



RICARDO NUNO CORREIA MOURA
Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

AVALIAÇÃO DO EFEITO DE TRATAMENTOS SUPERFICIAIS PARA REBOCOS DE TERRA



AVALIAÇÃO DO EFEITO DE TRATAMENTOS SUPERFICIAIS PARA REBOCOS DE TERRA

RICARDO NUNO CORREIA MOURA

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

Orientadora: Prof. Doutora Paulina Faria,
Professora Associada, FCT-NOVA

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Rodrigo Gonçalves,
Professor Catedrático, NOVA FCT

Arguentes: Doutora Alessandra Ranesi,
Investigadora, Instituto Superior Técnico

Orientador: Prof. Doutora Paulina Faria,
Professora Associada, NOVA FCT

Avaliação do efeito de tratamentos superficiais para rebocos de terra

Copyright © Ricardo Nuno Correia Moura, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

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

AGRADECIMENTOS

O término desta etapa leva a uma reflexão sobre todo o percurso e a um agradecimento a todos os envolvidos que direta ou indiretamente me ajudaram e tornaram isto possível.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à orientadora desta dissertação, a Professora Doutora Paulina Faria, pelo apoio e pela incrível e exigente orientação no desenvolvimento da presente dissertação que se mostrou substancialmente mais simples com o seu elevado conhecimento e a sua ajuda e disponibilidade tremendas.

Gostaria também de agradecer à Engenheira Tânia Santos, estudante do Doutoramento em Engenharia Civil na FCT-NOVA, não só pelo acompanhamento ao longo da campanha experimental desenvolvida, mas também pelo seu apoio, disponibilidade e paciência bem como pela partilha da sua experiência no desenvolvimento deste tipo de trabalhos.

De seguida deixo um agradecimento a todos os meus colegas de curso por terem trazido momentos de diversão, companheirismo e muita entajada a esta jornada que se mostrou extremamente desafiante, mas bonita e engrandecedora. Também os amigos fora da faculdade fizeram parte deste percurso com momentos e episódios inesquecíveis que me ajudaram a seguir em frente com a cabeça limpa de eventuais dilemas. Obrigado a eles.

Falando em dilemas, mas agora dos enormes, se houve alguém que me ajudou a ultrapassar os meus maiores obstáculos foi Filipa Viegas. Entrou na minha vida como minha psicóloga, mas cedo se tornou uma importantíssima amiga com quem também tive a sorte de poder contar neste trajeto. Um obrigado nunca chegará para agradecer o que fizeste por mim.

Um particular e gigante obrigado não podia deixar de ser entregue a uma das pessoas mais importantes da minha vida, a minha namorada Catarina Cardoso que, nesta jornada tal como na vida, nunca me deixou ir abaixo nem desistir. Mostrou-se constantemente um pilar que, tal como na construção civil, foi crucial para dar força, apoio e estabilidade nesta obra que é o curso e a dissertação.

Por fim, e a juntar à minha família no geral, gostaria de expressar a minha mais profunda e sincera gratidão em particular às três pessoas mais importantes da minha vida, a minha irmã, a minha mãe e o meu pai. Eles mais do que ninguém assistiram a esta caminhada, celebraram comigo os meus sucessos e sofreram comigo as minhas quedas sem nunca, mas nunca deixarem de dar o seu incondicional apoio, os seus conselhos, amor, força, tranquilidade e conforto. Obrigado por tudo isto, pela educação e valores transmitidos, por terem feito de mim o que sou hoje e, consequentemente, por serem parte daquilo que alcancei.

Obrigado a todos.

“Don't let your happiness depend on what you try
to provide for others.
With a clear conscience, your happiness depends
only on your happiness and that...
That only depends on you.”
(Ricardo Moura).

RESUMO

Sendo a terra um material naturalmente abundante no planeta, foi desde cedo utilizada pelo homem na construção de abrigos e mais tarde em edifícios. No entanto, com a descoberta do cimento e tijolo, a sua utilização estagnou e perdeu-se também parte do conhecimento sobre este material. Entretanto, as preocupações com a sustentabilidade ambiental ganharam força, inclusive na indústria da construção.

Para a conservação de edifícios existentes e para novas construções, também as argamassas de terra, cuja ecoeficiência tem vindo a ser salientada, são objeto de investigação. Agora é necessário avaliar as características deste produto quando aplicado em sistemas de reboco que sejam eficientes e menos vulneráveis, por exemplo face à água ou a ações de desgaste, pelo menos no desempenho das suas funções.

O objetivo da presente dissertação é avaliar o efeito da aplicação superficial de diferentes produtos de tratamento (óleo de linhaça, cera de abelha, óxido de grafeno, água de papel de máquina, água de cartão de gesso cartonado e caiação) aplicados por dois métodos distintos (a rolo e spray) num reboco de terra, de forma a concluir sobre as vantagens e desvantagens que estes produtos lhe conferem. Para tal realizaram-se vários ensaios, seguindo procedimentos experimentais normalizados e sob condições controladas.

Os resultados mostram em alguns tratamentos como o óleo de linhaça, a cera de abelha e a caiação, algumas melhorias ao nível da resistência a ações físicas e do contacto com água líquida. Noutros, como a água de papel de máquina, a capacidade higroscópica do reboco de terra, que por si só já é uma característica notável destas argamassas, permanece elevada. Assim, a principal conclusão que pode ser retirada é que cada tratamento confere ao reboco vantagens refletidas em características diferentes não havendo nenhum que se saliente em todas elas. Será, portanto, necessário pensar nas que mais se adequam ao reboco tendo em conta as suas funções.

Palavras-chave: Reboco de argila; Tratamento de superfície; Resistência superficial; Capacidade higroscópica; Ecoeficiência; Conservação

ABSTRACT

Being earth a naturally abundant material on the planet, it was used since an early age by Man in the construction of houses and later in buildings. However, with the discovery of cement and bricks, its use stagnated and the knowledge about this material was also lost. Meanwhile, concerns about environmental sustainability have gained strength including in the construction industry.

For the conservation of existing buildings and for new constructions, earth mortars, whose ecoefficiency has been emphasized, are also subject of research. Now it is only necessary to evaluate the characteristics of this material when applied in plastering systems so that it is increasingly efficient and less vulnerable, for example due to water or wear actions, at least when performing its functions.

The aim of this dissertation is to evaluate the effect of superficial application of different treatment products (linseed oil, beeswax, graphene oxide, machine paper water, plasterboard water and whitewashing) applied by two different methods (roller and spray) on an earth plaster, in order to conclude on the advantages and disadvantages that these products give it. For that, several tests were carried out, following standard experimental procedures and under controlled conditions.

The results show, in some treatments such as linseed oil, beeswax and whitewash, some improvements in terms of resistance to physical actions and contact with liquid water. In others, such as machine paper water, the hygroscopic capacity of the earth plaster, which is in itself already a remarkable characteristic of these mortars, remains high. Therefore, the main conclusion that can be drawn is that each treatment gives the plaster advantages reflected in different characteristics, with none that stands out in all of them. It will therefore be necessary to think about which ones are most suitable for plastering, taking into account its functions.

Key Terms: Clay plaster; Surface treatment; Surface Resistance; Hygroscopic capacity; Ecoefficiency; Conservation

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABELAS	XV
SIGLAS	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos e metodologia.....	2
1.3 Estrutura do trabalho.....	2
2. ESTADO DOS CONHECIMENTOS SOBRE REBOCOS DE TERRA	5
2.1 A terra como material de construção	5
2.2 Os rebocos de terra	6
2.3 Tratamentos superficiais e bioformulações em rebocos de terra	8
3. CAMPANHA EXPERIMENTAL	15
3.1 Provetes de reboco de terra.....	15
3.2 Preparação e aplicação dos produtos de tratamento	16
3.3 Métodos de ensaio	17
3.3.1 Massa volúmica	18
3.3.2 Dureza superficial	18
3.3.3 Coesão superficial	19
3.3.4 Higroscopicidade	20
3.3.5 Tempo de absorção da gota de água.....	20
3.3.6 Condutibilidade térmica	21
3.3.7 Resistência à abrasão	22
3.3.8 Resistência à erosão por gotejamento	22
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	25
4.1 Considerações iniciais	25
4.2 Alterações estéticas	26
4.3 Condutibilidade térmica.....	27
4.4 Massa volúmica e dureza superficial	28
4.5 Higroscopicidade.....	30

4.6	Tempo de absorção de gota de água	32
4.7	Resistência à erosão por gotejamento	33
4.8	Coesão superficial e resistência à abrasão	35
4.9	Resumo de resultados e considerações finais	37
5.	CONCLUSÕES	39
5.1	Considerações iniciais	39
5.2	Propostas de trabalhos futuros	40
	BIBLIOGRAFIA	41
	ANEXO	45
	Resultados individuais obtidos na realização dos ensaios	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 - Provete planar de reboco de terra após corte	16
Figura 3.2 - Balança de precisão 0,001 g (a) e paquímetro digital de precisão 0,01 mm (b).....	18
Figura 3.3 - Ensaio com durómetro Shore A, PCE	18
Figura 3.4 - Ensaio de coesão superficial em três provetes	19
Figura 3.5 - Provetes revestidos com papel de alumínio (a) e na câmara climática para ensaio (b) ...	20
Figura 3.6 - Ensaio do tempo de absorção da gota de água	21
Figura 3.7 - Ensaio de condutibilidade térmica	21
Figura 3.8 - Equipamento de ensaio da resistência à abrasão com provete (a) e superfície de alguns provetes após a abrasão (b)	22
Figura 3.9 - Ensaio da resistência à erosão por gotejamento num provete (a), provete não afetado pelo gotejamento (b) e provete afetado pelo gotejamento (c).....	23
Figura 4.1 - Aspeto dos provetes de reboco após aplicação dos tratamentos superficiais	26
Figura 4.2 - Resultados do ensaio de condutibilidade térmica	27
Figura 4.3 - Resultados dos ensaios de massa volúmica aparente e de dureza superficial	28
Figura 4.4 - Resultados do ensaio de higroscopicidade	30
Figura 4.5 - Resultados do ensaio de higroscopicidade de, entre outros, reboco de cimento (Cm) e reboco de gesso (Gm)	31
Figura 4.6 - Relação entre a massa volúmica aparente e a adsorção a 24 h dos provetes.....	31
Figura 4.7 - Resultados do ensaio de resistência à erosão por gotejamento.....	33
Figura 4.8 - Resultados dos ensaios de coesão superficial e de resistência à abrasão	35

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Influência de bioformulações com diferentes materiais e produtos nas características de rebocos de terra	9
Tabela 2.2 - Influência de tratamentos superficiais com diferentes materiais e produtos nas características dos rebocos ou blocos de terra	11
Tabela 4.1 - Resultados do ensaio de tempo de absorção de gota de água	32
Tabela 4.2 - Comparação qualitativa da influência dos tratamentos superficiais nas características do reboco de terra.....	37

SIGLAS

- APGr – provetes tratados com Água de cartão de gesso cartonado aplicada por rolo;
APGs - provetes tratados com Água de cartão de gesso cartonado aplicada por spray;
APr – provetes tratados com Água de papel de máquina aplicada por rolo;
APs – provetes tratados com Água de papel de máquina aplicada por spray;
CAr – provetes tratados com Cera de abelha aplicada por rolo;
Cr – provetes tratados com Caição aplicada por rolo;
HR – Humidade relativa;
OGr – provetes tratados com Óxido de grafeno aplicado por rolo;
OGs – provetes tratados com Óxido de grafeno aplicado por spray;
OLr – provetes tratados com Óleo de linhaça aplicado por rolo;
OLs – provetes tratados com Óleo de linhaça aplicado por spray;
REF – provetes de referência, sem tratamento

INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A utilização da terra como material de construção deu-se de forma natural quando o ser humano começou a sentir necessidade de construir os seus abrigos, mais tarde habitações e outras construções (Bruno et al., 2010). A sua abundância na natureza e a facilidade de utilização levaram ao elevado uso deste material desde o início das primeiras civilizações. A terra, junto com outros materiais tais como a pedra, a madeira e outros produtos da floresta (fibras, etc.) foi capaz de colmatar as necessidades destas populações durante muitos milénios (Quagliarini et al., 2010). Com o passar do tempo, com a descoberta do fogo, ligantes obtidos por calcinação, como os gessos e as cais, assim como o tijolo e outros produtos cerâmicos, passaram a ser também utilizados. Principalmente com a descoberta do cimento Portland, o crescimento populacional exponencial e a conseqüente necessidade de construir mais, em quantidade e depressa, a terra foi deixando de ser tão usada, deixando mesmo de ser usada em alguns países durante algumas décadas.

Assim, este novo ligante, produtos produzidos com ele, tal como diversos produtos cerâmicos, passaram a ser os mais utilizados enquanto a terra (cujo ligante era a fração de argila) deixou de ser utilizada em muitos países durante várias décadas. No entanto, principalmente desde os anos 80 do século XX (depois de uma crise energética) tem surgido, de forma cada vez mais intensa, a preocupação com o ambiente, o clima, a poluição, etc. Como é sabido, se há aspetos que a produção e utilização destes materiais e produtos não tem em conta são precisamente estes, e a opção de dar continuidade à forma, velocidade e intensidade com que se está a produzir e a usufruir deles é perto de inaceitável. (McDonald et al., 2022)

Pelas razões expressas anteriormente, desde então, e principalmente no século XXI, existe a vontade de reintroduzir na indústria da construção os materiais cuja exploração e utilização sejam mais sustentáveis para o ambiente e para a saúde pública, e é neste contexto que se encontra o uso da terra. A terra como material de construção tem características específicas, algumas positivas para alguns requisitos ao mesmo tempo que são negativas para outros. Por exemplo os produtos da construção com terra apenas endurecem e não incluem nenhuma reação química no processo (Lima e Faria, 2016). Dessa forma, o material pode ser reutilizado noutros produtos quando aquele em que tinha sido utilizado termina a sua vida útil. Da mesma forma, os elementos construídos com terra devem ser protegidos do contacto direto com a água, pois esta pode lavar parte dos constituintes. Mas é este dinamismo da terra que lhe confere por exemplo elevada higroscopicidade (Santos et al., 2017). A vulnerabilidade da terra no contacto com a água é, por um lado, um aspeto negativo no que diz respeito à sua resistência, mas trata-se de um aspeto positivo se se pensar que lhe confere a possibilidade de reversibilidade e reutilização.

Como o recurso a estes materiais naturais voltou a vir ao de cima, os produtos de terra para a construção também voltaram a ser investigados, assim como formas de dotá-los das características necessárias para alargar o seu campo de aplicação, cumprindo os requisitos atuais, que incluem não apenas questões técnicas, mas também ambientais. Incluem-se nestas a durabilidade, uma vez que o impacto ambiental reduz com o respetivo aumento. Função da aplicação para a qual se pretendem diferentes produtos da construção feitos com terra, assim os requisitos que devem ser definidos e as formulações ou proteções que serão necessárias. É neste âmbito que entram os tratamentos superficiais de rebocos, nomeadamente dos de terra que são alvos de estudo da presente dissertação, com a finalidade de perceber qual a influência positiva e negativa em vários aspetos importantes para a função de um reboco.

1.2 Objetivos e metodologia

O objetivo da presente dissertação é avaliar a influência de diferentes tratamentos superficiais no comportamento e nas características de um reboco de terra. A metodologia utilizada para o cumprimento deste objetivo passou, após análise da literatura na área, pela preparação de provetes de reboco e dos produtos de tratamento, nomeadamente os que implicam diluição, e pela aplicação dos tratamentos nos provetes através de rolo e de spray. Os produtos utilizados como tratamento foram óleo de linhaça, cera de abelha, diluição de óxido de grafeno, água de papel de máquina, água de cartão de gesso cartonado e uma caiação (diluição de cal aérea em pasta). Realizaram-se ensaios de caracterização de acordo com procedimentos de ensaio definidos por normas ou procedimentos definidos, registaram-se os resultados obtidos e procedeu-se à sua análise por comparação também com os da referência de reboco não tratado e, sempre que possível, com valores da literatura. Estes resultados dizem respeito a características como a massa volúmica, a dureza superficial e a coesão superficial bem como a higroscopicidade, a condutibilidade térmica, a resistência à abrasão e o comportamento face à água no estado líquido.

1.3 Estrutura do trabalho

A realização de uma pesquisa bibliográfica e de uma revisão da literatura existente para conhecimento do tema, a obtenção e preparação de materiais e produtos, a realização de ensaios e o registo, análise e discussão dos respetivos resultados, chegando por fim a várias conclusões conduziram à estruturação deste trabalho que se divide em 5 capítulos. São eles:

Capítulo 1 – Introdução e enquadramento do tema, objetivos e metodologia que levaram ao seu desenvolvimento e organização da estrutura do presente documento.

Capítulo 2 – Breve introdução sobre a terra como material de construção suportada por bibliografia e literatura já existente para tomar conhecimento sobre o tema e os estudos que já foram feitos em torno do mesmo.

Capítulo 3 – Apresentação e caracterização dos produtos e materiais utilizados no âmbito deste estudo. Apresentação dos ensaios, e respectivas normas e métodos de realização, elaborados ao longo da campanha experimental.

Capítulo 4 – Apresentação de resultados, sua análise e discussão das respectivas diferenças entre tratamentos procurando explicações e validação.

Capítulo 5 – Conclusão, de forma sumária, sobre resultados mais importantes e avaliação da resposta dada ao problema proposto no início do presente documento.

Referências Bibliográficas – Listagem das referências utilizadas no desenvolvimento do presente trabalho.

