição do óleo o *grout* apresenta valores superiores a argamassas de revestimentos antigos.
- No ensaio de aderência por provetes mistos observou-se um aumento dos valores de resistência, mantendo-se no entanto os valores dentro dos valores recomendados. Sendo possível inferir que o óleo melhora a ligação entre o *grout* e o suporte.

Estes resultados podem ser validados no ensaio da termogravimetria onde se observou que a adição do óleo de linhaça atrasa a hidratação do carbonato de cálcio nas misturas de cal hidráulica, reduzindo as resistências mecânicas ao longo do tempo.

5.2.3 Ensaios de durabilidade

Nestes ensaios observou-se que a adição do óleo melhora significativamente o comportamento do *grout* relativamente à água.

- No ensaio da porosidade observou-se uma redução de cerca de 40% nos valores da porosidade aberta.
- No ensaio de absorção de capilaridade constata-se que as curvas de absorção capilar apresentam um declive significativamente inferior com adição do óleo traduzindo-se assim em valores de coeficiente de capilaridade cerca de 90% inferiores.
- No ensaio de secagem o comportamento observa-se uma diminuição de cerca de 60% na taxa de secagem e não se observam alterações significativas no índice de secagem.
- No ensaio de resistência ao ataque por cloretos observou-se, mais uma vez, um melhor comportamento dos *grouts* com hidrófugo, sendo que os que não o incluem apresentam uma maior expansão e posterior degradação.

A adição do óleo de linhaça melhora o comportamento dos *grouts* relativamente à água. Este fenómeno pode ser explicado pelo aprisionamento de uma componente do óleo (o ácido gordo) no *grout*, causando assim repelência. Assim, nos ensaios de durabilidade observou-se uma diminuição da ação da água nos provetes com adição do óleo, quer no ensaio de capilaridade, quer no ensaio de resistência ao ataque por cloretos.

O efeito positivo da adição do óleo melhora o comportamento das paredes de alvenaria antiga no seu conjunto, uma vez que diminui consideravelmente a penetração de água tornando assim o interior da parede menos suscetível a ataques provocados pela sua ação. A não variação da permeabilidade ao vapor de água com a adição do óleo significa que na eventualidade de a água penetrar dentro da parede, o *grout* não forma uma barreira.

5.2.4 Correlação entre provetes de dimensão reduzida e *standard*

Na Tabela 5.1 são apresentadas as correlações entre os provetes de dimensão reduzida e os provetes *standard* nos diferentes ensaios realizados.

Tabela 5.1 – Correlação entre os provetes de dimensão reduzida e *standard*

Ensaio	Correlação entre provetes de dimensão reduzida e provetes <i>standard</i> (R^2)
Resistência flexão por tração	0,9275
Resistência à compressão (provetes cúbicos de 40x40x40 mm ³)	0,9996
Absorção de água por capilaridade: Coeficiente de capilaridade	0,9978
Absorção de água por capilaridade: Valor assintótico	0,9870
Secagem: Taxa de secagem	0,9397
Secagem: Índice de Secagem	0,8259

Como se pode observar as correlações que existem entre provetes de dimensão reduzida e provetes *standard* são aceitáveis, podendo-se assim realizar os ensaios com os provetes de menor dimensão e mantendo-se os padrões de comportamento do *grout*. Acrescenta-se que apesar das boas correlações existem desvios padrão elevados uma vez que características que são desprezáveis em provetes *standard* podem não o ser em provetes de dimensão reduzida, como por exemplo a existência de uma fissura. No entanto com os resultados observados conclui-se que as tendências observadas nos provetes *standard* são também observadas nos provetes de dimensão

reduzida. É importante referir que com a utilização de provetes de dimensão reduzida poupa-se cerca de 75% de material, tendo-se assim a vantagem de realizar estudos com materiais de maior custo sem comprometer os resultados.

