

Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Ana Rita da Silva Passos

Desenvolvimento de argamassa/betão à base de terra crua para revestimento de pisos

Janeiro de 2022



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Ana Rita da Silva Passos

**Desenvolvimento de argamassa/betão à
base de Terra Crua para Revestimento
de Pisos**

Dissertação de Mestrado em Construção e Reabilitação
Sustentáveis

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Rute Eires

Janeiro de 2022

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho simboliza o culminar de, provavelmente, a etapa mais importante da minha vida, tanto a nível académico como pessoal.

Gostaria de agradecer à minha orientadora, a Professora Rute Eires, por toda a disponibilidade e ensinamentos ao longo destes meses.

Às equipas de laboratório de Geotecnia e de Materiais, por me receberem e por toda a disponibilidade, em especial ao engenheiro Carlos Jesus e ao senhor José Gonçalves.

À minha turma de mestrado, em especial à Juliana Nina, à Luclécia Silva, ao Rafael Sabino e ao Jia Zhiyou, amigos que em pouco tempo se tornaram especiais e que tornaram os momentos da faculdade melhores.

Agradeço aos meus pais e à minha irmã gémea – Rui Passos, Ana Passos e

Adriana Passos – por estarem sempre presentes, que sempre me incentivam a querer ser melhor, por todo o apoio ao longo da minha vida e por possibilitarem a minha formação académica.

Ao meu companheiro, Miguel Moreira, por toda a ajuda e apoio incondicional.

Dedico este trabalho a vocês, que sempre acreditaram em mim e nas minhas capacidades.

A toda a minha família, com quem posso sempre contar.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram neste meu percurso.

Muito Obrigada.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

As várias técnicas e usos da terra estão espalhados por todo o mundo, com especial incidência nos países com clima seco ou temperado, apesar de, atualmente, o uso da terra na construção enfrentar a preferência por materiais industrializados aliados ao preconceito referente ao uso deste material, muitas vezes associado a um material pobre e de fraca resistência e durabilidade.

Apesar disso, a procura de soluções sustentáveis geradas por um aumento da consciência relativamente às questões ambientais e energéticas incita um interesse na construção sustentável, nomeadamente a construção com terra, que patenteia de imensas vantagens como a facilidade de aquisição deste produto abundante e normalmente disponível localmente, a possibilidade de reutilização do material e a acessibilidade económica, a vantagem do uso deste material viabilizar um baixo impacto ambiental durante e após a construção e os benefícios a nível de conforto térmico e acústico que o uso do material, principalmente no interior, possibilita.

Este estudo é essencialmente de caráter experimental e o principal objetivo é desenvolver uma argamassa para pisos, com requisitos de betonilha. Deste modo, pretende-se obter uma argamassa com boa resistência mecânica e simultaneamente resistente à ação da água, para aplicação como revestimento de pisos.

Para a manufatura desta argamassa foi analisada a influência dos aditivos e ligantes no estado fresco, através da consistência e abaixamento por espalhamento para atingir a trabalhabilidade fixada. No estado endurecido, as argamassas produzidas testadas às resistências mecânicas, nomeadamente na resistência à tração na flexão e compressão, e nas resistências face à ação da água no estado líquido, nomeadamente na absorção de água por capilaridade e por imersão, absorção da gota de água e na erosão acelerada por jato de água. Constatou-se que a adição de cal, comparativamente ao cimento, mostrou melhores resistências nomeadamente aos 28, 60 e 90 dias de idade. A adição de borato de sódio, para além de atuar como um antifúngico, devido ao uso do amido de batata líquido, permitiu atingir os resultados fixados para o abaixamento. A adição de fibras diminuiu a fluidez da argamassa, no entanto causou um incremento da força de ligação da mistura.

De um modo geral, a argamassa mais satisfatória foi a AREF.F4 composta por solo com caulino, borato de sódio, amido de batata líquido, cal aérea viva e fibras de papel reciclado.

PALAVRAS-CHAVE

Argamassa de terra; Betão de terra; Construção com terra; Estabilização do solo.

ABSTRACT

All around the globe we can observe several building techniques with soil, especially in countries with dry and temperate climate. Although, nowadays, all these techniques fight against the prejudice and preference of more industrialized materials, and are multiple times named a weak and low durability.