Anexos – Apresentação dos resultados individuais e detalhados de cada ensaio de onde se extraíram os resultados apresentados no corpo do presente trabalho.

ESTADO DOS CONHECIMENTOS SOBRE REBOCOS DE TERRA

2.1 A terra como material de construção

A terra é dos materiais naturais mais abundantes no planeta e, desde os primórdios da vida humana e da necessidade de se fazerem abrigos, que este material constitui um dos mais utilizados em todo o mundo (Bruno et al., 2010). Em Portugal, a terra foi utilizada como material de construção nas argamassas utilizadas para a execução de tabiques de diversos tipos, nas paredes de taipa, na produção de adobes, das argamassas para assentamento de alvenarias de pedra ou de adobe, de argamassas de reboco de paredes e em pavimentos térreos. O recurso a este material natural foi uma prática bastante comum até meados do século XX, estando ainda hoje presente um pouco por todo o país com o tabique mais concentrado no Norte, a alvenaria de adobe predominantemente no centro enquanto a taipa é maioritariamente utilizada no Alentejo e no Algarve (Faria e Henriques, 2006; Par-racha et al., 2021a)

No entanto, com o passar dos anos, o conhecimento e desenvolvimento de novos materiais no setor da construção foi acontecendo de forma natural, o que, aliado à necessidade de suprir o aumento populacional com uma maior quantidade e qualidade de edifícios, fez com que a terra fosse sendo substituída por materiais considerados como tendo melhores características no que diz respeito aos requisitos de desempenho que os edifícios devem cumprir. Um desses materiais, por exemplo, é o agora amplamente conhecido cimento que, como dito, desencadeou a aprendizagem e aplicação de novas técnicas e tecnologias de construção. A mais conhecida é o betão que, como é sabido, revolucionou o setor da construção, deixando para trás estruturas de terra, cujo ligante é a argila, principalmente devido às características mecânicas e resistência a cargas, que possibilitaram a construção de edifícios de maior porte e com estrutura reticulada em vez de paredes portantes (Serrano-González et al., 2022). Embora tenha deixado de ser usada como principal material nas construções, a terra argilosa continuou a ser utilizada para outros produtos, nomeadamente os cerâmicos de barro vermelho, como tijolos ou telhas. No entanto, para a produção destes produtos cerâmicos foi necessário proceder à cozedura dos produtos moldados ou extrudidos com base em terra argilosa. Entra-se, então, num período em que a construção é sinónimo de materiais altamente transformados e cujos processos de produção e transformação têm um impacto gigante na economia e no ambiente devido à energia e outros recursos envolvidos nos processos (McDonald et al., 2022). A construção atravessa então uma fase de crescimento em larga escala, o que desencadeou uma sucessão de consequências naturais. Aumentou-se o consumo das matérias-primas utilizadas na produção dos novos produtos de construção; para tal aumentou-se também a extração das matérias-primas necessárias, tanto em quantidade de locais onde estas extrações se realizavam como na profundidade a que eram realizadas. As

deslocações associadas às grandes distâncias que muitas vezes tinham de se percorrer entre os locais onde as matérias-primas eram extraídas e os locais onde eram transformadas também cresceram e todos estes fatores foram tornando este processo de construção caro, complexo e acima de tudo com mais impacto prejudicial para o ambiente, indo contra as atuais e cada vez mais exigentes ideias de construção sustentável e ecológica (Morel et al., 2001; Pacheco-Torgal, 2014).

E é principalmente pelas questões ambientais e de sustentabilidade e ecologia na construção, surgidas nas últimas décadas do século XX, que a terra, nos dias de hoje, volta a ser alvo de investigação para ser reintroduzida, de forma cada vez mais recorrente, na construção. Ao que já foi referido até aqui, acrescenta-se e salienta-se que a utilização de terra possibilita que esta possa ser reciclada (Gomes et al., 2018; Lima et al., 2016b) e reutilizada várias vezes, quando não contém nenhum tipo de estabilização química, o que também ajuda na questão da redução de resíduos intimamente ligada à sustentabilidade e ecologia (Lima e Faria, 2016). Ainda que a construção com terra envolva mão de obra com alguma especialização, o que encarece este tipo de aplicações, acredita-se que uma nova aposta na formação de profissionais neste campo e, simultaneamente, a compatibilização do seu uso com tecnologias mais recentes, pode retirar importância a este inconveniente.

De forma geral e avaliando as barreiras e as vantagens associadas à utilização da terra na indústria da construção, conclui-se com facilidade que este material pode e deve voltar a entrar no leque de soluções a adotar em algumas aplicações, e que o estudo de possíveis melhorias e otimizações é de igual forma importante quando o objetivo é, entre outros, a restrição dos danos e dos impactos ambientais que o ramo da construção civil tem no nosso planeta.

2.2 Os rebocos de terra

As argamassas podem ser aplicadas de diversas formas e com diferentes objetivos na construção. Desde logo, para assentar alvenaria, encher tabiques e regularizar paramentos horizontais como tetos ou pavimentos e verticais como paredes (Faria e Henriques, 2006). Quando são aplicadas em paredes e tetos, quer exteriormente quer interiormente, estes geralmente são denominados de rebocos.

Uma argamassa é obtida pela mistura de, no mínimo, um agregado com um ligante e água. As argamassas de terra são constituídas geralmente por terra, constituída por frações distintas de areia, silte e argila. Por sua vez, para além da fração, a mineralogia da argila desempenha também um papel importante no desempenho das argamassas. Se a proporção de argila existente numa terra provocar fendilhação da argamassa quando aplicada simulando um reboco, será necessário adicionar agregado suplementar à formulação da argamassa, para complementar a areia já existente na própria terra. Se a terra, quando amassada com água e aplicada como reboco, não fendilhar, então não é necessário adicionar agregado nem ligante suplementar, a menos que se pretenda alterar alguma característica da argamassa de terra, como seja aumentar a sua durabilidade à água, caso a aplicação prevista necessite do cumprimento desse requisito. Nesse caso pode adicionar-se um estabilizante, que pode ser natural ou de síntese (produzido quimicamente). Se, por outro lado, a terra tiver proporção insuficiente de argila, pode ser necessário reforçar pela adição de um ligante complementar. Assim, as argamassas

de terra podem ter endurecimento apenas por secagem e endurecimento também por presa química, quando são utilizados ligantes químicos como por exemplo os cimentos ou as cais. Também o tipo e quantidade de ligantes utilizados como adições nas argamassas de terra são responsáveis por diferentes características que estas vão apresentar (Faria e Lima, 2018). A forma e o local onde as argamassas são preparadas ditam se se trata de uma argamassa tradicional, quando é preparada em obra, ou de uma argamassa industrial quando é pré-doseada ou preparada em fábrica.

Voltando às argamassas de terra para reboco, e porque muitas terras têm um teor relativamente elevado de argila na sua constituição, estas são constituídas frequentemente por uma amassadura de terra argilosa, areia complementar (ou outro agregado de granulometria semelhante) e água (Faria e Lima, 2018). A percentagem de argila, que tem granulometria fina, é um fator a ter em conta uma vez que é este componente que confere à argamassa diferentes níveis de trabalhabilidade e comportamento mecânico, no estado fresco e endurecido, respetivamente. A areia, constituinte que já faz parte da própria terra e que possa ser adicionada, também é fundamental já que é o responsável maioritário pela resistência mecânica e durabilidade da argamassa, razão pela qual a areia deve ter uma granulometria equilibrada à distribuição granulométrica da terra, sem que o conjunto não tenha demasiadas partículas finas dado que estas são responsáveis por problemas como a fendilhação que afeta negativamente a resistência mecânica das argamassas (Zak et al., 2016). Adicionalmente à constituição da argamassa, o tipo de superfície onde esta é aplicada também tem influência no que diz respeito ao comportamento da aplicação que se faz com a argamassa, uma vez que vai influenciar a microestrutura da argamassa endurecida. Conclui-se, portanto, que a maior ou menor compatibilidade entre o reboco e a superfície onde é aplicado e a composição da argamassa, de forma geral, também constituem aspetos importantes a ter em conta quando se trata do comportamento do respetivo reboco e das suas propriedades (Santos et al., 2019; Meimaroglou e Mouzakis, 2024)

As argamassas de terra apresentam exigências básicas que devem ser cumpridas para que este produto possa ser usado em sistemas de reboco como, por exemplo, a trabalhabilidade, a aderência ao suporte onde são aplicadas, a resistência ao choque, à erosão por abrasão, à água nomeadamente da chuva (apenas se aplicadas em exteriores, o que não é usual em Portugal), entre outros.

As argamassas de reboco de terra apresentam, em relação às restantes argamassas correntes, vantagens que vão para além das ambientais e ecológicas já referidas. Exemplos dessas vantagens verificam-se no comportamento térmico e acústico do edifício, passando ainda pelos efeitos benéficos a nível do clima interior e de bem-estar geral, tais como a capacidade de contribuir para regular a humidade relativa do ar interior (Santos et al., 2017; Lima et al., 2016b). Ora é neste misto de vantagens, desvantagens e requisitos que entram, entre outros, as adições na formulação das argamassas e, no caso dos rebocos, os tratamentos superficiais aplicados na superfície destas argamassas. O seu objetivo é precisamente diminuir ou até mitigar as desvantagens, cumprindo sempre os requisitos de desempenho associados à utilização destes produtos, para que se possa usufruir das argamassas de terra cada vez com mais frequência e confiança.

2.3 Tratamentos superficiais e bioformulações em rebocos de terra

Nos tempos passados, quando a terra era vista como sinal de pobreza e utilizada apenas por aqueles que não tinham condições monetárias para melhor, geralmente utilizava-se um sistema de caiação ou pintura precisamente para esconder que o reboco era de terra. Atualmente o pensamento é o contrário e, quer por razões estéticas, quer por questões ambientais, as pessoas querem mostrar que usam a terra como material de construção e, por isso, querem deixar os rebocos de terra à vista. A questão é que, estando à vista, fica mais exposto a agentes destrutivos, por exemplo quando aplicado em zonas onde a presença de água é mais frequente como o exterior (chuva) ou em casas de banho ou cozinhas, ou ainda quando a água pode aceder por acidente, como quando uma janela é deixada aberta e chove (Faria e Lima, 2018). Os tratamentos superficiais e as bioformulações (estabilizações efetuadas sem a utilização de ligantes como gessos, cais e cimentos) aplicam-se precisamente para fortalecer os rebocos em relação a estes agentes destrutivos e para dotá-los de características que alargam o seu campo de utilização.

Existe uma diversidade ampla de materiais e produtos já usados em tratamentos superficiais e bioformulações de rebocos, de terra ou não só, e muitos mais há ainda por experimentar, cujas características podem fornecer aos rebocos as melhorias e vantagens que foram mencionadas anteriormente. Desde os mais simples e fáceis de conseguir, como por exemplo a água obtida da cozedura de alimentos e que geralmente é rejeitada (Santos et al., 2020a) até outros menos “quotidianos” como culturas microbianas de vários tipos (Parracha et al., 2019; García-González et al., 2020; Parracha et al., 2021b) passando ainda por produtos naturais como palha de trigo ou outras plantas (Santos et al., 2020a; Jia et al., 2024) ou cera de abelha (Stazi et al., 2016) e outros mais sintéticos como emulsões betuminosas (Mattone et al., 2017) as alterações são visíveis em características como a coesão e dureza superficiais, a velocidade de propagação de ultrassons, a quantidade de água absorvida, a condutibilidade térmica, entre outros.

No caso da bioformulação, esta consiste na inclusão de biomateriais ou bioprodutos na constituição da argamassa para melhorar as características do reboco e atua em toda a sua espessura. Alguns materiais ou produtos usados em bioformulações bem como as respetivas alterações nas argamassas de terra, são apresentados sinteticamente na Tabela 2.1, que se segue, realizada durante a pesquisa bibliográfica.

Tabela 2.1 - Influência de bioformulações com diferentes materiais e produtos nas características de rebocos de terra

Referência	Composição do reboco	Provetes utilizados (mm)	Bioformulação aplicada	Resultados face à referência (%)				Outros resultados
				Coesão superficial	Dureza superficial (Durómetro)	Absorção de água	Condutibilidade térmica	
Parracha et al., 2021b	Argamassa de reboco interior à base de terra (terra argilosa, areia siliciosa e fibras de aveia)	Prismático: 40 x 40 x 160	E. coli em meio de cultura LB suplementado com Ferro	↓235,0	↓33,7	↑35,7 *	↓46,8	Menores resistência mecânica, aderência, resistência à abrasão, módulo de elasticidade dinâmico, velocidade de propagação de ultrassons e retração por secagem; maior durabilidade em água
			Meio de cultura LB medium	↓3,3	↓9,3	↑100,0 *	↓29,9	
		Camada sobre tijolo furado: 15 x 200 x 300	E. coli em meio de cultura LB suplementado com Ferro	↓271,0	↓4,9	↑690,9 *	-	
			Meio de cultura LB medium	↓64,3	↓6,1	↑445,5 *	-	
Mattone et al., 2017	Argamassa de terra e gesso (terra e gesso)	Proвете planar: 20 x 250 x 250	Emulsão betuminosa	-	-	↓20,0 **	-	Maiores ângulo de contacto e resistência à perfuração; menor permeabilidade ao vapor de água
			Produto polimérico	-	-	↓40,0 **	-	
Jia et al., 2024	Argamassa de reboco de argila de Dengban (argila siltosa de baixa plasticidade)	Camada sobre substrato de arenito: 20 x 300 x 300; Proвете planar: 20 e Ø = 61,8	Fibras de palha de trigo	↓300,0	↑1,1	↑112,5 *	↑36,7	Menores permeabilidade ao vapor de água e retração por secagem
			Fibras de cânhamo	↓80	↓6,5	↑50,0 *	↑51,6	
			Casca de gengibre calcinada	↓380	↑3,2	↑175,0 *	↑39,1	

NOTA: ↑ - Aumento da característica; ↓ - Redução da característica; * - Tempo de absorção da gota de água; ** - Quantidade de água absorvida (tubos de Karsten).

Para além dos artigos e respetivos resultados apresentados na Tabela 2.1, cujas referências analisaram outras bioformulações, mas onde constam apenas aquelas que obtiveram melhores resultados, existem mais que relatam a influência destas bioformulações noutros aspetos. Por exemplo, Lagouin et al. (2021) estudou a adição de, entre outros, hexametáfosfato de sódio e de fibras vegetais a rebocos de terra com composições diferentes e os resultados mostraram, relativamente à referência, aumentos que podem chegar aos 125% na resistência à compressão, aos 75% na resistência à tração e aos 160% na tensão de adesão. No entanto estas bioformulações podem apresentar aumentos de volume até 65% e retrações até 105%, em relação à referência, tendo em conta os suportes e as percentagens de argila na sua composição. Desta análise conclui-se, portanto, que não só o material ou produto usado na formulação da argamassa, mas também o suporte em que é aplicada e a compatibilidade entre os dois, têm muita relevância no comportamento do conjunto como um todo, no que diz respeito às características de desempenho (Lagouin et al., 2021).

Ben Guida (2024) baseou-se nas casas Tata Tomba, características de Benim e Togo, países da África Ocidental, atualmente reconhecidos como patrimônio Mundial da UNESCO. Estas casas eram construídas com terra constituída por areia, silte e argila, à qual se adicionava estrume de vaca ou ovelha e, por vezes, era utilizada terra de termiteiras. Tendo em conta que são construções de meados do século XVII e que duraram até aos dias de hoje, apresentam, portanto, características e resistência notáveis. Estes investigadores estudaram a adição destes e outros produtos como seiva de liana, manteiga de karité, fibras de folha Neem, que é uma árvore tipicamente indiana, à composição de rebocos de terra. Os resultados mostraram melhorias em características como a trabalhabilidade, a resistência à água, à flexão e à compressão, passando ainda por aumento da durabilidade, da aderência e da resistência à abertura de fendas (Ben Ghida, 2024).

Também o grafeno, cuja bibliografia é escassa quando se fala da sua utilização em rebocos de terra, apresentou alguns resultados num estudo recente de Gallo Stampino et al. (2024). Este mostra que a mistura de óxido de grafeno, em baixas percentagens de massa, com a terra pode ter influência positiva nalgumas características. Por exemplo face à referência (sem adição de grafeno) verificaram-se aumentos na aderência ao suporte de quase 179%, uma redução da absorção de água por capilaridade de cerca de 45% quando comparada com a referência e também reduções da massa perdida por erosão causada pela água de quase 78%. Apesar de não se poder apontar a relação em massa ideal da mistura de grafeno nem a composição ideal do reboco, uma vez que os resultados alcançados descritos nunca foram obtidos na mesma terra com adição de grafeno na mesma percentagem, não restam dúvidas de que o grafeno é também um caso a ser estudado com maior profundidade (Gallo Stampino et al., 2024).

Quanto à utilização de aditivos à base de celulose, Gallo Stampino et al. (2022) avaliou o efeito de uma lama de uma fábrica de papel, de nano fibras de celulose TEMPO-oxidadas provenientes dessa lama, de polpa de papel reciclado e de fibras de abeto (fonte vegetal virgem) quando aplicados na formulação de argamassas de reboco de terra. Para tal foram utilizadas duas terras cruas distintas, T2 e ABS, e em cada uma foram utilizados separadamente os quatro aditivos mencionados acima. Nesse estudo registaram-se aumentos que vão dos 8% aos cerca de 59% no reboco de terra ABS e que podem atingir até 60% no reboco de terra T2 no que à tensão de aderência ao suporte diz respeito. Contudo, a outra característica analisada foi a capilaridade e nesta verificaram-se melhorias entre 6% e 36% em algumas das formulações do reboco de terra ABS, sendo que no reboco de terra T2 foram apenas registados resultados negativos quando comparados com a referência, o que volta a evidenciar a importância da composição da terra que constitui a argamassa em que é aplicada a formulação. Concluiu-se que estas adições na formulação de argamassas de terra não apresentam resultados sempre positivos, razão pela qual é imprescindível fazer uma ponderação e ter em conta os objetivos da utilização dos rebocos, para escolher de forma eficiente as adições a incluir nas formulações (Gallo Stampino et al., 2022).