5.3 Desenvolvimentos futuros

Com o fim da dissertação torna-se necessário concluir os estudos iniciados. O campo dos *grouts* para revestimentos ainda não está muito estudado não existindo assim muitos autores que abordem o tema. Assim, para uma melhor compreensão da temática abordada sugerem-se os seguintes estudos:

- Avaliar a porosimetria por intrusão de mercúrio para estudar a dimensão dos poros e a influência do óleo uma vez que no ensaio da porosidade aberta não se concluiu se a água tinha tido a oportunidade de penetrar no *grout*.
- Avaliar a percentagem de adição do óleo, pois em *grouts* com diferentes percentagens puderam-se obter resultados bastante diferentes, sendo possível até mesmo aumentar a resistência mecânica do *grout*.
- Para uma melhor avaliação e comparação de resultados torna-se também necessário proceder-se à normalização da amassadura de *grouts* de cal hidráulica e dos ensaios reológicos.
- Avaliar as propriedades do óleo a longo prazo, fazendo assim ensaios em função do tempo.
- Avaliar a contribuição do óleo na estabilidade/segregação e capacidade de retenção de água dos *grouts*.
- Simular a aplicação/injeção dos *grouts* em diferentes revestimentos.
- Realizar testes com outras cal hidráulicas, a NHL2 ou NHL3,5 por exemplo e cal aérea com pozolanas.

Bibliografia

- [1] R. Veiga, “Comportamento de rebocos para edifícios antigos: Exigências gerais e requisitos específicos para edifícios antigos,” *Semin. “Sais solúveis em argamassas edifícios antigos,”*, 2005.
- [2] R. Veiga, “Conservação e Reparação de Revestimentos De Paredes De Edifícios Antigos - Métodos e Materiais,” in *Teses e Programas de Investigação, LNEC, Lisboa*, 2009, p. 249.
- [3] M. Teixeira, “Estudo reológico de caldas hidráulicas para utilização na reabilitação do edificado,” *Diss. para obtenção do grau Mestre em Eng. Civil, Fac. Ciências e Tecnol. da Univ. Nov. Lisboa, Almada*, 2014.
- [4] E. Čechová, “The Effect of Linseed Oil on the Properties of Lime-Based Restoration Mortars,” *Dottorato di Ric. Sci. Conserv. Ciclo XXII Alma Mater Stud. - Univ. di Bol.*, p. 147, 2009.
- [5] A. Sellami, M. Merzoud, and S. Amziane, “Improvement of mechanical properties of green concrete by treatment of the vegetals fibers,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 47, pp. 1117–1124, 2013.
- [6] Y. Xie, A. K. H. Kwan, H. C. Chan, and S. H. Rizkalla, “Linseed Oil-Based Concrete Surface Treatment for Building and Highway Structures in hong Kong,” *Hong Kong Inst. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 36–41, 1999.
- [7] M. Tavares, R. Veiga, and J. Aguiar, “Uma Metodologia de Estudo para a Conservação de Rebocos Antigos - O Restauro através da Técnica de Consolidação,” *Lisboa, LNEC*, no. 1, 2003.
- [8] M. L. Tavares and A. Fragata, “A consolidação da falta de aderência de rebocos antigos - um estudo com diferentes argamassas para grouting,” *2º Congr. Nac. Argamassas Construção, APFAC, Lisbon.*, 2007.
- [9] R. Veiga and A. R. Santos, “As argamassas de cal hidráulica natural na reabilitação,” *Rev. Pedra Cal*, vol. 58, pp. 38–40, 2015.