Although, fortunately, the search for more green and sustainable ways of construction, mostly due to the increase in environmental concern, is raising the interest in sustainable construction, especially in the usage of soil. This material represents several advantages such as the easiness of purchasing this product, abundant and normally available locally; the possibility of reusing the material and its economic accessibility; the advantage of being a low environmental impact material during and after construction and the benefits in terms of thermal and acoustic comfort, especially in the interior.

This type of construction, brings to the table a large number of benefits, such as, the abundance of the material and the way it can be acquired locally it is a more economical option, and when this materials are used, they result in a construction that provides both thermal and acoustic comfort.

The presente dissertation is an experimental study seeking to develop a mortar for floors, with requirements of screed. Fundamentally the purpose is to obtain a mortar with good mechanical resistance and at the same time resistant to the action of water, for application as a floor covering.

For the preparation of this mortar, the impact of additives and binders in the fresh state was analyzed, through consistency and lowering by spreading in order achieve the fixed workability.

In the hardened state, the produced mortars were tested for mechanical strength, specially in the tensile strength in bending and compression, and in strengths against the action of water in the liquid state, in the absorption of water by capillary action and by immersion, absorption of the drop of water and in water jet accelerated erosion. As a result, it was found that the addition of lime, compared to cement, showed better resistance, notably at 28,60 and 90 days of age.

The addition of sodium borate besides working as na antifungal due to the use of potato starch, allowed fixed results for lowering. The addition of fibers decreased the fluidity of the mortar, however it caused an increase in the bond strength of the mixture.

Overall, the most satisfactory mortar makes AREF.F4 composed of soil with kaolin, sodium borate, liquid potato starch, quick lime and recycled paper fibers.

KEYWORDS

Earth mortar; Earth concrete; Construction with earth; Soil stabilization.

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas	xiii
1. Introdução	2
1.1. Enquadramento.....	2
1.2. Objetivos e metodologia.....	2
1.3. Organização do documento	3
2. O uso de terra crua na construção	6
2.1. Introdução.....	6
2.2. Dificuldades e desafios	8
2.3. Sustentabilidade e ecologia.....	10
2.4. Composição	12
2.5. Vantagens	13
2.6. Técnicas Construtivas.....	14
2.6.1. Monolítica.....	15
2.6.2. Unidades ou alvenarias	16
2.6.3. Enchimento e revestimento de estruturas.....	17
2.7. Argamassas de Terra.....	17
2.8. Terra para Pisos	18
2.8.1. Origem dos pisos de terra	18
2.8.2. Pisos tradicionais de terra e palha.....	19
2.8.3. Acabamentos.....	20
2.8.4. Vantagens e desvantagens	21
2.8.5. Estudos recentes	22
3. Caracterização do solo	24

3.1.	Ensaio de Campo.....	24
3.2.	Ensaio de Laboratório	25
3.3.	Propriedades e Classificações.....	27
3.4.	Estabilização do Solo	29
3.4.1.	Estabilização com cimento	30
3.4.2.	Estabilização com cal.....	30
3.4.3.	Outras adições.....	31
4.	Materiais utilizados	34
4.1.	Introdução.....	34
4.2.	Solo	34
4.2.1.	Caracterização segundo os ensaios de campo.....	34
4.2.2.	Caracterização segundo os ensaios de laboratório	35
4.2.3.	Caulino.....	38
4.2.4.	Brita	38
4.3.	Ligantes	39
4.3.1.	Cimento.....	39
4.3.2.	Cal aérea viva	39
4.3.3.	Cal hidratada	39
4.3.4.	Cal hidráulica natural	40
4.4.	Aditivos	40
4.4.1.	Amido de milho.....	40
4.4.2.	Bicarbonato de sódio	40
4.4.3.	Cloreto de sódio.....	40
4.4.4.	Borato de sódio.....	40
4.4.5.	Amido de batata líquido	40
4.5.	Fibras.....	41
4.5.1.	Fibras de papel	41
4.6.	Revestimentos	41
4.6.1.	Água com sabão de olívia.....	41