Como se pode constatar pela análise dos resultados espelhados na Tabela 2.1, bem como pelos resultados mencionados acima, não restam dúvidas que a resistência à água líquida e a condutibilidade térmica são características que, na grande maioria dos casos, ficam a ganhar com a adição de alguns materiais e produtos na formulação de argamassas de terra para reboco. Noutros resultados, como a

resistência mecânica, a coesão e a dureza superficiais, vê-se que há aspetos em que as melhorias não são tão significativas ou até mesmo que há decréscimo de desempenho. No entanto, isto pode dever-se a vários fatores, inclusivamente ao modo de utilização dos produtos no reboco, neste caso as bioadições na formulação das argamassas. Torna-se, então, necessário colocar na balança todos os prós e contras destas bioadições e, perante o papel que é suposto ser desempenhado por um reboco, analisar o benefício global que estas podem trazer.

Falando agora de tratamentos superficiais, contrariamente aos anteriores, estes são apenas aplicados na superfície do reboco, logo, já depois deste seco, numa ou mais camadas, também com vista a melhorar as suas características. A bibliografia referente a este tipo de tratamento e as consequentes alterações do comportamento do reboco estão sumariamente expressas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Influência de tratamentos superficiais com diferentes materiais e produtos nas características dos rebocos ou blocos de terra

Referência	Suporte (composição)	Provetes utilizados (mm)	Tratamento superficial aplicado	Resultados face à referência (%)				Outros resultados
				Coesão superficial	Dureza superficial (Durómetro)	Velocidade de propagação de ultrassons	Absorção de água	
Santos et al., 2020a	Reboco de terra (terra argilosa íltica, areia e fibras de aveia)	Camada não Degradada sobre mu-rete de be-tão: 15 a 20	Óleo de linhaça	↑82,5	↑9,5	↑106,3	-	Diminuição do diâmetro da concavidade provocada pelo impacto da esfera
			Água de cozedura de massa	↑62,5	↑7,1	↑109,4		
		Camada degradada sobre mu-rete de be-tão: 15 a 20	Óleo de linhaça	↑62,5	↑7,5	↑128,1		
			Água de cozedura de arroz	↑47,5	↑2,5	↑84,4		
García-González et al., 2020	Adobe (terra com 1,5% de cascalho, 50,6% de areia, 17,9% de silte e 30% de argila e água)	Prismático: 70 x 160 x 320	Cultura E. coli (2.0g/L)	-	-	-	↑425,0 *	-
			MMC (mixed microbial cultures) desenvolvidas com glicerol bruto				↑1525,0 *	
	Bloco de Terra Comprimida (terra siltosa e terra arenosa grossa, cimento Portland)	Prismático: 90 x 140 x 295	Cultura E. coli (2.0g/L)				↑260,0 *	
			MMC (mixed microbial cultures) desenvolvidas com glicerol bruto				↑1240,0 *	

Referência	Suporte (composição)	Provetes utilizados (mm)	Tratamento superficial aplicado	Resultados face à referência (%)				Outros resultados
				Coesão superficial	Dureza superficial (Durómetro)	Velocidade de Propagação de Ultrassons	Absorção de Água	
Parracha et al., 2019	Argamassa de reboco interior à base de terra (terra argilosa, areia siliciosa e fibras de aveia)	Cúbico: 40 x 40 x 40	Meio de cultura LB medium suplementado com Ferro	0,0	0,0	↑19,8	↑125,0 *	-
			Cultura E.coli, meio de cultura LB medium suplementada com Ferro	↑36,4	0,0	↑17,2	↑900,0 *	
Stazi et al., 2016	Argamassa de reboco à base de terra (terra com argila, silte e areia)	Camada: 250 x 250 x 250	Emulsão de moléculas à base de silício	-	-	-	↓100,0 **	Diminuição da permeabilidade ao vapor de água; aumento da resistência à erosão e do ângulo de contacto
			Suspensão de titânia e sílica				↓24,4 **	
			Emulsão aquosa silano-siloxano				↓100,0 **	
			Emulsão aquosa de cera de abelha				↓28,1 **	
NOTA: ↑ - Aumento da característica; ↓ - Redução da característica; * - Tempo de absorção da gota de água; ** - Quantidade de água absorvida (tubos de Karsten).								

Na Tabela 2.2 estão presentes apenas os tratamentos que obtiveram resultados mais satisfatórios dentro de cada referência. No entanto, alguns dos estudos analisaram outros tratamentos para além dos que constam na Tabela 2.2. Em complemento da Tabela 2.2 mostrada acima, o estudo de Ben Guida (2024), já citado, que se baseou nas casas Tata Tomba construídas à base de terra no Benim e no Togo, também analisou o tratamento superficial de rebocos de terra com uma solução aquosa de cascas secas de Néré, que é a árvore que produz vagens de alfarroba, em água. O estudo relata apenas que este tratamento superficial aplicado em várias camadas forneceu ao reboco melhorias no que diz respeito à resistência à água e à durabilidade geral, contribuindo também para uma maior suavidade superficial (Ben Ghida, 2024).

Tanto a Tabela 2.2, como o estudo do parágrafo anterior, evidenciam o quão promissores podem ser os tratamentos superficiais em rebocos de terra. Basta ver, numa pequena análise dos resultados obtidos na Tabela 2.2, que os tratamentos têm efeito positivo em aspetos como o comportamento face à água líquida, tal como tinham tido algumas das adições nas formulações de argamassas de reboco

referidas na Tabela 2.1. Mas, ao contrário dessas, os tratamentos de superfície mostraram também melhorias na dureza e coesão superficiais. Como dito anteriormente, estas diferenças podem dever-se a vários fatores, entre eles o modo de utilização dos materiais e produtos no reboco, neste caso o tratamento superficial. Verificou-se também um aumento geral na velocidade de propagação de ultrassons que se mostra benéfico uma vez que esta característica está intimamente associada à compactidade do conjunto formado pelo reboco com o tratamento superficial. O aspeto que fica a perder é a permeabilidade ao vapor de água, importante em rebocos interiores para a regulação da humidade relativa no interior. Mas, como dito anteriormente, é sempre necessária uma avaliação dos requisitos que se pretendem para cada reboco e uma ponderação com vista à avaliação do benefício que a aplicação de tratamentos superficiais pode trazer aos rebocos.

Para além dos mencionados até agora, existem ainda muitos outros produtos naturais passíveis de serem avaliados como tratamento para rebocos de terra. Por exemplo produtos que já foram aplicados em rebocos de outros materiais e que, precisamente por terem mostrado resultados nos respectivos estudos, são possíveis alvos de investigação quando aplicados em rebocos de terra. No entanto, o caminho é longo não só no que toca a outros produtos que possam cumprir esta missão, mas também no que diz respeito à forma ideal de preparar e utilizar estes materiais de forma a cumprirem os objetivos o melhor possível. Como se viu, não existe muita bibliografia sobre tratamentos aplicados especificamente na superfície dos rebocos de terra, que é o propósito da presente dissertação, apontando mais para as adições na formulação de argamassas. Este facto torna ainda mais relevante o desenvolvimento da campanha experimental constante na presente dissertação.

CAMPANHA EXPERIMENTAL

3.1 Provetes de reboco de terra

A presente dissertação tem o seu principal foco no efeito de tratamentos superficiais em rebocos de terra pelo que se torna indispensável caracterizar a constituição do reboco de terra que será alvo desses tratamentos. Como dito anteriormente, uma argamassa é constituída pelo menos por um ligante e um agregado, que são misturados com água. No caso das argamassas de terra estas têm sempre na sua composição terra, que por sua vez é constituída por diferentes tipos e frações de areia, silte e argila. É a argila que funciona como ligante. Para além da respetiva fração, a mineralogia da argila tem um papel preponderante no que diz respeito ao desempenho das argamassas de terra. Para controlar a retração das argamassas de terra com elevada fração de argila, é frequente ter de se adicionar agregado complementar, tal como areia.

A argamassa utilizada na constituição do reboco que é objeto de estudo nesta dissertação é um produto comercial de reboco em pó pré-misturado, produzido pela empresa EMBARRO que atua em Portugal e Espanha (EMBARRO, 2024). Este produto comercial é composto por terra argilosa, areia siltosa e fibras de aveia cortadas. A terra argilosa foi extraída de uma pedreira de argila localizada no Barrocal (Algarve) e é composta por quartzo, ilite e dolomite caracterizados através de análise XRD por Faria et al. (2016). A ilite é um mineral argiloso de baixa expansão, razão pela qual se torna a principal responsável pela reduzida retração e elevada capacidade de adsorção de vapor de água (Lima et al., 2016a). A argamassa em questão e a sua produção são caracterizadas em maior detalhe por Santos et al. (2020b).

A argamassa de reboco foi aplicada no revestimento de ladrilhos com dimensões de 45 cm x 45 cm. Depois de seco, e com recurso a uma rebarbadora, o reboco foi cortado em partes menores, com secção aproximadamente quadrada, dando origem aos 33 provetes planares, 3 de referência e 30 que viriam a ser alvo da aplicação dos tratamentos superficiais. Os provetes, que se soltaram do ladrilho pela vibração ao serem cortados, têm 96 mm a 117 mm de comprimento, 98 mm a 113 mm de largura e uma espessura que varia entre os 22 mm e os 25 mm.



Figura 3.1 - Provete planar de reboço de terra após corte

3.2 Preparação e aplicação dos produtos de tratamento

Antes da aplicação dos tratamentos superficiais, os rebocos foram identificados com o nome do tratamento de que seriam alvo posteriormente, por questões de organização e para minimizar a probabilidade de ocorrência de erros. Após a limpeza da superfície dos provetes procedeu-se à aplicação dos produtos de tratamento. Os produtos utilizados para tratar a superfície dos rebocos de terra foram óleo de linhaça, cera de abelha, óxido de grafeno, água de papel de máquina, água de cartão de gesso cartonado e cal aérea (caiação). A escolha destes tratamentos procurou incluir produtos tradicionais (cera de abelha, óleo de linhaça, água de papel máquina, água de cartão de gesso cartonado e caiação) e mais inovadores (óxido de grafeno), e teve por base estudos da literatura e informações recolhidas oralmente e comercialmente principalmente relativas a construção com terra. A sua aplicação foi realizada na generalidade dos produtos por dois métodos: rolo e spray. Apenas a cera de abelha e a caiação não puderam ser aplicadas através de spray porque a sua espessura assim o impossibilitou, tendo apenas sido aplicadas por rolo.

O óleo de linhaça, da marca TINTINHAS, bem como a cera de abelha da marca MARGEM não exigiram nenhum tipo de preparação e estavam prontos a ser utilizados, ao contrário da caiação que foi preparada misturando 250 ml de cal aérea em pasta com 375 ml de água num traço volumétrico de 1:1,5. A água de papel de máquina foi obtida pela colocação de 26,2 g de papel de máquina em contacto com 300 ml de água durante pouco mais de uma semana, com o propósito de se obter uma espécie de pasta/líquido com algum teor de celulose que pudesse ser aplicada no reboço. Para a preparação da água de cartão de gesso cartonado o procedimento foi parecido e o objetivo também. Colocaram-se 25,6 g de cartão de placas de gesso cartonado com resíduos de gesso em 200 ml de água durante cerca de uma semana, tendo sido, entretanto, necessário adicionar 100 ml de água porque os 200 ml iniciais tinham sido absorvidos, perfazendo um total de 300 ml de água. Por fim o óxido de grafeno, obtido por esfoliação do óxido de grafite em água com recurso a “ultrassom leve” e com concentração de 0,5 mg/ml em água, também já estava preparado e pronto a utilizar (González-Campelo et al., 2021).

Para a aplicação dos tratamentos por rolo começou por se “molhar” o rolo com o produto da forma mais uniforme possível, depois retirou-se algum excesso de produto que pudesse estar presente no rolo. Por fim procedeu-se à aplicação de 10 passagens do rolo sobre a superfície do reboco numa direção, seguidas de outras 10 passagens na direção perpendicular, de forma que a superfície do reboco ficasse tratada uniformemente e na sua totalidade. Apenas a cera de abelha e a caiação foram aplicadas de forma ligeiramente diferente: com a cera de abelha foram aplicadas 10 passagens numa só direção e no caso da caiação o processo passou por aplicar as 10 passagens nas duas direções, mas 3 vezes (3 demãos) espaçadas cerca de 20 minutos entre si. Isto equivale a um total de 60 passagens na aplicação da caiação, talvez porque estivesse demasiado fluida. Na prática de obra não é costume realizar tantas. No processo de aplicação por rolo teve-se o cuidado de tentar aplicar as passagens sempre com a mesma pressão para que este fator não tivesse influência nos resultados. Já a aplicação dos tratamentos por spray realizou-se com recurso a um borrifador e passou simplesmente por borrifar os produtos de tratamento sobre toda a superfície do reboco, estando este na vertical a uma distância de aproximadamente 5 cm da boca do borrifador. As borrifadelas foram disparadas uniformemente para que toda a superfície do reboco fosse alvo do tratamento, mas, estando o provete na vertical, parte do produto que era borrifado na parte de cima da superfície escorria para baixo e juntava-se ao que já tinha sido aplicado na zona inferior ficando então essa parte da superfície com maior quantidade de produto aplicado. A caiação e a cera de abelha não puderam ser aplicadas por spray devido às suas espessuras, uma vez que estas impossibilitavam a passagem dos produtos pelos orifícios do borrifador e, conseqüentemente, a sua aplicação. Depois da aplicação dos produtos de tratamento todos os provetes foram deixados a secar durante 48 h. Para controlar a quantidade de produto aplicada, as massas dos provetes foram medidas antes e depois da aplicação dos produtos sendo a quantidade de produto aplicada dada pela diferença entre essas medições.

3.3 Métodos de ensaio

Para avaliar a influência de diversos tratamentos superficiais no comportamento de um reboco de terra, nesta campanha experimental procedeu-se à realização dos ensaios de dureza e coesão superficiais, higroscopicidade, tempo de absorção de gota de água, condutibilidade térmica, resistência à abrasão e resistência à erosão por gotejamento, para além de também ter sido avaliada a massa volúmica. Por observação visual, também foi feita uma análise das alterações estéticas que a aplicação dos tratamentos proporcionou aos provetes de reboco de terra por exemplo ao nível da cor, do brilho, formação de película, etc.

Os procedimentos seguidos nestes ensaios, bem como os materiais necessários à sua realização, são apresentados em seguida. Os resultados de cada reboco são obtidos pela média de resultados obtidos com três provetes de cada tipo de tratamento e tipo de aplicação, e sem tratamento.

3.3.1 Massa volúmica

Tendo por base a norma EN 1015–10/A1 (1999), a massa volúmica foi determinada geometricamente pesando os provetes e calculando o respetivo volume. Para tal utilizou-se uma balança digital com 0,001 g de precisão (Figura 3.2a) e um paquímetro digital com 0,01 mm de precisão (Figura 3.2b) para medir cada uma das dimensões. Estas foram medidas em dois planos diferentes, calculando e obtendo depois o valor médio do comprimento, da largura e da espessura de cada provete para se chegar ao volume de cada um. O ensaio foi realizado a uma temperatura de $22\pm 3^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa (HR) de $52\pm 5\%$.



Figura 3.2 - Balança de precisão 0,001 g (a) e paquímetro digital de precisão 0,01 mm (b)

3.3.2 Dureza superficial

Este ensaio permite avaliar a dureza superficial do reboco e baseia-se na norma ASTM D2240-00 (2000). Para tal foi utilizado um durómetro Shore A, PCE Group (Figura 3.3), que tem na ponta um pino que indica, através do movimento de um ponteiro numa escala de 0 a 100, a resistência à penetração desse pino na superfície do reboco pela ação de uma mola, sob carga normalizada.



Figura 3.3 - Ensaio com durómetro Shore A, PCE

Primeiramente limpou-se o material solto com recurso a uma escova, passando-a na superfície do reboco, e depois pressionou-se o durómetro e registaram-se os valores indicados pelo ponteiro. Para cada provete foram feitas medições em 12 pontos diferentes da superfície do reboco, correspondendo o resultado de cada provete à média dos 12 valores obtidos em cada ponto. O ensaio foi realizado a uma temperatura de $22\pm 3^{\circ}\text{C}$ e HR de $52\pm 5\%$.