Bibliografia

- [10] E. Hansen, E. Doehne, J. Fidler, J. Larson, B. Martin, M. Matteini, C. Rodríguez-Navarro, E. Sebastián Pardo, C. Price, A. de Tagle, J. M. Teutonico, and N. Weiss, “A review of selected inorganic consolidants and protective treatments for porous calcareous materials,” *Rev. Conserv.*, vol. 4, no. 4, pp. 13–25, 2003.
- [11] B. Pigino, A. Leemann, E. Franzoni, and P. Lura, “Ethyl silicate for surface treatment of concrete – Part II : Characteristics and performance,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 34 (3), no. March, pp. 313–321, 2012.
- [12] A. G. Casco, “Tema 16: Restauración de Piedra,” *Folhas da Discip. Univ. Granada*, p. <http://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/t>, 2007.
- [13] B. Biçer-Şimşir, I. Griffin, B. Palazzo-Bertholon, and L. Rainer, “Lime-based Injection Grouts for the Conservation of Architectural Surfaces,” *Rev. Conserv.*, vol. Number 10, pp. 3–17, 2009.
- [14] E. Luso, “Análise Experimental de Caldas à Base de Cal para Injeção de Alvenaria Antiga,” *Ph.D. thesis, Univ. do Minho*, 2012.
- [15] A. Figueiredo, “Caldas de Injeção Pré-doseadas para Alvenarias Antigas Estudo da Aderência,” *Diss. para obtenção do grau Mestre em Eng. Civil, Fac. Ciências e Tecnol. da Univ. Nov. Lisboa, Almada*, p. 192, 2013.
- [16] L. Baltazar, F. M. A. Henriques, F. Jorne, and M. T. Cidade, “The use of rheology in the study of the composition effects on the fresh behaviour of hydraulic lime grouts for injection of masonry walls,” *Rheol. Acta*, vol. 52, no. 2, pp. 127–138, 2013.
- [17] T. Cardoso, “Influência da exsudação e da perda de água nas propriedades reológicas de grouts,” *Diss. para obtenção do grau Mestre em Eng. Civil, Fac. Ciências e Tecnol. da Univ. Nov. Lisboa, Almada*, 2015.
- [18] E. Vintzileou, “Grouting of three-leaf masonry: experimental results and prediction of mechanical properties,” *Evol. nella Sper. per le Costr.*, no. April, pp. 171–190, 2007.
- [19] M. R. Veiga, J. Aguiar, and A. S. SILVA, “Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos,” *LNEC*, no. 2, p. 246, 2011.

- [20] A. Bras, F. M. A. Henriques, and M. T. Cidade, “Effect of environmental temperature and fly ash addition in hydraulic lime grout behaviour,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, no. 8, pp. 1511–1517, 2010.
- [21] A. C. Sequeira, D. Frade, and P. Gonçalves, “Cal Hidráulica – Um ligante para a reabilitação,” *Assoc. Port. dos Fabr. Argamassas e ETICS*, pp. 1–14, 2007.
- [22] A. Gameiro, A. Santos Silva, R. Veiga, and A. Velosa, “Hydration products of lime-metakaolin pastes at ambient temperature with ageing,” *Thermochim. Acta*, vol. 535, pp. 36–41, 2012.
- [23] P. Faria, “Restauro e uso de materiais e técnicas tradicionais,” *XI Congr. Int. Reabil. do Património Arquit. e Edif.*, p. 10, 2012.
- [24] P. Faria, “Argamassas de revestimento para alvenarias antigas - Contribuição para o estudo da influência dos ligantes,” *Diss. Douturamento em Eng. Civ.*, p. 454, 2004.
- [25] P. Faria, V. Silva, and J. Grilo, “Argamassas compatíveis com alvenarias históricas com base em cal hidráulica natural,” *CIrea2012 - Int. Conf. Rehabil. Old Mansions, Univ. Nov. Lisboa*, pp. 29–38, 2012.
- [26] A. Sousa Coutinho, *Fabrico e Propriedades do Betão -Volume I-*. 1988.
- [27] C. Patrício, “Caracterização de Caldas de Cal Hidráulica Natural com Metacaulino para Consolidação de Alvenarias Antigas,” *Diss. para obtenção do grau Mestre em Eng. Civil, Fac. Ciências e Tecnol. da Univ. Nov. Lisboa, Almada.*, 2013.
- [28] G. Torraca, *Lectures on Materials Science for Architectural Conservation*, vol. 1. 2009.
- [29] A. Frade, “Análise da injectabilidade do grout variando o meio poroso ao longo do escoamento,” *Diss. para obtenção do grau Mestre em Eng. Civil, Fac. Ciências e Tecnol. da Univ. Nov. Lisboa, Almada.*, 2015.
- [30] J. Björnström, “Effect of superplasticizers on the rheological properties of cements,” *Mater. Struct.*, vol. 36, no. December, pp. 685–692, 2003.
- [31] R. Veiga, “Conservation of Historic Renders and Plasters : From Lab to Site,” no.