3.3.3 Coesão superficial

A coesão de uma argamassa é a força de ligação entre as partículas do material constituinte e define a maior ou menor facilidade de rutura dessa ligação e consequente perda de material. Para a realização deste ensaio adotou-se um procedimento específico no âmbito deste trabalho, antes utilizado por Santos et al. (2020b) e definido por Drdácý et al. (2014). Começou por se cortar tiras de fita cola com aproximadamente 50 mm de lado, mediram-se e registam-se as massas desses pedaços de fita, recorrendo a uma balança de precisão 0,001 g, e colou-se uma tira de fita cola na superfície tratada de cada provete. Sobre as fitas colocou-se uma camada de neoprene para melhor distribuição das cargas a colocar, e por cima pesos de 20 N (Figura 3.4). Após 2 minutos removeram-se as tiras de fita cola da superfície de cada provete e procedeu-se à pesagem das fitas que, desta feita, traziam coladas a si partículas do reboco. Procedeu-se novamente à medição da massa das tiras de fita cola e ao cálculo da diferença das suas massas, antes e depois do ensaio. Esta diferença dita a perda de massa que o reboco teve e, consequentemente, a sua coesão superficial numa relação de proporcionalidade inversa. O ensaio foi realizado a uma temperatura de $22\pm 3^{\circ}\text{C}$ e HR de $52\pm 5\%$.



Figura 3.4 - Ensaio de coesão superficial em três provetes

3.3.4 Higroscopicidade

A higroscopicidade de um material traduz-se na sua capacidade de adsorver vapor de água presente no ambiente envolvente e desadsorver essa humidade de novo para o ambiente. Para avaliá-la, procedeu-se com base na norma DIN 18947 (2024) com adaptações conforme descrito em Lima et al. (2020).

Antes de tudo foi necessário revestir com papel de alumínio todas as faces dos provetes exceto a face tratada (Figura 3.5a) por forma a garantir que toda a adsorção e desadsorção se dava unicamente através dessa. Feito isto, levaram-se os provetes à câmara climática (Figura 3.5b), numa primeira fase para estabilização, a 23°C e HR de 50% durante aproximadamente 24 h nas quais se mediu a massa dos provetes três vezes e se verificou que estava estabilizada, com variação de massa inferior a 0,01%. Posteriormente alteraram-se as condições da câmara climática para 23°C e 80% de HR e foram realizadas medições das massas dos provetes nos instantes $t=0h$, $t=1h$, $t=3h$, $t=6h$, $t=12h$ e $t=24h$ e registados os respetivos valores. Por fim voltaram a estabelecer-se as condições da câmara climática nos 23°C e HR de 50% e foram novamente medidas e registadas as massas dos provetes nos instantes $t=0h$ (correspondente com $t=24h$ do ciclo anterior), $t=1h$, $t=3h$, $t=6h$, $t=12h$ e $t=24h$.



Figura 3.5 - Provetes revestidos com papel de alumínio (a) e na câmara climática para ensaio (b)

3.3.5 Tempo de absorção da gota de água

Este ensaio destina-se a avaliar a resistência do reboco, conferida pelos tratamentos, à absorção de água no estado líquido. Através de uma pipeta, coloca-se uma gota em pontos separados de cada provete e mede-se, com cronómetro, o tempo que o provete leva a absorver a totalidade dessa gota. Colocaram-se nove gotas na superfície de cada provete.



Figura 3.6 - Ensaio do tempo de absorção da gota de água

3.3.6 Condutibilidade térmica

A condutibilidade térmica é a grandeza física que mede a capacidade que um material ou produto homogêneo tem de transferir calor por condução e foi avaliada da seguinte forma:

Primeiro colocou-se o provete em cima de uma superfície de espuma de poliestireno extrudido como forma de garantir isolamento, isto é, para que o calor não fosse dissipado para a mesa de suporte. De seguida colocou-se na superfície do provete (tratada ou de referência) uma sonda circular IPS1150 com gama 0,04–3,0 W/(m.K) com 60 mm de diâmetro, ligada a um analisador de propriedades térmicas ISOMET 2114 (Figura 3.7). Depois de alguns minutos, o analisador registou o valor da condutibilidade térmica de cada provete. O ensaio foi realizado a uma temperatura de $21\pm 3^{\circ}\text{C}$ e HR de $54\pm 5\%$.



Figura 3.7 - Ensaio de condutibilidade térmica

3.3.7 Resistência à abrasão

O presente ensaio visa aferir sobre a facilidade de desgaste de um material, isto é a facilidade com que liberta e perde partículas quando sobre ele se faz sentir uma ação abrasiva. Foi realizado tendo por base a norma DIN 18947 (2024) mas realizaram-se pesagens dos provetes antes e depois do ensaio e não apenas do material perdido devido à abrasão.

Para tal, começou por pesar-se os provetes, numa balança de precisão 0,001 g, antes do início do ensaio. Depois procedeu-se à abrasão dos provetes, recorrendo a uma escova rotativa de plástico com 65 mm de diâmetro que exerce sobre a superfície uma força de contacto constante de 20 N, num total de 20 rotações que duraram 15 a 25 segundos (Figura 3.8a). No final, a superfície do provete é limpa com um pincel macio, a abrasão é visualmente registada (Figura 3.8b) e a massa do provete é novamente aferida para se calcular a perda de massa por abrasão através da diferença de massa dos provetes antes e depois do ensaio. Foi realizado a uma temperatura de $24\pm 3^{\circ}\text{C}$ e a uma HR de $63\pm 5\%$.



Figura 3.8 - Equipamento de ensaio da resistência à abrasão com provete (a) e superfície de alguns provetes após a abrasão (b)

3.3.8 Resistência à erosão por gotejamento

Este ensaio permite avaliar a resistência do reboco quando exposto a gotejamento de água no estado líquido, como por exemplo salpicos de chuva ou de algo que possa estar a pingar por perto. O ensaio foi baseado na norma neozelandesa NZS 4298 (1998) / A1 (2000), tendo sido adaptado conforme feito em Lima et al. (2020) mas para uma espessura dos provetes de 20 mm.

Em primeiro lugar mediu-se a massa dos provetes. De seguida iniciou-se o ensaio propriamente dito, que consistiu em deixar cair gotas de água sempre numa mesma área da superfície do provete, num volume total de 16 ml durante um período de 2,5 a 3 min e estando o provete inclinado aproximadamente 60° em relação à horizontal. Posteriormente deixaram-se os provetes a secar durante aproximadamente 24 h, depois das quais se voltou a medir a respetiva massa. O ensaio foi realizado a uma temperatura de $25\pm 3^{\circ}\text{C}$ e HR de $58\pm 5\%$.



Figura 3.9 - Ensaio da resistência à erosão por gotejamento num provete (a), provete não afetado pelo gotejamento (b) e provete afetado pelo gotejamento (c)

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 Considerações iniciais

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios descritos anteriormente. Será também feita uma avaliação dos resultados obtidos comparando-os entre os diferentes produtos de tratamento superficiais analisados e as duas formas de aplicação.

Volta a salientar-se que se aplicaram os tratamentos da maneira mais idêntica possível em todos os provetes pelo que, tendo isso em conta, o único fator diferenciador nos resultados obtidos deverá mesmo ser o produto utilizado e o tipo de aplicação. Também as condições de temperatura e HR a que foram realizados os ensaios foram as mesmas para todos os provetes pelo que também não têm influência nas diferenças dos resultados obtidos para cada caso.

Os resultados de cada tratamento representam a média dos resultados obtidos em 3 provetes com cada tratamento/método de aplicação. As tabelas com os resultados apresentados de forma mais detalhada estão presentes nos anexos desta dissertação.

De ora em diante, e por questões de simplificação da leitura e interpretação dos resultados, relembra-se que os provetes serão neles identificados tendo em conta o tratamento superficial e o tipo de aplicação a que foram sujeitos, da seguinte forma:

REF – provetes de referência, sem tratamento;

OLr – provetes tratados com Óleo de linhaça aplicado por rolo;

CAr – provetes tratados com Cera de abelha aplicada por rolo;

OGr – provetes tratados com Óxido de grafeno aplicado por rolo;

APr – provetes tratados com Água de papel de máquina aplicada por rolo;

APGr – provetes tratados com Água de cartão de gesso cartonado aplicada por rolo;

Cr – provetes tratados com Caição aplicada por rolo;

OLs – provetes tratados com Óleo de linhaça aplicado por spray;

OGs – provetes tratados com Óxido de grafeno aplicado por spray;

APs – provetes tratados com Água de papel de máquina aplicada por spray;

APGs - provetes tratados com Água de cartão de gesso cartonado aplicada por spray.

4.2 Alterações estéticas

Depois de terem sido aplicados os produtos de tratamento e de terem sido deixados a secar, os provetes verificaram de modo geral algumas alterações estéticas, umas mais perceptíveis que outras, visíveis na Figura 4.1.

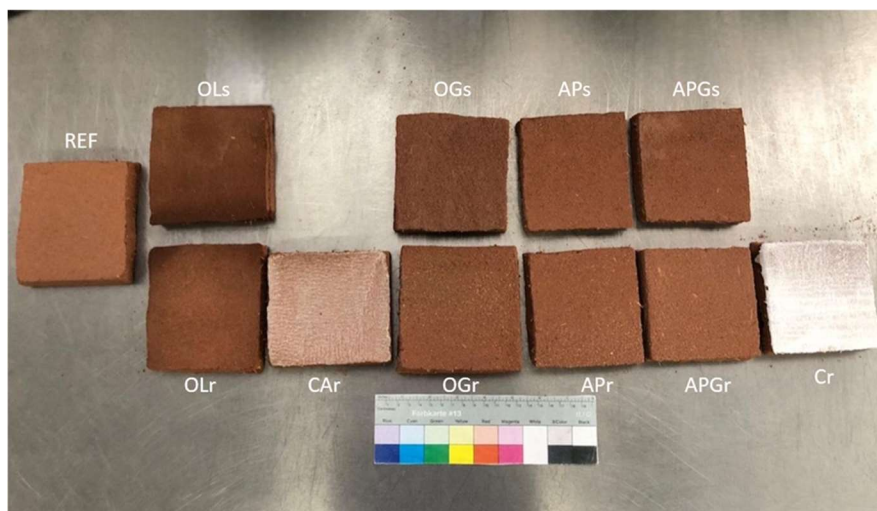


Figura 4.1 - Aspeto dos provetes de reboco após aplicação dos tratamentos superficiais

Essas alterações são visíveis ao nível da cor dos provetes que de forma geral escureceram com a aplicação dos tratamentos. Pela visualização da Figura 4.1 é perceptível que os provetes tratados com óleo de linhaça e óxido de grafeno aplicados por spray foram os que adquiriram uma aparência mais escura. Por outro lado, saltam à vista os provetes tratados com cera de abelha que ficaram mais claros, quase brancos e os provetes tratados com caliação que, esses sim, adquiriram a cor branca na sua superfície. A esta informação resta acrescentar que a cera de abelha e a caliação formaram, nas superfícies onde foram aplicadas, uma fina película provavelmente devida às suas espessuras e consequente dificuldade de impregnação. Pelo contrário, os restantes tratamentos, depois de aplicados, impregnaram o reboco também numa profundidade muito ligeira.

4.3 Condutibilidade térmica

Os resultados do ensaio de condutibilidade térmica são apresentados na Figura 4.2.

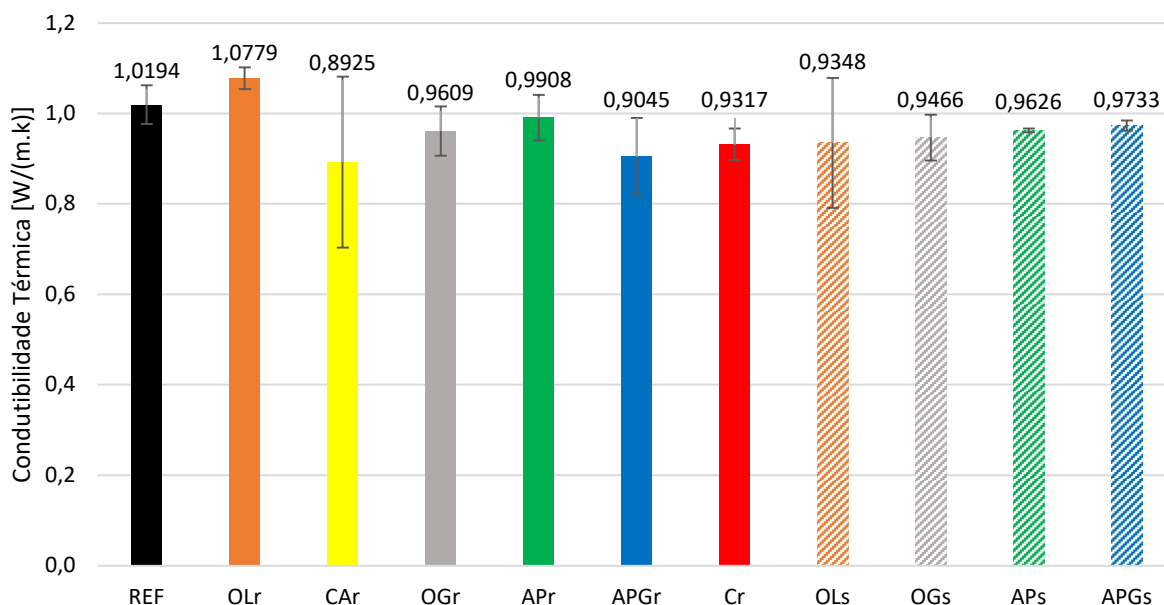


Figura 4.2 - Resultados do ensaio de condutibilidade térmica

Estes resultados não são facilmente interpretáveis, uma vez que, para diversos tratamentos aplicados, a condutibilidade térmica diminuiu, mesmo considerando o desvio-padrão. A principal conclusão que se pode tirar deste ensaio, por análise da Figura 4.2, é que, de maneira geral, a condutibilidade térmica dos provetes baixou com a aplicação dos tratamentos superficiais, o que é difícil de explicar. Por esta razão o que os tratamentos proporcionam aparenta ser algo de bom uma vez que comumente na construção se procura que a condutibilidade térmica das paredes seja tão baixa quanto se queira. No entanto, como se trata de rebocos, aplicados geralmente em espessura relativamente reduzida, a diferença em termos de resistência térmica pode considerar-se insignificante. O aumento verificado pelo óleo de linhaça aplicado por rolo ronda os 5,7%, mas de resto apenas se verificaram reduções entre os 2,8% e 12,5%. As bioformulações aplicadas em Parracha et al. (2021b) obtiveram melhores resultados proporcionando aos seus provetes reduções desta característica que chegaram aos 46,8%. Já as de Jia et al. (2024) resultaram em aumentos de até 51,6%. Ambos consideram que estes resultados se devem ao conteúdo da mistura, sendo a primeira mais porosa e a segunda mais densa. As diferenças nos ganhos e perdas verificados por estes autores, face às obtidas no presente estudo podem dever-se às diferentes espessuras em que os produtos atuaram uma vez que neste estudo o tratamento é apenas superficial o que leva a resultados pouco significantes.

A condutibilidade térmica de um material está, muitas vezes, diretamente relacionada com a massa volúmica desse material sendo de esperar que um material com maior massa volúmica seja também um melhor condutor de calor. No entanto, e como será possível ver de seguida, esta relação não se

verificou no presente estudo pois, no caso do tratamento superficial, a impregnação dos produtos de tratamento nos suportes pode ser diferente e este aspeto também influencia os valores da condutibilidade térmica do reboco.

4.4 Massa volúmica e dureza superficial

Os valores da massa volúmica dos provetes de referência, bem como dos provetes tratados, encontram-se na Figura 4.3 e correspondem, dentro de cada tratamento, às barras do lado esquerdo.

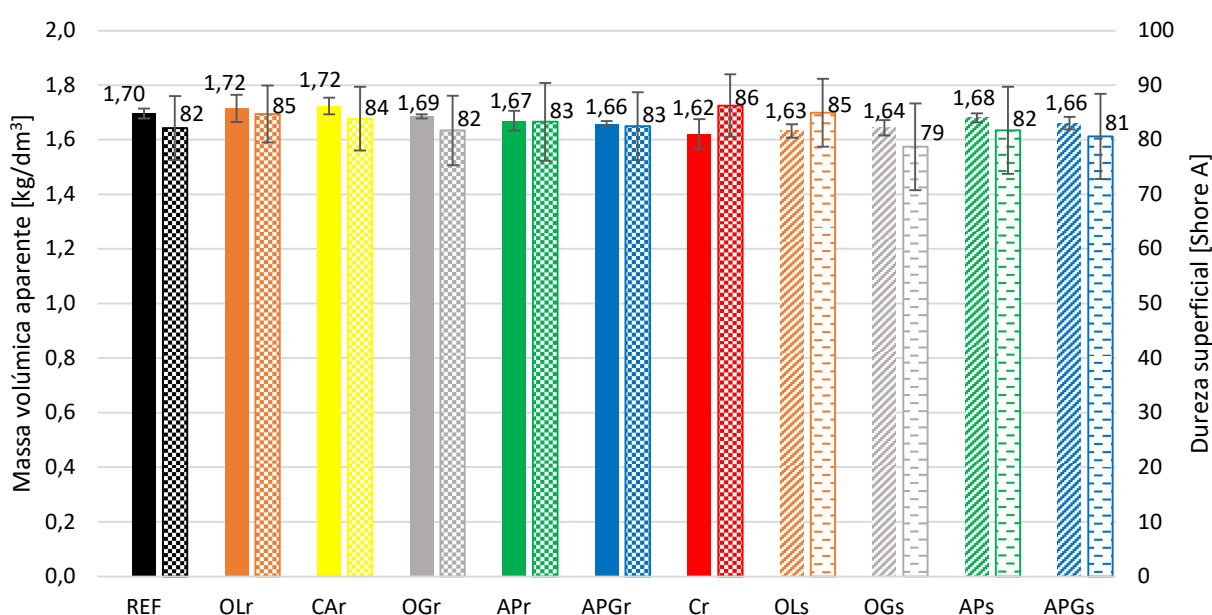


Figura 4.3 - Resultados dos ensaios de massa volúmica aparente e de dureza superficial

As massas volúmicas dos provetes tratados com óleo de linhaça e com cera de abelha ambas por rolo aumentaram 1,2% relativamente à referência enquanto as restantes diminuíram ligeiramente, 0,6% a 4,7%. Estas reduções são algo estranhas porque seria de esperar que os produtos de tratamento ocupassem parte dos vazios do reboco e consequentemente fizessem aumentar a sua massa volúmica. As reduções poderão ser consequência de perda de material quando se aplicaram os tratamentos. Neste aspeto destacam-se os provetes com tratamento por caiação por rolo, com óleo de linhaça por spray e com óxido de grafeno também por spray cujas massas volúmicas aparentes são consideravelmente menores que as dos provetes não tratados. No entanto, as diferenças verificadas encontram-se todas no intervalo do desvio-padrão pelo que se pode considerar que não houve alterações neste aspeto. Relativamente aos provetes tratados com o mesmo tratamento, mas por vias distintas, os provetes tratados com água de papel de máquina e com água de cartão de gesso cartonado não apresentam diferenças na massa volúmica entre rolo e spray. De realçar, no entanto, que a massa volúmica aparente dos provetes tratados com óleo de linhaça por rolo é significativamente maior que a

massa volúmica aparente dos provetes tratados com o mesmo produto quando aplicado por spray, talvez por questões de quantidade de produto aplicado. O mesmo acontece com o óxido de grafeno aplicado por rolo relativamente ao mesmo aplicado por spray sendo o primeiro bastante maior que o segundo, o que pode novamente dever-se ao método de aplicação do tratamento.