Bibliografia

- September, pp. 1241–1256, 2010.
- [32] “<http://www.restaurobeniculturali.it/lapideo.htm>,” *Consultado em Outubro de 2016.* .
- [33] “<http://www.calcherasangiorgio.it/eng>,” *Consultado em Outubro de 2016.* .
- [34] “<http://www.euresarte.it/project/opere-murarie/>,” *Consultado em Outubro de 2016.* .
- [35] C. Eleonora, “http://cigognettirestauri.altervista.org/le-fasi-di-intervento-nel-restauro-dei-dipinti-murali/?doing_wp_cron=1474044275.8332901000976562500000,” *Consultado em Outubro de 2016.* .
- [36] R. Tišlova and A. Klisin, “Effect of hydrophobization treatment on the hydration of repair Roman cement mortars,” vol. 35, pp. 735–740, 2012.
- [37] C. Esteves, “O Comportamento de Hidrófugos de Superfície em Revestimentos Exteriores,” *Diss. para obtenção do grau Mestre em Eng. Civil, Inst. Super. Técnico, Lisboa*, 2014.
- [38] F. M. A. Henriques, “Apontamentos das aulas de Materiais de Construção II,” *Fac. Ciências e Technol. Univ. Nov. Lisboa*, 2014.
- [39] G. Torraca, *Porous Building Materials: Materials Science for Architectural Conservation*. ICCROM, 1982.
- [40] L. Baltazar, F. M. A. Henriques, F. Jorne, and M. T. Cidade, “Combined effect of superplasticizer, silica fume and temperature in the performance of natural hydraulic lime grouts,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 50, pp. 584–597, 2014.
- [41] I. J. De Vries, “Hydrophobic Treatment of Concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 11, no. 4, pp. 259–265, 1997.
- [42] N. Hicky Morgan, *Vitruvius -The Ten Books on Architecture*. 1914.
- [43] A. Shasavandi, E. Salavessa, F. Pacheco Torgal, and S. Jalali, “Air Lime Mortars with Vegetable Fat Addition: Characterisitcs and Research Needs,” *2nd Hist. Mortars Conf. HMC2010 RILEM TC 203-RHM Final Work.*, pp. 359–364, 2010.

- [44] F. Balo and H. L. Yucel, "Assessment of Thermal Performance of Green Building Materials Produced with Plant Oils," *Int. J. Mater. Sci.*, vol. 3, no. 3, pp. 118–129, 2013.
- [45] H. Justnes, T. A. Østnor, and N. B. Vila, "Vegetable oils as water repellents for mortars," *Proc. 1st Int. Conf. Asian Concr. Fed. Chiang Mai. 2004*.
- [46] C. Nunes and Z. Sližková, "Hydrophobic lime based mortars with linseed oil: Characterization and durability assessment," *Cem. Concr. Res.*, vol. 61–62, pp. 28–39, 2014.
- [47] P. Rovnaníková, "Omítky. Chemické a technologické vlastnosti.," *STOP, Praha*, 2002.
- [48] L. Baltazar, F. M. A. Henriques, and M. T. Cidade, "Experimental Study and Modeling of Rheological and Mechanical Properties of NHL Grouts," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 27, no. 12, 2015.
- [49] L. Baltazar and F. M. A. Henriques, "Rheology of Grouts for masonry injection," *Key Eng. Mater.*, vol. 624, pp. 283–290, 2015.
- [50] "IPQ (2006). NP EN 14146 – Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico (através da medição da frequência de ressonância fundamental). Lisboa, Instituto Português da Qualidade."
- [51] "CEN (1999a). EN 1015-11 – Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardener mortar. Brussels, European Committee for Standardization."
- [52] "IPQ (2008). NP EN 1936 – Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta. Lisboa. Instituto Português da Qualidade."
- [53] "CEN (2009). EN 15801 – Conservation of cultural property - Test methods - Determination of absorption by capillarity. Brussels, European Committee for Standardization."
- [54] "CEN (2002). EN 1015-18 – Methods of test for mortar for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardener mortar.