No que diz respeito à dureza superficial (Figura 4.3 – barras do lado direito em cada tratamento), também não se verificaram diferenças muito significativas entre as amostras não tratadas e os provetes com tratamento superficial, estando todos eles na mesma gama de valores. Ainda assim, e dentro dessa gama, verifica-se que a caiação foi o tratamento que aumentou mais a dureza superficial dos provetes, em 4,9%, seguido pelo óleo de linhaça aplicado tanto por rolo como por spray, com um aumento de 3,7%. Quanto a reduções, a principal verificou-se nos provetes tratados com óxido de grafeno aplicado por spray, 3,7%, e nos provetes tratados com água de cartão de gesso cartonado por spray, 1,2%, sempre diferenças muito irrelevantes como é possível constatar pela Figura 4.3. Estes resultados são muito superiores aos de Parracha et al. (2021b) que aplicou bioformulações nos seus estudos, talvez devido à estrutura porosa do seu produto já mencionada acima, e também superiores aos de Parracha et al. (2019) que usou os mesmos produtos, mas superficialmente. Este facto poderá concluir que esse produto não terá tanta capacidade de aumentar esta característica do reboco. Por outro lado, Santos et al. (2020a) conseguiu elevar um pouco mais a dureza superficial dos seus rebocos em valores que chegam aos 9,5% face às suas referências, possivelmente justificados pela aplicação e total concentração do produto na superfície do reboco. Também é possível relacionar as alterações nas duas características verificando-se, de forma geral, que os provetes cuja massa volúmica não mudou muito também não verificaram grandes alterações na dureza superficial e que alguns provetes com maior massa volúmica são também aqueles que possuem maior dureza superficial e vice-versa, ainda que as diferenças sejam pouco significativas. Exceções a esta regra são a caiação e o óleo de linhaça aplicado por spray, casos em que a dureza superficial aumentou consideravelmente tendo em conta a diminuição verificada na massa volúmica.

O facto de não ocorrerem alterações significativas de massa volúmica demonstra que a impregnação eventualmente realizada por alguns tratamentos foi reduzida, assim como a espessura da camada produzida por outros. A reduzida alteração da dureza superficial demonstra que os tratamentos analisados aparentam ser compatíveis com a conservação deste tipo de rebocos em edifícios antigos, não alterando o seu comportamento mecânico.

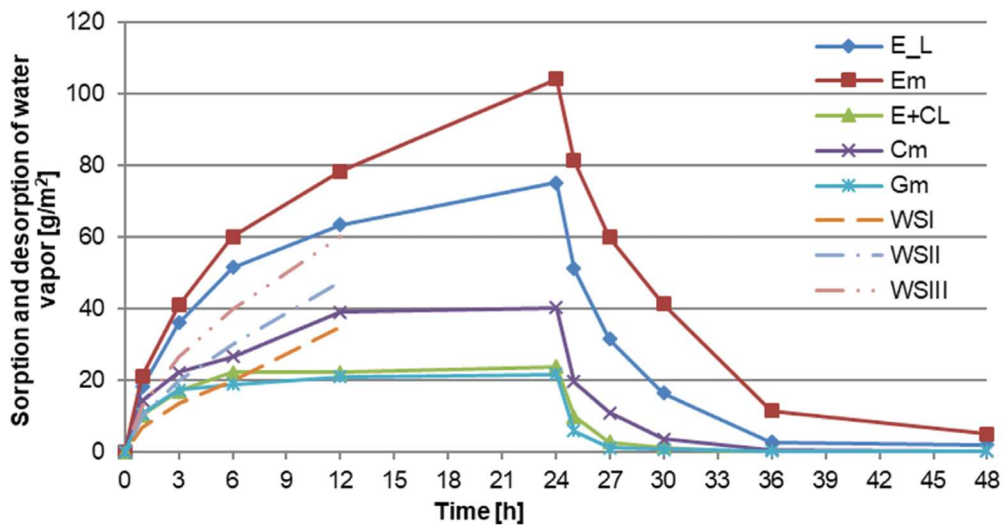


Figura 4.5 - Resultados do ensaio de higroscopicidade de, entre outros, reboco de cimento (Cm) e reboco de gesso (Gm), obtidos em Santos et al. (2020b)

Como se pode ver pela Figura 4.5, os rebocos mencionados acima mostraram uma capacidade de adsorver vapor de água que não ultrapassou os 30 g/m², valores bastante inferiores aos mais baixos registados pelos provetes tratados com óleo de linhaça e cera de abelha no presente trabalho. Isto significa que, apesar destes tratamentos terem demonstrado ser os mais limitadores desta característica nos ensaios realizados neste trabalho, têm ainda assim um comportamento significativamente melhor que outros rebocos que não são de terra.

Voltando ao ensaio realizado no presente trabalho e atendendo à relação de proporcionalidade inversa existente entre a massa volúmica de um material e a sua capacidade de adsorver vapor de água, que embora seja bastante baixa, é visível na Figura 4.6, também algumas notas podem ser tiradas no presente estudo.

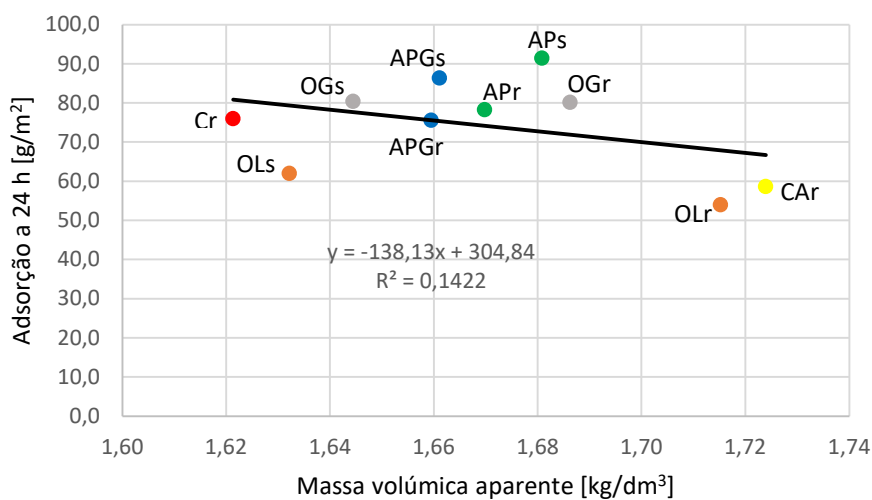


Figura 4.6 - Relação entre a massa volúmica aparente e a adsorção a 24 h dos provetes

Apesar dos provetes tratados com água de cartão de gesso cartonado e com água de papel de máquina apresentarem entre rolo e spray massas volúmicas aparentes idênticas, a higroscopicidade dos provetes tratados com recurso ao spray é maior do que a dos tratados por rolo. As reduções na adsorção registadas nos provetes tratados com óleo de linhaça e cera de abelha aplicados por rolo podem ser justificadas pelo aumento considerável da massa volúmica aparente verificado anteriormente. O mesmo não se pode apontar ao óleo de linhaça aplicado por spray uma vez que, apesar de apresentar baixa higroscopicidade, a sua massa volúmica aparente é das mais baixas. No mesmo sentido, o óxido de grafeno apresenta uma relação algo diferente, isto é, apesar da aplicação deste tratamento por rolo resultar numa massa volúmica aparente algo maior do que a resultante da aplicação por spray, os resultados entre estes dois foram bastante semelhantes no que diz respeito à capacidade de adsorção. Outra conclusão que se pode tirar atendendo às curvas da Figura 4.4 é que, ao fim das 24 h do período de adsorção, não foi atingido o limite da capacidade de adsorção destes rebocos. Basta ver que nenhuma das curvas atingiu a horizontalidade, ou seja, se se mantivessem aquelas condições durante mais tempo, os provetes ainda adsorveriam mais humidade enquanto outros rebocos já estariam saturados.

Passando agora à fase de desadsorção, ao fim de 48 h todos os provetes estabilizaram a valores mais ou menos semelhantes, libertando grande parte do vapor de água que tinham adsorvido. De ressaltar ainda que, no fim do ensaio, todos os provetes retiveram alguma humidade, como também é possível constatar na Figura 4.4.

4.6 Tempo de absorção de gota de água

Os resultados do ensaio do tempo de absorção de gota de água estão presentes na Tabela 4.1

Tabela 4.1 - Resultados do ensaio de tempo de absorção de gota de água

Tempo de absorção de gota de água											
Tratamento	REF	OLr	CAR	OGr	APr	APGr	Cr	OLs	OGs	APs	APGs
Tempo [min]	inst.	< 1	> 40	inst.	inst.	inst.	< 0,1	> 3	inst.	inst.	inst.

Como seria de esperar, dada a relação com a água verificada no ensaio da higroscopicidade, os provetes tratados com água de papel de máquina e água de cartão de gesso cartonado aplicados, quer por spray, quer por rolo, absorveram as gotas de água instantaneamente e a estes juntam-se os provetes tratados com óxido de grafeno por rolo e por spray. A caiação aplicada por rolo também absorveu as gotas de água passados apenas 2 segundos. Os únicos tratamentos que conferiram aos provetes a capacidade de reter as gotas de água foram o óleo de linhaça e a cera de abelha. Os provetes tratados com óleo de linhaça aplicado por rolo demoraram menos de 1 minuto a absorver

totalmente as gotas, ainda assim uma absorção rápida. Já o mesmo tratamento aplicado por spray fez com que os provetes demorassem pouco mais de 3 minutos a absorver completamente as gotas tendo-se verificado que as mais resistentes foram aquelas que estavam na zona do provete com maior quantidade de produto. Por fim a aplicação da cera de abelha fez com que o provete demorasse mais de 40 minutos a absorver as gotas de água, um valor muito elevado. Este valor foi, na verdade, mais elevado que qualquer outro encontrado na bibliografia. García-González et al. (2020) utilizou produtos diluídos, logo não tão impermeáveis, e Jia et al. (2024) utilizou cascas de plantas e cereais que também não o são propriamente. Os resultados obtidos nos respetivos estudos são interessantes, e até se aproximam dos verificados na Tabela 4.1 para o óleo de linhaça aplicado por spray, chegando o primeiro a alcançar mais de 2 minutos, mas não se podem comparar com o tempo de absorção de gota de água do provete tratado com cera de abelha no presente estudo.

Estes resultados estão, de forma global, em consonância com os obtidos do ensaio anterior, fugindo à regra apenas o óleo de linhaça. Seria de esperar que a aplicação por rolo fizesse o provete demorar mais tempo a absorver as gotas do que aplicação por spray, tendo em conta que nesse ensaio o provete tratado com óleo de linhaça por rolo apresentou uma adsorção menor que o tratado por spray. No entanto isto não se verificou no ensaio da gota.

Assim, pretendendo-se tratamentos que não bloqueiem a capacidade do reboco funcionar como um buffer de humidade passivo, mas que simultaneamente apresente alguma durabilidade à água, com base nos resultados analisados até aqui, os tratamentos com caiação aplicada por rolo demonstram ser os mais interessantes.

4.7 Resistência à erosão por gotejamento

Os resultados relativos ao ensaio da resistência à erosão por gotejamento são apresentados na Figura 4.7 através de valores de massa perdida por erosão.

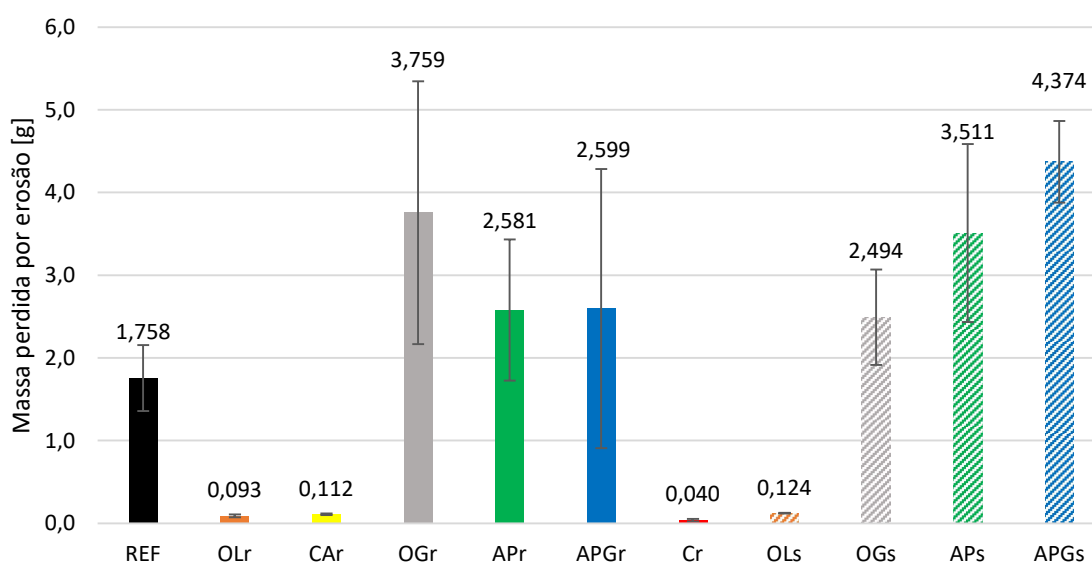


Figura 4.7 - Resultados do ensaio de resistência à erosão por gotejamento

O ensaio da resistência à erosão por gotejamento permitiu consolidar algumas conclusões que já haviam sido tiradas no ensaio do tempo de absorção de gota de água. Como é possível ver pela Figura 4.7, em relação aos provetes não tratados apenas os provetes tratados com óleo de linhaça por rolo e por spray, com cera de abelha e com a caiação praticamente não se degradaram face à queda das gotas de água. Estes resultados traduzem-se numa redução da perda de massa superior a 92% chegando mesmo aos 97% no caso da caiação. Os restantes tratamentos não só não ajudaram como parece terem deixado o reboco ainda mais suscetível à perda de massa face a este tipo de ação. Basta ver que a massa perdida pelos provetes tratados com óxido de grafeno, com água de papel de máquina e com água de cartão de gesso cartonado foi, independentemente do tipo de aplicação, ainda maior (mais de 41% de aumento da massa perdida) que a perdida pelos provetes sem qualquer tratamento. É ainda de salientar negativamente o elevado desvio-padrão apresentado por estes três rebocos. Gallo Stampino et al. (2024), que também utilizou óxido de grafeno, mas como aditivo na composição dos seus rebocos, registou reduções na perda de massa de 46,5% num deles e de 77,6% noutro. Pelo contrário, no presente estudo, o óxido de grafeno não contribuiu para essa redução da perda de massa. Isto pode dever-se à concentração do produto ou ao facto de, no estudo de Gallo Stampino et al. (2024), este ter sido aplicado na formulação da argamassa e não como tratamento superficial. No presente estudo também o tipo de aplicação é comparável quando, olhando para a Figura 4.7, se vê que, à exceção do óxido de grafeno, todos os provetes obtiveram menores perdas de massa quando o seu produto foi aplicado por rolo do que quando foi aplicado por spray. Estes resultados são facilmente relacionados com os obtidos do ensaio do tempo de absorção da gota de água bastando ver que os provetes que resistiram mais tempo à absorção da gota nesse ensaio são os mesmos que foram menos afetados no presente ensaio. A esta regra fogem os provetes tratados com a caiação que, apesar de terem absorvido facilmente a gota no respetivo ensaio, neste foram muito pouco afetados. Esta diferença poderá dever-se ao tempo que a água tem para penetrar o reboco uma vez que no ensaio da gota ela tinha todo o tempo até à penetração completa e neste apenas tem o instante em que atinge a superfície do reboco porque logo a seguir escorre devido à inclinação do provete. A dureza superficial dos provetes também pode ter influência nos resultados do ensaio de resistência à erosão por gotejamento. É visível que os tratamentos que conferiram maior dureza superficial (óleo de linhaça, cera de abelha e caiação) foram também os que obtiveram melhores resultados neste ensaio. Isto pode ser explicado pelo acréscimo da resistência mecânica que os produtos oferecem ao reboco, para além da resistência à água. Isto porque a primeira fonte de desgaste é o impacto da gota e só depois ocorre a sua absorção e eventual lavagem e remoção de algumas partículas do reboco.

4.8 Coesão superficial e resistência à abrasão

Os valores da perda de massa por coesão superficial dos provetes de referência, assim como dos provetes tratados, encontram-se na Figura 4.8 e correspondem, em cada tratamento, às barras do lado esquerdo.

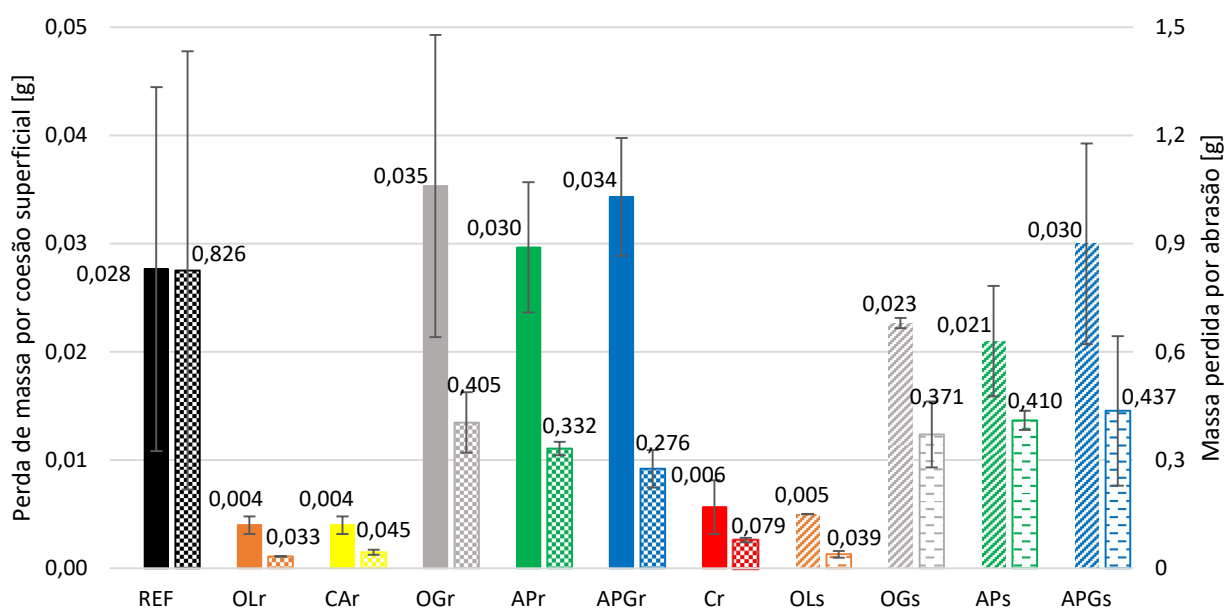


Figura 4.8 - Resultados dos ensaios de coesão superficial e de resistência à abrasão

O ensaio da coesão superficial, avaliado pela maior ou menor perda de massa dos provetes, mostrou resultados bastante diferentes entre os tratamentos. Relativamente à referência, os provetes tratados com óleo de linhaça por rolo e por spray, com cera de abelha e com caiação mostraram melhorias expressivas, acima de 78%. Também os provetes tratados com água de papel de máquina e com óxido de grafeno, ambos por spray, mostraram melhorias. No entanto, estas de apenas 25% e 17,9% respetivamente. Os provetes tratados com óxido de grafeno e água de papel de máquina, ambos tratados por rolo, bem como a água de cartão de gesso cartonado aplicada tanto por rolo como por spray apresentaram perdas ligeiramente maiores, cerca de 23%, quando comparados com os provetes não tratados tal como se pode observar na Figura 4.8. Santos et al. (2020a), que também tratou os seus provetes superficialmente, obteve melhorias desta característica de mais de 47,5% chegando mesmo aos 82,5% nos provetes tratados com óleo de linhaça. No presente estudo, o tratamento com esse produto também foi o que proporcionou ao reboco a melhoria mais expressiva. Já Parracha et al. (2021b) e Jia et al. (2024) apenas registaram piorias na coesão superficial dos seus provetes, sendo que estes foram sujeitos a bioformulação. As formulações utilizadas no primeiro caso e as misturas do segundo não terão tanto poder de coesão das partículas do reboco como o óleo de linhaça e as águas de cozedura de alimentos utilizados por Santos et al. (2020a). De forma geral observa-se também que, dentro do mesmo tratamento, houve uma maior perda de massa por parte dos provetes tratados por

rolo face aos tratados por spray. Os resultados significativos mostrados pelo óleo de linhaça, pela cera de abelha e pela caiação podem dever-se ao facto de estes produtos serem mais espessos e terem algum poder aglutinante na pequena espessura impregnada ou devido à película criada. Relativamente ao ensaio da resistência à abrasão (Figura 4.8 – barras do lado direito em cada tratamento), é possível constatar que houve, em todos os casos, uma redução da massa perdida por ação abrasiva quando comparados com a referência. Quer isto dizer que os tratamentos superficiais contribuíram todos para um aumento da resistência do reboco a este tipo de ação, naturalmente uns mais que outros. Neste aspeto saltam à vista o óleo de linhaça tratado com rolo e com spray, a cera de abelha e a caiação, ambas aplicadas por rolo, com melhorias sempre acima dos 90%. A análise destes resultados conclui ainda que não é significativa a diferença entre a aplicação dos mesmos produtos por spray ou por rolo, uma vez que as perdas de massa nas respetivas situações foram bastante próximas. Também em Parracha et al. (2021) foi testada a resistência ao desgaste de rebocos sujeitos a bioformulação e recorrendo ao mesmo procedimento de ensaio. As melhorias obtidas não excederam os 23%, um valor mais baixo que o mínimo obtido no presente estudo. Esta diferença pode dever-se novamente à eficácia das formulações em comparação com os tratamentos superficiais no que diz respeito a ações de desgaste superficial.

Tendo em conta que, quanto maior for a força de coesão existente entre as partículas do reboco, mais difícil será separá-las e removê-las, nomeadamente por ação abrasiva, estes dois resultados estão diretamente relacionados. Essa relação é comprovada, analisando a Figura 4.8, pelos provetes tratados com óleo de linhaça, com cera de abelha, com caiação e com óxido de grafeno aplicado por spray e água de papel também aplicada com recurso a spray. O mesmo não se pode dizer dos restantes que, apesar de uma coesão superficial menor, porque perderam maior quantidade de material relativamente à referência, apresentaram sempre uma maior resistência à abrasão, uma vez que perderam menor quantidade de material, quando comparados com os provetes não tratados. Por observação da Figura 4.7 e da Figura 4.8, é notável uma semelhante tendência. Esta parecença volta a dar a entender que, para além da resistência à água, o aumento da resistência mecânica superficial, comprovada neste ensaio, foi também uma das justificações dos resultados obtidos no ensaio da resistência à erosão por gotejamento.

4.9 Resumo de resultados e considerações finais

Na Tabela 4.2 estão presentes, de forma sumária, os resultados obtidos pelos provetes tratados superficialmente quando comparados com a referência. No entanto, atendendo às funções que um reboco interior deve cumprir, as propriedades avaliadas não terão todas a mesma importância e por isso não deverão ter todas o mesmo peso na escolha dos tratamentos que mais vantagens proporcionam ao reboco.

Tabela 4.2 - Comparação qualitativa da influência dos tratamentos superficiais nas características do reboco de terra

	OLr	CAr	OGr	APr	APGr	Cr	OLs	OGs	APs	APGs
Massa volúmica	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Dureza superficial	↑	↑	=	↑	↑	↑	↑	↓	=	↓
Coesão superficial	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓
Higroscopicidade	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	=
Tempo de absorção de gota de água	↑	↑	=	=	=	↑	↑	=	=	=
Condutibilidade térmica	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Resistência à abrasão	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Resistência à erosão por gotejamento	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↓

NOTA: ↑ - Aumento da característica; ↓ - Redução da característica; Verde - Melhoria da característica; Vermelho - Pioria da característica

Considerando todos os ensaios e analisando a Tabela 4.2, sobressaem os tratamentos com caiação por rolo como aqueles que, sem prejudicar muito a elevada higroscopicidade do reboco de terra e sem alterar significativamente as suas características mecânicas à superfície, conseguem aumentar a respetiva durabilidade, nomeadamente face à água que pode eventualmente atingir um reboco. Existem, no entanto, situações em que não é aceitável aplicar caiação por questões estéticas uma vez que esta altera a cor do reboco. Nessas situações a escolha terá de ser outra.

Também os tratamentos com óleo de linhaça e cera de abelha merecem destaque pois, apesar de não terem uma adsorção tão elevada quanto o anterior, mas que ainda assim é bastante superior à

de rebocos correntes, obtiveram resultados impressionantes no que diz respeito à resistência e durabilidade do reboco.

No caso particular de aplicação de tratamento a reboco em edifícios históricos, é ainda necessário ter em atenção que o acréscimo da capacidade mecânica no reboco não deve ser muito superior.

Outra questão que é importante ter em consideração na escolha dos produtos de tratamento para rebocos de terra é o seu custo. É necessário avaliar e colocar na balança, junto dos fatores de desempenho, o fator económico associado à obtenção e aplicação destes produtos. Não é desejável que a melhoria da durabilidade e resistência do reboco seja, por outro lado, um peso demasiado grande na carteira de quem os utiliza.

CONCLUSÕES

5.1 Considerações iniciais

As temáticas da sustentabilidade ambiental e da pegada ecológica têm sido, também no ramo da construção, uma preocupação cada vez maior nos dias que correm. Com elas, a procura por opções com menores impactos energéticos e ambientais ganhou força e deu motivo à realização da presente dissertação. Esta, a par de outras investigações, teve como foco o estudo de materiais e produtos naturais por forma a conhecer as suas características e avaliar as vantagens e desvantagens que podem oferecer ao reboco de terra, também ele um produto natural, aquando do desempenho das suas funções.

A campanha experimental a que se procedeu avaliou a influência de vários produtos de tratamento e duas formas distintas de aplicação desses produtos, por rolo e por spray. De maneira geral e salvo poucas exceções, os tratamentos proporcionaram ao reboco melhorias do seu comportamento face às várias ações a que estiveram sujeitos ou, no mínimo, permitiram que mantivesse o bom desempenho já característico deste tipo de reboco. Os tratamentos que propiciaram ao reboco melhorias na sua resistência física foram, por outro lado, os que menos contribuíram para o seu desempenho higroscópico, importante num reboco para a regulação da humidade do ar interior. Ainda de forma geral conclui-se também que a aplicação dos tratamentos por rolo se mostrou mais eficiente do que a aplicação através de spray talvez devido à maior uniformidade inerente à aplicação pela primeira via (por rolo) quando comparada com a segunda (por spray).

De forma mais particular e começando pela massa volúmica aparente conclui-se que as variações verificadas neste aspeto são insignificantes pelo que não terão influência na resistência mecânica do reboco de terra. O óleo de linhaça aplicado por rolo e a cera de abelha proporcionaram um aumento da massa volúmica enquanto os restantes tratamentos fizeram com que diminuísse.

No que diz respeito à dureza superficial, praticamente todos os tratamentos proporcionaram um aumento ou inalteração desta característica pelo que será possível concluir deste estudo que a aplicação de tratamentos superficiais foi benéfica para este caso. A caiação foi a que aumentou mais a dureza superficial e os tratamentos aplicados por spray obtiveram resultados menos satisfatórios, inclusivamente uma redução provocada pelo óxido de grafeno.

O ensaio da coesão superficial não deixa margem para dúvidas e aponta para os tratamentos com produtos à base de água, o óxido de grafeno e as águas de papel e de gesso cartonado, como menos capazes de aumentar esta característica. As restantes mostraram uma notável melhoria da coesão superficial ao proporcionar ao reboco menores perdas de massa.

A capacidade higroscópica, característica naturalmente boa dos rebocos de terra, não se mostrou muito aprimorada por nenhum dos tratamentos superficiais. Ainda assim há especial destaque positivo para as águas de papel e de gesso por manterem valores bastante satisfatórios e não tão positivo para o óleo de linhaça e cera de abelha que proporcionaram ao reboco perdas desta característica. Verificou-se também que os tratamentos aplicados por rolo obtiveram, de modo geral, resultados menos positivos que os tratamentos aplicados por spray.

As conclusões tiradas pela análise dos resultados do tempo de absorção da gota de água são simples e apontam claramente para um ótimo desempenho por parte da cera de abelha. Nos provetes tratados com óleo de linhaça também houve pequenas melhorias, mas de resto nenhum tratamento mostrou sequer influência nesta característica do reboco de terra.

Passando para a condutibilidade térmica dos provetes, todos os tratamentos proporcionaram um decréscimo, ainda que ligeiro, desta característica à exceção do óleo de linhaça aplicado por rolo que conduziu ao seu aumento. Notou-se uma influência maior nos tratamentos aplicados por rolo com especial destaque para a cera de abelha.

Para terminar e à semelhança do ensaio da coesão superficial, nos ensaios da abrasão e da erosão por gotejamento os tratamentos que se mostraram mais eficientes foram o óleo de linhaça, a cera de abelha e a caiação ao conferirem ao reboco maior capacidade de resistir à perda de massa provocada pelas respetivas ações. Também nestes se notou uma maior eficiência dos tratamentos aplicados por rolo quando comparados com a aplicação por spray.

5.2 Propostas de trabalhos futuros

Terminado o estudo do efeito de tratamentos superficiais em rebocos de terra desta dissertação, sugerem-se algumas propostas para trabalhos e investigações futuros no sentido de aprofundar os realizados no presente trabalho e alargar o conhecimento a outros aspetos que dele não fizeram parte.

Começando pela composição do reboco, será sempre interessante avaliar argamassas de terra com outras composições, diversificando o tipo de argila, a granulometria das partículas constituintes e o tipo e quantidade de fibras presentes para aferir se ocorrem diferenças significativas no comportamento face ao mesmo tipo de ensaios.

Também a quantidade de produto aplicado poderá ser estudada avaliando o comportamento do reboco quando tratado com maior ou menor quantidade de produto do que a que foi utilizada no presente estudo. Os métodos de aplicação também podem ser alvo de mudança a fim de se saber que influência terá este aspeto no comportamento do reboco.

Nomeadamente nos produtos diluídos em água como a água de papel de máquina, a de cartão de gesso cartonado e o óxido de grafeno, será curioso aferir sobre as concentrações destes produtos e o efeito que a alteração das mesmas pode causar no desempenho das funções de um reboco quando tratado com estes produtos.

BIBLIOGRAFIA

ASTM D2240-00 (2000) - Standard test method for rubber property – durometer hardness. United States, ASTM.

Ben Ghida, D. (2024). Organic stabilization in earthen plaster: Eco-compatible architecture and ancient techniques in Tata Somba Homes. *Frontiers of Architectural Research*. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2024.02.004>

Bruno, P., Faria, P., Candeias, A., Mirão, J. (2010). Earth mortars from on pre-historic habitat settlements in south Portugal. Case studies. *J. Iberian Archaeology* 13 (2010), 51-67.

DIN 18947 (2024) – Earth plasters– Requirements, test and labelling (in German). Berlin: DIN.

DIN 18947 (2024) – Earth plasters – Terms and definitions, requirements, test methods (em alemão). Berlin, DIN.

Drdácký, M., Lesák, J., Niedoba, K., & Valach, J. (2014). Peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of mortar and render surfaces. *Materials and Structures*, 48(6), 1947–1963. <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0285-8>

EMBARRO, disponível em <https://www.embarro.com/> . Consultado em setembro de 2024.

EN 1015-10 (1999), Methods of test for mortar for masonry. Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar. CEN, Brussels.

Faria, P., Henriques, F. (2006). Construções em terra crua: Conservação do património existente e perspectivas futuras. PATORREB 2006 – 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto, março de 2006, p. 273-282.

Faria, P., Lima, J. (2018). Rebocos de terra. *Cadernos de Construção com Terra* 3, 1ª Ed., Argumentum, Lisboa

Faria, P., Santos, T., Aubert, J.-E. (2016). Experimental characterization of an Earth eco-efficient plastering mortar. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(1). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0001363](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001363)

Gallo Stampino, P., Ceccarelli, L., Caruso, M., Mascheretti, L., Dotelli, G., Sabbadini, S. (2024). Performance of earth plasters with graphene-based additive. *Materials*, 17(10), 2356. <https://doi.org/10.3390/ma17102356>

Gallo Stampino, P., Riva, L., Caruso, M., Rahman, I. A., Elegir, G., Bussini, D., Marti-Rujas, J., Dotelli, G., Punta, C. (2022). Can tempo-oxidized cellulose nanofibers be used as additives in bio-based building materials? A preliminary study on Earth plasters. *Materials*, 16(1), 74. <https://doi.org/10.3390/ma16010074>

García-González, J., Pereira, A. S., Lemos, P. C., Almeida, N., Silva, V., Candeias, A., Juan-Valdés, A., Faria, P. (2020). Effect of surface biotreatments on construction materials. *Construction and Building Materials*, 241, 118019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118019>

Gomes, M. I., Faria, P., Gonçalves, T. D. (2018). Earth-based mortars for repair and protection of rammed earth walls. stabilization with mineral binders and fibers. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2401–2414. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.170>

González-Campelo, D., Fernández-Raga, M., Gómez-Gutiérrez, Á., Guerra-Romero, M. I., González-Domínguez, J. M. (2021). Extraordinary protective efficacy of graphene oxide over the stone-based Cultural Heritage. *Advanced Materials Interfaces*, 8(23). <https://doi.org/10.1002/admi.202101012>

ISO (International Standards Organization), ISO 24353: Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of moisture adsorption/desorption properties in response to humidity variation. ISO, Geneva, Switzerland, 2008.