Bibliografia

- Brussels, European Committee for Standardization.”
- [55] “CEN (2013). EN 16322– Conservation of Cultural Heritage - Test methods - Determination of drying properties. Brussels, European Committee for Standardization.”
- [56] “IPQ (2001). NP EN 12370 – Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação da resistência á cristalização de sais. Lisboa, Instituto Português da Qualidade.”
- [57] N. Gonçalves, “Caldas de Injecção Pré-Doseadas para Alvenarias Antigas Estudo da Capacidade de Injecção,” *Diss. para obtenção do grau Mestre em Eng. Civil, Inst. Super. Técnico, Lisboa*, 2013.
- [58] F. Rosquoët, A. Alexis, A. Khelidj, and A. Phelipot, “Experimental study of cement grout: Rheological behavior and sedimentation,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 33, no. 5, pp. 713–722, 2003.
- [59] P. M. Coelho, “Avaliação da injeção de grouts em alvenarias antigas com ensaios não destrutivos,” *Diss. para obtenção do grau Mestre em Eng. Civil, Fac. Ciências e Tecnol. da Univ. Nov. Lisboa, Almada*, 2013.
- [60] C. F. Ferraris, “Measurement of the rheological properties of high performance concrete: State of the art report,” *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.*, vol. 104, no. 5, p. 461, 1999.
- [61] J. Matos, “Efeito da temperatura no comportamento de caldas de injeção à base de cal hidráulica natural na presença de policarboxilato,” *Diss. para obtenção do grau Mestre em Eng. Civil, Fac. Ciências e Tecnol. da Univ. Nov. Lisboa, Almada*, p. 13, 2013.
- [62] E. V. Tkach, V. S. Semenov, S. A. Tkach, and T. A. Rozovskaya, “Highly effective water-repellent concrete with improved physical and technical properties,” *Procedia Eng.*, vol. 111, no. TFOCE, pp. 763–769, 2015.
- [63] D. Gomes Martins, “Influência Do Tamanho Do Corpo De Prova Nos Resultados De Ensaio De Módulo De Deformação E Resistência À Compressão E Suas Correlações Para Concretos Produzidos Em Goiânia -Go,” *Diss. apresentada ao Curso Mestr. em Eng. Civ. da Univ. Fed. Goiás para obtenção do título Mestre em Eng. Civ.*, p. 113, 2008.

- [64] A. Sousa Coutinho and A. Gonçalves, *Fabrico e Propriedades do Betão -Volume III-*. 1988.
- [65] T. I. M. Fontes, “Argamassas de cal hidráulica natural NHL3.5 de fabrico nacional: otimização de características com resíduo cerâmico e metacaulino,” *Diss. para obtenção do grau Mestre em Eng. Civil, Fac. Ciências e Tecnol. da Univ. Nov. Lisboa, Almada*, p. 177, 2013.
- [66] J. Carneiro, “Caracterização de argamassas de cal hidráulica natural com metacaulino Orientadora : Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa,” *Diss. para obtenção do grau Mestre em Eng. Civil, Fac. Ciências e Tecnol. da Univ. Nov. Lisboa, Almada.*, p. 91, 2012.
- [67] I. Torres, P. Faria, and G. Matias, “Incorporação de resíduos de cerâmica em argamassas de cal aérea,” *Construlink*, vol. 35, no. 12, pp. 4–15, 2014.
- [68] M. Lanzón and P. A. García-Ruiz, “Evaluation of capillary water absorption in rendering mortars made with powdered waterproofing additives,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, no. 10, pp. 3287–3291, 2009.
- [69] L. S. N. Páscoa, “Índice De Secagem Com O Parâmetro Em Serviço Dos Rebocos Aplicados Em Parede Exteriores,” *Diss. para obtenção do grau Mestre em Eng. Civil, Inst. Super. Técnico, Lisboa*, p. 136, 2012.
- [70] P. Maravelaki-Kalaitzaki, “Hydraulic lime mortars with siloxane for waterproofing historic masonry,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 37, no. 2, pp. 283–290, 2007.

Anexos

Anexo 1 – Ficha técnica da cal hidráulica natural NHL5



1. DESCRIÇÃO

A *Secil NATURAL LIME NHL 5* é uma cal hidráulica natural, ligante hidráulico constituído por silicatos e aluminatos de cálcio e hidróxido de cálcio, obtida por cozedura de calcário margoso, seguida de moagem. A *Secil NATURAL LIME NHL 5* é classificada como NHL 5 segundo a NP EN 459-1.

A *Secil NATURAL LIME NHL 5* é um ligante singular, pois além da presa hidráulica, apresenta também presa por aérea, obtida por carbonatação com CO₂ atmosférico.

2. DOMÍNIO DE UTILIZAÇÃO

Na fabricação de argamassas, como único ligante ou em mistura com outros ligantes hidráulicos ou aéreos, conferindo-lhes trabalhabilidade e flexibilidade, reduzindo significativamente a retracção das argamassas hidráulicas (p.ex. argamassas de alvenaria, argamassa de reboco e argamassa de pavimentos).

Na fabricação de argamassas de reabilitação, como único ligante, em execução de rebocos exteriores e interiores sobre suportes antigos. Em diferentes utilizações de engenharia civil, tais como, tratamento de solos.

3. CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	VALOR	NORMA
Cal disponível Ca(OH) ₂	≥ 15,0 %	EN 459-1
Sulfato	≤ 2,0 %	EN 459-1
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	VALOR	NORMA
Cor	Beje	-
Água livre	≤ 2,0 %	EN 459-1
Baridade	0,65 ± 0,05 kg/dm ³	-
Densidade	2,7 g/cm ³	-
Finura	90 µm ≤ 15,0 % 200 µm ≤ 2,0 %	EN 459-1
Expansibilidade	≤ 2,0 mm	EN 459-1
Penetração	> 10 mm e < 50 mm	EN 459-1
Teor de ar	≤ 5,0 %	EN 459-1
Tempo de presa	Início > 1 h Fim ≤ 15 h	EN 459-1
CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS	VALOR	NORMA
Resistência à compressão (28dias)	≥ 5,0 e ≤ 15,0 MPa	EN 459-1

4. APLICAÇÃO

FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS

A dosagem de *Secil NATURAL LIME NHL 5* numa argamassa deve adequar-se ao fim a que se destina, ver exemplos no ponto 5.

Misturar previamente a *Secil NATURAL LIME NHL 5* com o agregado e posteriormente adicionar água na quantidade adequada de forma a obter uma boa trabalhabilidade.

Restrições

Não aplicar argamassas a temperaturas inferiores a 5 °C e superiores a 30 °C, evitando a aplicação em situações de elevada exposição solar e/ou sob ventos fortes.

Não utilizar argamassas amolentadas ou que tenham iniciado a sua presa.

Evitar a secagem rápida das argamassas, regando o suporte, 1 a 2 horas antes da aplicação e voltando a regar logo que a argamassa se apresente suficientemente resistente. Repetir a rega 1, 2 e 7 dias depois.

Conselhos complementares

- ▶ O excesso de água de amassadura é prejudicial às características físicas da argamassa;
- ▶ Deve ser sempre utilizada a quantidade mínima de água que permita boa trabalhabilidade;
- ▶ A água de amassadura deve estar isenta de quaisquer impurezas (argilas, matéria orgânica), devendo, de preferência, ser utilizada água potável;

Secil Argamassas

Secil Martingança, S.A.
Apoio ao Cliente: Apartado 2 | 2406 – 909 – Maceira – LRA – Portugal
Tel: +351 244 770 220 | Fax: +351 244 777 997 | E-mail: comercial@secilargamassas.pt



1/3

www.secilargamassas.pt

Secil NATURAL LIME NHL 5

NHL 5 – CAL HIDRÁULICA NATURAL

TC.E.077.5



Fábrica de cal



Filtro de Mangas



Pedra cozida

- ▶ Uma vez determinado o traço a utilizar para a argamassa desejada, manter as dosagens constantes e o tempo de amassadura.

TRATAMENTO DE SOLOS

A adição de *Secil NATURAL LIME NHL 5* a solos argilosos e húmidos permite a sua estabilização, melhorando a sua resistência

A *Secil NATURAL LIME NHL 5* pode também ser adicionada em solos argilosos e húmidos com necessidade de Ca(OH)_2 aos que utilizam a cal hidráulica HL 5.