Jia, Q., Chen, W., & Tong, Y. (2024). Influence of material composition on physical performance of earthen plasters. *Construction and Building Materials*, 417, 135219. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135219>

Lagouin, M., Laborel-Préneron, A., Magniont, C., Geoffroy, S., Aubert, J.-E. (2021). Effects of organic admixtures on the fresh and mechanical properties of Earth-based plasters. *Journal of Building Engineering*, 41, 102379. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102379>

Lima, J., Faria, P. (2016). Eco-efficient earthen plasters: The influence of the addition of natural fibers. *RILEM Bookseries*, 315–327. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7515-1_24

Lima, J., Faria, P., Santos Silva, A. (2020). Earth plasters: The influence of clay mineralogy in the plasters' properties. *International Journal of Architectural Heritage*, 14(7), 948–963. <https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1727064>

Lima, J., Faria, P., Santos Silva, A. (2016a). Earthen plasters based on illitic soils from Barrocal region of Algarve: Contributions for building performance and Sustainability. *Key Engineering Materials*, 678, 64–77. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.678.64>

Lima, J., Silva, S., Faria, P. (2016b). Rebocos de terra: influência da adição de óleo de linhaça e comparação com rebocos convencionais. *TEST&E 2016 – 1º Congresso de Ensaio e Experimentação em Engenharia Civil – Ensaio para Reabilitar*. Lisboa, IST, 4-6 Julho 2016 - ID: 01028. Neves, J., & Ribeiro, A. (eds.), ISBN 978-972-8574-44-4 e DOI: 10.5281/zenodo.164637 (artigos); DOI: 10.5281/zenodo.164444 (apresentações orais). <https://run.unl.pt/handle/10362/19306>

Mattone, M., Rescic, S., Fratini, F., Del Fà, R. M. (2017). Experimentation of earth-gypsum plasters for the conservation of earthen constructions. *International Journal of Architectural Heritage*, 11(6), 763–772. <https://doi.org/10.1080/15583058.2017.1290850>

McDonald, L. J., Carballo-Meilan, M. A., Chacartegui, R., Afzal, W. (2022). The physicochemical properties of Portland cement blended with calcium carbonate with different morphologies as a supplementary cementitious material. *Journal of Cleaner Production*, 338, 130309. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130309>

Meimaroglou, N., Mouzakis, C. (2024). The role of intrinsic soil properties in the compressive strength and volume change behavior of unstabilized Earth mortars. *Materials and Structures*, 57(3). <https://doi.org/10.1617/s11527-024-02314-0>

Morel, J. C., Mesbah, A., Oggero, M., Walker, P. (2001). Building houses with local materials: Means to drastically reduce the environmental impact of construction. *Building and Environment*, 36(10), 1119–1126. [https://doi.org/10.1016/s0360-1323\(00\)00054-8](https://doi.org/10.1016/s0360-1323(00)00054-8)

NZS 4298 (1998) / A1 (2000). Materials and workmanship for earth buildings. Wellington, New Zealand: New Zealand Standard.

Pacheco-Torgal, F. (2014). Introduction to the environmental impact of construction and building materials. *Eco-Efficient Construction and Building Materials*, 1–10. <https://doi.org/10.1533/9780857097729.1>

Parracha, J. L., Lima, J., Freire, M. T., Ferreira, M., Faria, P. (2021a). Vernacular earthen buildings from Leiria, Portugal – architectural survey towards their conservation and retrofitting. *Journal of Building Engineering*, 35, 102115. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102115>

Parracha, J. L., Pereira, A. S., Velez da Silva, R., Almeida, N., Faria, P. (2019). Efficacy of iron-based bioproducts as Surface Biotreatment for Earth-based plastering mortars. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117803. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117803>

Parracha, J.L., Pereira, A. S., Velez da Silva, R., Silva, V., Faria, P. (2021b). Effect of innovative bioproducts on the performance of bioformulated earthen plasters. *Construction and Building Materials*, 277, 122261. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122261>

Quagliarini, E., Lenci, S., & Iorio, M. (2010). Mechanical properties of adobe walls in a roman republican domus at suasa. *Journal of Cultural Heritage*, 11(2), 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2009.01.006>

Santos, T., Faria, P., Silva, V. (2019). Can an earth plaster be efficient when applied on different masonries? *Journal of Building Engineering*, 23, 314–323. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.02.011>

Santos, T., Gomes, M. I., Silva, A. S., Ferraz, E., Faria, P. (2020b). Comparison of mineralogical, mechanical and hygroscopic characteristic of earthen, gypsum and cement-based plasters. *Construction and Building Materials*, 254, 119222. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119222>

Santos, T., Gomes, R.I., Faria, P. (2020a), Avaliação do envelhecimento natural e de tratamentos superficiais ecológicos em rebocos à base de argila *Conservar Património* 35, 31-44. <https://doi.org/10.14568/cp2019005>

Santos, T., Nunes, L., Faria, P. (2017). Production of eco-efficient Earth-based plasters: Influence of composition on physical performance and bio-susceptibility. *Journal of Cleaner Production*, 167, 55–67. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.131>

Serrano-González, L., Merino-Maldonado, D., Antolín-Rodríguez, A., Lemos, P. C., Pereira, A. S., Faria, P., Juan-Valdés, A., García-González, J., Morán-del Pozo, J. M. (2022). Biotreatments using microbial mixed cultures with crude glycerol and waste pinewood as carbon sources: Influence of application on the durability of recycled concrete. *Materials*, 15(3), 1181. <https://doi.org/10.3390/ma15031181>

Stazi, F., Nacci, A., Tittarelli, F., Pasqualini, E., Munafò, P. (2016). An experimental study on Earth plasters for earthen building protection: The effects of different admixtures and surface treatments. *Journal of Cultural Heritage*, 17, 27–41. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.07.009>

Zak, P., Ashour, T., Korjenic, A., Korjenic, S., Wu, W. (2016). The influence of natural reinforcement fibers, gypsum and cement on compressive strength of Earth Bricks Materials. *Construction and Building Materials*, 106, 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.031>

ANEXO

Resultados individuais obtidos na realização dos ensaios

Massa volúmica

Tratamento	Provete	Data do ensaio	Massa antes trat. [g]	Comprimento [mm]		Largura [mm]		Espessura [mm]		Massa após trat. [g]	Volume [dm ³]	Massa volúmica aparente [kg/dm ³]					
				Individual	Média	Individual	Média	Individual	Média			Individual	Média	DP			
REF	1	09/05/2024		111,43	112,19	111,81	104,85	105,79	105,32	22,45	22,62	22,54	454,919	0,265	1,71	1,70	0,02
	2		101,91	103,17	102,54	102,28	101,47	101,88	23,25	23,10	23,18	404,650	0,242	1,67			
	3		97,55	100,37	98,96	114,27	114,03	114,15	24,31	23,90	24,11	464,035	0,272	1,70			
OLr	1	09/05/2024	386,682	96,92	96,07	96,50	105,90	103,64	104,77	23,03	23,08	23,06	387,115	0,233	1,66	1,72	0,05
	2		462,149	104,79	108,64	106,72	108,23	109,72	108,98	22,70	22,05	22,38	463,256	0,260	1,78		
	3		463,240	104,11	102,27	103,19	111,24	113,87	112,56	23,46	23,46	23,46	464,432	0,272	1,70		
CAr	1	09/05/2024	445,885	106,08	108,91	107,50	104,01	109,50	106,76	23,10	23,09	23,10	446,489	0,265	1,68	1,72	0,03
	2		431,218	102,30	101,92	102,11	104,82	105,60	105,21	23,46	23,16	23,31	432,437	0,250	1,73		
	3		480,611	100,29	102,45	101,37	112,09	112,39	112,24	24,07	24,06	24,07	481,969	0,274	1,76		
OGr	1	09/05/2024	460,983	112,11	111,70	111,91	105,25	104,82	105,04	23,21	22,97	23,09	459,824	0,271	1,69	1,69	0,01
	2		467,305	111,86	113,30	112,58	104,19	103,27	103,73	25,15	22,48	23,82	466,191	0,278	1,68		
	3		540,559	110,48	112,66	111,57	113,10	113,94	113,52	24,90	25,55	25,23	539,341	0,319	1,69		
APr	1	09/05/2024	413,487	103,06	100,98	102,02	102,38	100,01	101,20	23,75	23,88	23,82	412,541	0,246	1,68	1,67	0,04
	2		425,528	107,64	105,26	106,45	104,40	104,04	104,22	24,34	22,84	23,59	424,543	0,262	1,62		
	3		407,506	105,35	103,55	104,45	98,86	98,76	98,81	23,20	22,92	23,06	406,790	0,238	1,71		
APGr	1	09/05/2024	402,372	106,20	105,28	105,74	99,51	98,67	99,09	23,07	23,49	23,28	401,521	0,244	1,65	1,66	0,01
	2		418,013	100,41	101,68	101,05	104,83	107,08	105,96	23,55	23,30	23,43	417,188	0,251	1,66		
	3		404,016	102,83	103,49	103,16	100,90	102,53	101,72	22,98	23,01	23,00	402,697	0,241	1,67		
Cr	1	09/05/2024	405,491	105,97	106,32	106,15	105,59	103,82	104,71	23,80	23,22	23,51	405,547	0,261	1,55	1,62	0,05
	2		430,977	112,59	113,55	113,07	102,16	100,65	101,41	23,03	23,28	23,16	431,732	0,265	1,63		
	3		402,054	101,05	100,20	100,63	100,04	99,45	99,75	23,50	23,93	23,72	401,266	0,238	1,69		
OLs	1	09/05/2024	446,677	105,32	104,49	104,91	109,41	112,23	110,82	24,63	22,83	23,73	449,034	0,276	1,63	1,63	0,02
	2		434,030	114,46	111,87	113,17	100,19	100,11	100,15	24,01	23,95	23,98	436,148	0,272	1,60		
	3		488,858	111,55	110,35	110,95	111,97	113,19	112,58	25,27	21,99	23,63	491,158	0,295	1,66		
OGs	1	09/05/2024	448,601	112,57	114,34	113,46	104,18	104,22	104,20	23,78	23,32	23,55	447,682	0,278	1,61	1,64	0,03
	2		442,167	112,14	112,16	112,15	103,05	104,40	103,73	23,17	22,88	23,03	441,529	0,268	1,65		
	3		473,036	108,73	105,13	106,93	114,43	109,20	111,82	23,68	23,38	23,53	471,767	0,281	1,68		
APs	1	09/05/2024	459,195	109,50	106,96	108,23	108,33	108,28	108,31	23,89	23,26	23,58	458,058	0,276	1,66	1,68	0,02
	2		498,399	110,54	110,39	110,47	115,28	115,70	115,49	22,75	23,26	23,01	497,459	0,293	1,69		
	3		448,257	101,94	100,80	101,37	109,70	111,26	110,48	24,11	23,18	23,65	447,497	0,265	1,69		
APGs	1	09/05/2024	450,820	102,26	99,23	100,75	109,58	111,11	110,35	24,01	23,86	23,94	449,990	0,266	1,69	1,66	0,02
	2		468,790	115,95	116,90	116,43	101,36	100,80	101,08	23,01	25,00	24,01	468,007	0,282	1,66		
	3		431,563	100,58	99,72	100,15	106,59	108,82	107,71	24,09	24,73	24,41	430,629	0,263	1,64		

Dureza superficial

Tratamento	Provete	Data do ensaio	Leituras durómetro [Shore A]												Dureza superficial [Shore A]		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Individual	Média	DP
REF	1	09/05/2024	87	88	66	81	86	87	86	79	86	83	84	81	83	82	6
	2		79	89	92	69	87	81	72	76	81	83	69	80	80		
	3		88	86	85	85	80	87	84	81	82	77	82	88	84		
OLr	1	09/05/2024	80	91	83	75	88	84	79	92	89	87	90	86	85	85	5
	2		77	84	89	82	87	86	80	83	86	76	86	82	83		
	3		76	88	74	79	91	92	89	86	91	92	89	82	86		
CAr	1	09/05/2024	83	86	71	87	95	84	80	88	90	69	91	80	84	84	6
	2		75	81	75	80	80	87	82	86	86	90	88	81	83		
	3		87	86	90	76	86	77	88	84	84	92	84	90	85		
OGr	1	09/05/2024	78	71	88	82	90	83	84	84	90	82	87	87	84	82	6
	2		72	75	75	82	84	79	86	81	84	85	81	83	81		
	3		90	68	70	85	85	69	85	82	84	90	90	71	81		
APr	1	09/05/2024	94	84	80	87	94	94	84	84	99	87	80	85	88	83	7
	2		69	75	76	72	68	90	86	85	80	79	90	78	79		
	3		84	91	85	87	84	82	83	75	76	86	75	91	83		
APGr	1	09/05/2024	85	84	85	88	86	73	78	78	82	74	82	89	82	83	6
	2		76	88	85	86	87	79	71	81	87	63	93	83	82		
	3		83	87	78	84	91	83	79	76	83	94	86	83	84		
Cr	1	09/05/2024	82	88	80	95	87	94	86	91	93	68	85	87	86	86	6
	2		86	88	79	89	87	86	84	93	81	89	85	70	85		
	3		87	88	82	90	86	88	85	90	90	95	88	84	88		
OLs	1	09/05/2024	85	91	75	85	83	82	79	88	69	79	85	88	82	85	6
	2		77	86	94	95	81	95	89	93	82	89	84	90	88		
	3		74	90	80	82	87	90	93	91	82	87	81	77	85		
OGs	1	09/05/2024	72	93	90	89	79	85	63	74	83	70	72	76	79	79	8
	2		86	82	82	82	71	86	85	80	78	75	84	88	82		
	3		78	82	66	75	83	76	70	76	80	57	74	92	76		
APs	1	09/05/2024	83	67	91	80	90	78	79	79	86	80	74	63	79	82	8
	2		90	91	85	84	89	74	76	79	88	64	86	71	81		
	3		70	78	79	94	86	91	84	84	85	89	94	82	85		
APGs	1	09/05/2024	73	74	78	83	78	65	81	61	89	86	70	78	76	81	8
	2		86	86	85	79	91	91	81	81	82	87	89	90	86		
	3		88	70	65	88	81	88	72	89	74	79	80	84	80		

Coesão superficial

Tratamento	Provete	Data do ensaio	Massa fita (antes) [g]	Massa fita (depois) [g]	Diferença Massa [g]		
					Individual	Média	DP
REF	1	09/05/2024	0,334	0,385	0,051	0,028	0,017
	2		0,329	0,349	0,020		
	3		0,342	0,354	0,012		
OLr	1	09/05/2024	0,357	0,360	0,003	0,004	0,001
	2		0,345	0,350	0,005		
	3		0,368	0,372	0,004		
CAr	1	09/05/2024	0,326	0,329	0,003	0,004	0,001
	2		0,337	0,342	0,005		
	3		0,336	0,340	0,004		
OGr	1	09/05/2024	0,310	0,365	0,055	0,035	0,014
	2		0,333	0,357	0,024		
	3		0,332	0,359	0,027		
APr	1	09/05/2024	0,346	0,370	0,024	0,030	0,006
	2		0,343	0,381	0,038		
	3		0,330	0,357	0,027		
APGr	1	09/05/2024	0,338	0,380	0,042	0,034	0,005
	2		0,340	0,371	0,031		
	3		0,326	0,356	0,030		
Cr	1	09/05/2024	0,345	0,354	0,009	0,006	0,002
	2		0,328	0,333	0,005		
	3		0,332	0,335	0,003		
OLs	1	09/05/2024	0,325	0,330	0,005	0,005	0,000
	2		0,354	0,359	0,005		
	3		0,314	0,319	0,005		
OGs	1	09/05/2024	0,311	0,334	0,023	0,023	0,000
	2		0,321	0,343	0,022		
	3		0,325	0,348	0,023		
APs	1	09/05/2024	0,303	0,329	0,026	0,021	0,005
	2		0,318	0,341	0,023		
	3		0,326	0,340	0,014		
APGs	1	09/05/2024	0,320	0,363	0,043	0,030	0,009
	2		0,339	0,361	0,022		
	3		0,331	0,356	0,025		

Higroscopicidade

Tempo [h]	REF										
	Massa [g]			Diferença de massa [g]			Adsorção/Desadsorção de vapor de água [g/m ²]				
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Média	DP
0	456,990	406,639	465,774	0	0	0	0	0	0	0	0
1	457,140	406,780	465,947	0,15	0,141	0,173	12,738	13,498	15,315	13,850	1,081
3	457,445	407,084	466,356	0,455	0,445	0,582	38,638	42,599	51,521	44,253	5,388
6	457,605	407,250	466,565	0,615	0,611	0,791	52,226	58,490	70,023	60,246	7,371
12	457,811	407,453	466,767	0,821	0,814	0,993	69,719	77,923	87,905	78,516	7,436
24	457,920	407,517	466,868	0,93	0,878	1,094	78,975	84,049	96,846	86,624	7,519
25	457,818	407,421	466,733	0,828	0,782	0,959	70,314	74,859	84,895	76,689	6,092
27	457,615	407,215	466,467	0,625	0,576	0,693	53,075	55,139	61,348	56,521	3,516
30	457,450	407,037	466,227	0,46	0,398	0,453	39,063	38,100	40,102	39,088	0,817
36	457,263	406,848	466,005	0,273	0,209	0,231	23,183	20,007	20,449	21,213	1,405
48	457,084	406,691	465,833	0,094	0,052	0,059	7,982	4,978	5,223	6,061	1,362

Tempo [h]	OLr										
	Massa [g]			Diferença de massa [g]			Adsorção/Desadsorção de vapor de água [g/m ²]				
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Média	DP
0	389,959	466,121	467,335	0	0	0	0	0	0	0	0
1	390,000	466,176	467,388	0,041	0,055	0,053	4,055	4,729	4,563	4,449	0,287
3	390,124	466,310	467,502	0,165	0,189	0,167	16,321	16,252	14,379	15,650	0,900
6	390,203	466,424	467,594	0,244	0,303	0,259	24,135	26,055	22,300	24,163	1,533
12	390,358	466,611	467,763	0,399	0,49	0,428	39,467	42,135	36,850	39,484	2,158
24	390,503	466,784	467,927	0,544	0,663	0,592	53,809	57,011	50,971	53,930	2,468
25	390,472	466,752	467,889	0,513	0,631	0,554	50,743	54,260	47,699	50,900	2,681
27	390,400	466,656	467,813	0,441	0,535	0,478	43,621	46,005	41,155	43,594	1,980
30	390,312	466,564	467,727	0,353	0,443	0,392	34,917	38,094	33,751	35,587	1,835
36	390,207	466,426	467,627	0,248	0,305	0,292	24,531	26,227	25,141	25,300	0,702
48	390,069	466,253	467,460	0,11	0,132	0,125	10,881	11,351	10,762	10,998	0,254

Tempo [h]	CAr										
	Massa [g]			Diferença de massa [g]			Adsorção/Desadsorção de vapor de água [g/m ²]				
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Média	DP
0	449,129	434,766	484,526	0	0	0	0	0	0	0	0
1	449,187	434,823	484,590	0,058	0,057	0,064	5,054	5,306	5,625	5,328	0,234
3	449,348	434,987	484,758	0,219	0,221	0,232	19,084	20,572	20,391	20,015	0,663
6	449,451	435,116	484,875	0,322	0,35	0,349	28,059	32,579	30,674	30,438	1,853
12	449,620	435,297	485,042	0,491	0,531	0,516	42,786	49,428	45,352	45,855	2,735
24	449,761	435,421	485,208	0,632	0,655	0,682	55,073	60,970	59,941	58,662	2,572
25	449,719	435,365	485,162	0,59	0,599	0,636	51,413	55,757	55,898	54,356	2,082
27	449,614	435,237	485,039	0,485	0,471	0,513	42,263	43,843	45,088	43,731	1,156
30	449,503	435,105	484,924	0,374	0,339	0,398	32,591	31,555	34,980	33,042	1,434
36	449,368	434,963	484,759	0,239	0,197	0,233	20,827	18,338	20,479	19,881	1,101
48	449,206	434,773	484,583	0,077	0,007	0,057	6,710	0,652	5,010	4,124	2,551

Tempo [h]	OGr										
	Massa [g]			Diferença de massa [g]			Adsorção/Desadsorção de vapor de água [g/m ²]				
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Média	DP
0	462,770	469,251	542,329	0	0	0	0	0	0	0	0
1	462,884	469,383	542,456	0,114	0,132	0,127	9,699	11,303	10,027	10,343	0,692
3	463,160	469,707	542,782	0,39	0,456	0,453	33,180	39,048	35,767	35,998	2,401
6	463,312	469,881	542,952	0,542	0,63	0,623	46,112	53,948	49,189	49,750	3,223
12	463,519	470,105	543,198	0,749	0,854	0,869	63,723	73,129	68,612	68,488	3,841
24	463,659	470,208	543,376	0,889	0,957	1,047	75,634	81,950	82,666	80,083	3,160
25	463,572	470,117	543,294	0,802	0,866	0,965	68,232	74,157	76,192	72,860	3,376
27	463,378	469,910	543,076	0,608	0,659	0,747	51,727	56,431	58,979	55,713	3,004
30	463,222	469,760	542,862	0,452	0,509	0,533	38,455	43,587	42,083	41,375	2,154
36	463,044	469,531	542,683	0,274	0,28	0,354	23,311	23,977	27,950	25,079	2,048
48	462,855	469,330	542,463	0,085	0,079	0,134	7,232	6,765	10,580	8,192	1,699

Tempo [h]	APr										
	Massa [g]			Diferença de massa [g]			Adsorção/Desadsorção de vapor de água [g/m ²]				
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Média	DP
0	415,223	427,108	409,102	0	0	0	0	0	0	0	0
1	415,342	427,236	409,227	0,119	0,128	0,125	11,527	11,538	12,112	11,725	0,273
3	415,581	427,525	409,490	0,358	0,417	0,388	34,677	37,587	37,594	36,619	1,374
6	415,694	427,667	409,647	0,471	0,559	0,545	45,622	50,387	52,806	49,605	2,985
12	415,883	427,878	409,877	0,66	0,77	0,775	63,929	69,406	75,092	69,476	4,557
24	415,999	427,968	409,948	0,776	0,86	0,846	75,165	77,518	81,971	78,218	2,822
25	415,913	427,879	409,861	0,69	0,771	0,759	66,835	69,496	73,541	69,957	2,757
27	415,761	427,715	409,656	0,538	0,607	0,554	52,112	54,713	53,679	53,501	1,069
30	415,608	427,523	409,475	0,385	0,415	0,373	37,292	37,407	36,141	36,947	0,572
36	415,479	427,339	409,286	0,256	0,231	0,184	24,797	20,822	17,828	21,149	2,854
48	415,312	427,210	409,151	0,089	0,102	0,049	8,621	9,194	4,748	7,521	1,975

Tempo [h]	APGr										
	Massa [g]			Diferença de massa [g]			Adsorção/Desadsorção de vapor de água [g/m ²]				
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Média	DP
0	404,059	419,810	405,432	0	0	0	0	0	0	0	0
1	404,161	419,916	405,533	0,102	0,106	0,101	9,735	9,901	9,626	9,754	0,113
3	404,403	420,215	405,809	0,344	0,405	0,377	32,831	37,828	35,929	35,530	2,060
6	404,535	420,367	405,942	0,476	0,557	0,51	45,429	52,026	48,604	48,687	2,694
12	404,710	420,560	406,138	0,651	0,75	0,706	62,132	70,053	67,283	66,489	3,282
24	404,814	420,647	406,233	0,755	0,837	0,801	72,057	78,179	76,337	75,524	2,564
25	404,745	420,563	406,148	0,686	0,753	0,716	65,472	70,333	68,236	68,014	1,991
27	404,589	420,367	405,980	0,53	0,557	0,548	50,583	52,026	52,226	51,612	0,732
30	404,452	420,194	405,820	0,393	0,384	0,388	37,508	35,867	36,977	36,784	0,684
36	404,332	420,039	405,645	0,273	0,229	0,213	26,055	21,389	20,299	22,581	2,496
48	404,136	419,865	405,492	0,077	0,055	0,06	7,349	5,137	5,718	6,068	0,936

Tempo [h]	Cr										
	Massa [g]			Diferença de massa [g]			Adsorção/Desadsorção de vapor de água [g/m ²]				
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Média	DP
0	407,831	434,497	403,924	0	0	0	0	0	0	0	0
1	407,950	434,608	404,018	0,119	0,111	0,094	10,707	9,681	9,365	9,918	0,573
3	408,244	434,899	404,278	0,413	0,402	0,354	37,161	35,061	35,270	35,830	0,944
6	408,388	435,071	404,405	0,557	0,574	0,481	50,117	50,062	47,923	49,367	1,021
12	408,575	435,264	404,612	0,744	0,767	0,688	66,943	66,894	68,547	67,462	0,768
24	408,651	435,368	404,709	0,82	0,871	0,785	73,781	75,965	78,212	75,986	1,809
25	408,553	435,282	404,619	0,722	0,785	0,695	64,964	68,464	69,245	67,558	1,862
27	408,389	435,090	404,442	0,558	0,593	0,518	50,207	51,719	51,610	51,179	0,688
30	408,224	434,935	404,302	0,393	0,438	0,378	35,361	38,200	37,661	37,074	1,231
36	408,062	434,751	404,128	0,231	0,254	0,204	20,785	22,153	20,325	21,088	0,776
48	407,895	434,564	403,969	0,064	0,067	0,045	5,759	5,843	4,483	5,362	0,622

Tempo [h]	OLs										
	Massa [g]			Diferença de massa [g]			Adsorção/Desadsorção de vapor de água [g/m ²]				
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Média	DP
0	451,574	438,664	494,176	0	0	0	0	0	0	0	0
1	451,617	438,719	494,247	0,043	0,055	0,071	4,253	4,729	6,113	5,032	0,789
3	451,737	438,860	494,479	0,163	0,196	0,303	16,123	16,854	26,088	19,688	4,535
6	451,822	438,969	494,646	0,248	0,305	0,47	24,531	26,227	40,466	30,408	7,146
12	451,961	439,144	494,904	0,387	0,48	0,728	38,280	41,275	62,680	47,412	10,865
24	452,103	439,312	495,081	0,529	0,648	0,905	52,326	55,721	77,920	61,989	11,350
25	452,072	439,264	495,015	0,498	0,6	0,839	49,259	51,594	72,237	57,697	10,326
27	452,009	439,165	494,842	0,435	0,501	0,666	43,028	43,081	57,342	47,817	6,735
30	451,912	439,055	494,646	0,338	0,391	0,47	33,433	33,622	40,466	35,841	3,272
36	451,824	438,879	494,436	0,25	0,215	0,26	24,729	18,488	22,386	21,867	2,574
48	451,686	438,763	494,295	0,112	0,099	0,119	11,078	8,513	10,246	9,946	1,069

Tempo [h]	OGs										
	Massa [g]			Diferença de massa [g]			Adsorção/Desadsorção de vapor de água [g/m ²]				
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Média	DP
0	450,015	444,462	475,258	0	0	0	0	0	0	0	0
1	450,137	444,591	475,441	0,122	0,129	0,183	10,379	11,046	14,449	11,958	1,782
3	450,431	444,906	475,861	0,416	0,444	0,603	35,392	38,020	47,610	40,341	5,251
6	450,589	445,088	476,060	0,574	0,626	0,802	48,835	53,605	63,322	55,254	6,028
12	450,789	445,293	476,285	0,774	0,831	1,027	65,850	71,160	81,087	72,699	6,315
24	450,921	445,396	476,321	0,906	0,934	1,063	77,081	79,980	83,929	80,330	2,807
25	450,805	445,292	476,174	0,79	0,83	0,916	67,211	71,074	72,323	70,203	2,176
27	450,598	445,057	475,876	0,583	0,595	0,618	49,600	50,951	48,794	49,782	0,890
30	450,430	444,834	475,672	0,415	0,372	0,414	35,307	31,855	32,687	33,283	1,471
36	450,259	444,652	475,440	0,244	0,19	0,182	20,759	16,270	14,370	17,133	2,679
48	450,098	444,509	475,301	0,083	0,047	0,043	7,061	4,025	3,395	4,827	1,601

Tempo [h]	APs										
	Massa [g]			Diferença de massa [g]			Adsorção/Desadsorção de vapor de água [g/m ²]				
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Média	DP
0	461,627	499,963	450,882	0	0	0	0	0	0	0	0
1	461,737	500,103	451,049	0,11	0,14	0,167	10,655	12,619	16,181	13,152	2,287
3	462,040	500,441	451,466	0,413	0,478	0,584	40,004	43,086	56,585	46,558	7,201
6	462,183	500,652	451,648	0,556	0,689	0,766	53,856	62,104	74,220	63,393	8,363
12	462,403	500,861	451,840	0,776	0,898	0,958	75,165	80,943	92,823	82,977	7,351
24	462,524	500,981	451,868	0,897	1,018	0,986	86,886	91,760	95,536	91,394	3,541
25	462,437	500,875	451,740	0,81	0,912	0,858	78,459	82,205	83,134	81,266	2,021
27	462,236	500,621	451,464	0,609	0,658	0,582	58,989	59,310	56,391	58,230	1,307
30	462,070	500,391	451,260	0,443	0,428	0,378	42,910	38,579	36,625	39,371	2,626
36	461,908	500,184	451,095	0,281	0,221	0,213	27,218	19,920	20,638	22,592	3,284
48	461,725	500,034	450,941	0,098	0,071	0,059	9,493	6,400	5,717	7,203	1,643

Tempo [h]	APGs											
	Massa [g]			Diferença de massa [g]			Adsorção/Desadsorção de vapor de água [g/m ²]					
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Média	DP	
0	453,457	471,695	433,677	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	453,567	471,813	433,804	0,11	0,118	0,127	10,498	11,022	12,103	11,208	0,668	0,668
3	453,845	472,109	434,185	0,388	0,414	0,508	37,031	38,669	48,414	41,371	5,024	5,024
6	454,000	472,264	434,344	0,543	0,569	0,667	51,824	53,147	63,567	56,179	5,252	5,252
12	454,195	472,478	434,565	0,738	0,783	0,888	70,435	73,135	84,628	76,066	6,154	6,154
24	454,322	472,603	434,638	0,865	0,908	0,961	82,556	84,810	91,586	86,317	3,837	3,837
25	454,235	472,516	434,520	0,778	0,821	0,843	74,252	76,684	80,340	77,092	2,502	2,502
27	454,063	472,328	434,294	0,606	0,633	0,617	57,837	59,124	58,802	58,588	0,547	0,547
30	453,919	472,166	434,086	0,462	0,471	0,409	44,093	43,993	38,979	42,355	2,388	2,388
36	453,747	471,992	433,915	0,29	0,297	0,238	27,678	27,741	22,682	26,033	2,370	2,370
48	453,550	471,793	433,742	0,093	0,098	0,065	8,876	9,154	6,195	8,075	1,334	1,334

Resistência à abrasão

Tratamento	Provete	Massa antes [g]	Massa depois [g]	Diferença de massas [g]		
				Individual	Média	DP
REF	1	457,628	455,989	1,639	0,826	0,607
	2	407,163	406,503	0,660		
	3	466,670	466,491	0,179		
OLr	1	390,418	390,385	0,033	0,033	0,001
	2	466,649	466,615	0,034		
	3	467,790	467,758	0,032		
CAr	1	449,490	449,452	0,038	0,045	0,007
	2	434,984	434,929	0,055		
	3	484,651	484,610	0,041		
OGr	1	463,393	462,871	0,522	0,405	0,084
	2	469,879	469,546	0,333		
	3	542,962	542,603	0,359		
APr	1	415,739	415,413	0,326	0,332	0,019
	2	427,703	427,345	0,358		
	3	409,590	409,277	0,313		
APGr	1	404,615	404,407	0,208	0,276	0,052
	2	420,368	420,033	0,335		
	3	405,901	405,616	0,285		
Cr	1	408,405	408,319	0,086	0,079	0,006
	2	435,091	435,012	0,079		
	3	404,388	404,317	0,071		
OLs	1	451,968	451,918	0,050	0,039	0,009
	2	439,082	439,043	0,039		
	3	494,597	494,569	0,028		
OGs	1	450,614	450,351	0,263	0,371	0,092
	2	445,042	444,678	0,364		
	3	475,853	475,366	0,487		
APs	1	462,257	461,884	0,373	0,410	0,027
	2	500,625	500,193	0,432		
	3	451,429	451,003	0,426		
APGs	1	454,068	453,338	0,730	0,437	0,207
	2	472,305	472,021	0,284		
	3	434,220	433,924	0,296		

Resistência à erosão por gotejamento

Tratamento	Provete	Massa antes [g]	Massa depois [g]	Diferença de massas [g]		
				Individual	Média	DP
REF	1	455,603	453,433	2,170	1,758	0,400
	2	406,155	404,268	1,887		
	3	466,164	464,947	1,217		
OLr	1	390,104	390,029	0,075	0,093	0,017
	2	466,282	466,194	0,088		
	3	467,471	467,356	0,115		
CAr	1	449,128	449,026	0,102	0,112	0,010
	2	434,625	434,516	0,109		
	3	484,325	484,200	0,125		
OGr	1	462,507	456,835	5,672	3,759	1,589
	2	469,161	465,339	3,822		
	3	542,232	540,450	1,782		
APr	1	415,102	412,624	2,478	2,581	0,852
	2	427,030	425,437	1,593		
	3	409,007	405,334	3,673		
APGr	1	404,107	399,122	4,985	2,599	1,687
	2	419,728	418,303	1,425		
	3	405,358	403,971	1,387		
Cr	1	408,025	407,975	0,050	0,040	0,014
	2	434,700	434,650	0,050		
	3	404,064	404,044	0,020		
OLs	1	451,634	451,514	0,120	0,124	0,004
	2	438,763	438,642	0,121		
	3	494,266	494,136	0,130		
OGs	1	450,042	447,704	2,338	2,494	0,576
	2	444,349	442,470	1,879		
	3	475,058	471,793	3,265		
APs	1	461,558	459,099	2,459	3,511	1,077
	2	499,833	494,842	4,991		
	3	450,713	447,629	3,084		
APGs	1	453,016	449,339	3,677	4,374	0,493
	2	471,679	466,939	4,740		
	3	433,648	428,944	4,704		



2024

RICARDO NUNO
CORREIA MOURA

SUPERFICIAIS PARA REBOCOS DE TERRA