Para mais informação sobre os procedimentos consultar os documentos e vídeos disponíveis em www.secilargamassa.pt, bem como,

contactar com os nossos serviços comerciais.

6. EMBALAGEM E VALIDADE

Embalagem

- ▶ Sacos de papel de 25 kg em paletes plastificadas;
- ▶ Granel para utilização em sistema de silo.



Validade

12 meses desde que permaneçam inalteradas as condições da embalagem originais e em condições de armazenagem ao abrigo de temperaturas extremas e da humidade.

7. HIGIENE E SEGURANÇA

(NÃO DISPENSA A CONSULTA DA FICHA DE SEGURANÇA DO PRODUTO)

- ▶ Provoca irritação da pele;
- ▶ Provoca danos graves nos olhos;
- ▶ Pode provocar irritação respiratória;
- ▶ Manter fora do alcance das crianças; Usar luvas de proteção/ vestuário de proteção/ proteção ocular/ proteção facial;
- ▶ Evitar respirar poeiras/ vapores.

5. TRAÇOS RECOMENDADOS

TRAÇOS DE ARGAMASSA RECOMENDADOS	MATÉRIAS PRIMAS (VOLUME)				Água % peso do total	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)			MÓDULO DE ELASTICIDADE (MPa) 28 dias
	NHL 5	Silica fina (< 0,6 mm)	Silica fina (< 1,2 mm)	Silica de rio (< 4,0 mm)		7 dias	28 dias	90 dias	
Argamassa de alvenaria (ligante:agregado) = (1:2)	1	-	1	1	13,5	0,8	2,8	3,7	6900
Argamassa de revestimento (ligante:agregado) = (1:3)	1	-	1,5	1,5	14,2	0,4	1,0	1,7	3300
Argamassa de revestimento (ligante:agregado) = (1:4)	1	-	2	2	14,7	0,2	0,6	0,8	2170
Argamassa de pavimento (ligante:agregado) = (1:3)	1	-	-	3	12,0	0,6	2,5	3,6	4500

Secil Argamassas

Secil Martingança, S.A.

Apoio ao Cliente: Apartado 2 | 2406 – 909 – Maceira – LRA – Portugal

Tel: +351 244 770 220 | Fax: +351 244 777 997 | E-mail: comercial@secilargamassas.pt



2/3

www.secilargamassas.pt

Secil NATURAL LIME NHL 5

NHL 5 – CAL HIDRÁULICA NATURAL

TC.E.077.5

Estando as condições de aplicação dos nossos produtos fora do nosso alcance não nos responsabilizamos pela sua incorrecta utilização. É dever do cliente verificar a idoneidade do produto para o fim previsto. Em qualquer caso a nossa responsabilidade está limitada ao valor da mercadoria por nós fornecida. A informação constante da presente ficha pode ser alterada sem aviso prévio. Em caso de dúvida, e se pretender esclarecimentos complementares solicitamos o contacto com os nossos serviços técnicos.

Revisão de Outubro de 2014
TC.E.077.5



11

Secil Natural Lime NHL 5

EN 459-1:2011

Certificado: 1328-CPR-0215

Cal Hidráulica Natural – NHL 5

Declaração de desempenho TC.E.0914

Secil Argamassas

Secil Martingança, S.A.

Apoio ao Cliente: Apartado 2 | 2406 – 909 – Maceira – LRA – Portugal

Tel: +351 244 770 220 | Fax: +351 244 777 997 | E-mail: comercial@secilargamassas.pt



3/3

www.secilargamassas.pt

Anexo II – Ficha técnica do cimento de Portland CEM II/B-L 32,5 N

CEM II/B-L 32,5N Cimento Portland de Calcário



Locais de Produção

Fábrica Secil-Outão
Fábrica Cibra-Pataias
Fábrica Maceira-Liz

Principais Aplicações

Principais Características

Advertências Específicas

Informação de Segurança

Última actualização

Embalagem

Granel
Sacos de 40kg
Sacos de 25kg

Certificação

Cimento certificado segundo a NP EN 197-1.
Certificados de Conformidade 0856-CPD-0130, 0856-CPD-0131 e 0856-CPD-0132.

Composição do Produto (Núcleo Cimento)

65% a 79% Clínquer Portland
21% a 35% Calcário
0% a 5% Outros Constituintes

O Cimento Portland de Calcário CEM II/B-L 32,5N é o cimento mais utilizado nas obras de construção civil. A sua excelente trabalhabilidade e baixo calor de hidratação tornam-no especialmente adaptado a todos os trabalhos correntes da construção.

O cimento CEM II/B-L 32,5N é principalmente utilizado em:

- argamassas e betão não armado para enchimentos e regularização;
- betão estrutural, pronto ou fabricado em obra de média resistência;
- argamassas de assentamento, reboco e reparação;
- fundações directas e indirectas em ambientes moderadamente agressivos;
- estabilização de solos e solo-cimento;
- prefabricação de blocos, tubos, manilhas e outros artefactos à base de cimento;
- prefabricação ligeira em regime de baixa rotatividade de moldes.

Cimento de cor cinzenta, com menor calor de hidratação e melhor trabalhabilidade que um cimento CEM I da mesma classe de resistência.

Desenvolvimento mais lento de resistências (menor resistência inicial).

Resistências finais dentro dos valores da classe indicada (resistências aos 28 dias).

Este cimento melhora a trabalhabilidade de betões e argamassas e permite uma redução da dosagem de água de amassadura. Porém, o correcto desenvolvimento de resistências é sensível ao processo de cura pelo qual deverão ser tomadas precauções para evitar a dissecação de peças betonadas muito expostas ao sol e ao vento (possível fendilhação).

Não se recomenda a utilização deste cimento em tempo muito frio, sem que se tomem medidas adequadas.

O manuseamento do cimento em pó pode causar irritação dos olhos e vias respiratórias. Quando misturado com água pode ainda causar sensibilização da pele. Aconselha-se o uso de máscara anti-poeiras para protecção respiratória, luvas de protecção das mãos, óculos de protecção dos olhos e fato de trabalho para protecção da pele.

Para informação detalhada consulte a Ficha de Dados de Segurança deste produto.

Setembro 2004 - Versão 3

pag. 1 | 2

Características Químicas

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado (1)
Teor de Sulfatos (em SO ₃)	NP EN 196-2	≤ 3,5%
Teor de Cloretos	NP EN 196-21	≤ 0,10%

(1) As percentagens são referidas à massa de cimento.

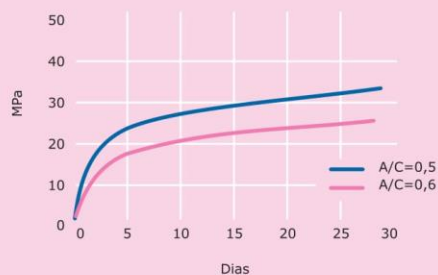
Características Mecânicas

Resistência à Compressão (MPa)		
Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência
2 dias	7 dias	28 dias
-	≥ 16	≥ 32,5 e ≤ 52,5
NP EN 196-1		

Características Físicas

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado
Princípio de Presa	NP EN 196-3	≥ 75 min
Expansibilidade	NP EN 196-3	≤ 10 mm

Valores médios indicativos da resistência à compressão de betão fabricado com 350 Kg/m³ de cimento CEM II/B-L 32,5N



Habitação a custos controlados. Quinta da Cabrinha, Lisboa.



SECIL Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.

Direção Comercial
Av. das Forças Armadas, 125 6º
1600-079 LISBOA
Tel. 217 927 100 . Fax. 217 936 200

Vendas Norte
Tel. 226 078 410 . Fax. 226 078 411

Vendas Centro
Tel. 244 779 500 . Fax. 244 777 455

Vendas Sul
Tel. 212 198 280 . Fax. 212 198 229

Cimento Branco
Tel. 244 587 700 . Fax. 244 589 652

Departamento Técnico-Comercial
Tel. 212 198 280 . Fax. 212 198 229

E-mail - comercial@secil.pt
Site - www.secil.pt