4.6.2.	Acabamento tradicional de cera de abelha e resina de pinheiro	42
4.6.3.	Óleo vegetal	42
5.	Composições estudadas	45
5.1.	Introdução	45
5.3.	Introdução de Aditivos	47
5.4.	Introdução de Ligantes	48
5.5.	Introdução de fibras.....	49
5.6.	Introdução de aglomerantes.....	49
5.7.	Estudo de acabamentos	49
6.	Preparação de amostras, métodos e ensaios realizados	52
6.1.	Considerações iniciais	52
6.2.	Preparação de argamassas.....	52
6.3.	Preparação de Provetes	53
6.3.1.	Provetes prismáticos	53
6.3.2.	Provete quadrangular para simulação de piso.....	53
6.4.	Normas e procedimento de ensaios	54
6.4.1.	Consistência por espalhamento.....	55
6.4.2.	Resistência à tração na flexão e na compressão	56
6.4.3.	Absorção de água por capilaridade.....	58
6.4.4.	Absorção de água por imersão	59
6.4.5.	Absorção de gota de água	59
6.4.6.	Erosão acelerada por jato de água- Simulação de chuva	60
7.	Apresentação e discussão de resultados	63
7.1.	Abaixamento por espalhamento	63
7.2.	Resistência à flexão e compressão	65
7.3.	Absorção de água por capilaridade	69
7.4.	Absorção de água por imersão.....	70
7.5.	Placa de simulação de piso.....	71
7.5.1.	Absorção da gota de água	72
7.5.2.	Erosão acelerado por jato de água.....	73

8. Conclusões	76
9. Referências Bibliográficas	78
Apêndice 1 – Resultados do ensaio de compressão simples	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Metodologia para preparação de amostras.....	3
Figura 2- Construções em Terra. 1. Aldeia de Ait-Bem-Haddou, Marrocos. 2. Cidade de Chan Chan, Peru. 3. Cidade de Shibani, Iêmen.....	6
Figura 4- 1. Castelo de Paderne, Albufeira, Portugal 2. Castelo de Silves, Algarve, Portugal.....	7
Figura 5- Demonstração de várias construções em adobe no distrito de Aveiro.....	8
Figura 6- Granulometria de solos: 1- solo argiloso 2- solo siltoso 3- solo arenoso	13
Figura 7- Diagrama de classificação de sistemas construtivos	14
Figura 8- Construções em Taipa. 1- Casa Ajiji, Estado de Jalisco, México, 2010. 2- Museu de Arte, SanBaoPeng, China, 2017. 3- Muralha da Austrália, North West, Austrália, 2015 Fonte: ArchDaily..	15
Figura 9- Demonstração de betão de terra autonívelante com estabilização com cal, Coreira	22
Figura 10- Influência de vários aditivos na contração, força de ligação e resistência à compressão e flexão	32
Figura 11- Solo utilizado, proveniente da região do Minho.....	34
Figura 12- Peneiros utilizados na granulometria. 1- Granulometria dos grossos (peneiro de 2,00mm a 12,50mm. 2- Granulometria dos finos (peneiro de 75 mic a 850 mic)	36
Figura 13- Agitador elétrico	36
Figura 14- Procedimentos do ensaio de sedimentação.....	36
Figura 15- Gráfico de granulometria, obtido através do ensaio de granulometria por peneiração húmida	37
Figura 16- Procedimentos do ensaio de azul metileno.....	38
Figura 17- Fibras de papel reciclado utilizado	41
Figura 18- Cera de sabão de azeite	42
Figura 19- Verniz de cera de abelha	42
Figura 20- Óleo vegetal	43
Figura 21- Metodologia para obtenção da composição da argamassa	46
Figura 22- Misturadora mecânica do Laboratório de Materiais de Construção da UM.	52
Figura 23- Procedimento de preenchimento e desmoldagem de provetes prismáticos	53
Figura 24- Procedimento de enchimento de molde quadrangular com a argamassa inferior	54
Figura 25- Procedimento de enchimento de molde quadrangular com a argamassa final	54

Figura 26- Procedimento do ensaio de espalhamento	55
Figura 27- Realização de ensaio de resistência à tração na flexão, na LLOYD.	56
Figura 28- Prismas partidos no ensaio de tração na flexão	57
Figura 29- Realização de ensaio de resistência à compressão	57
Figura 30- Procedimento da realização do ensaio de absorção de água por capilaridade	58
Figura 31- Ensaio de absorção de água por imersão	59
Figura 33- Demonstração dos revestimentos aplicados	60
Figura 33- 1. Polimento com pedra 2. Procedimento de ensaio de absorção de gota de água.....	60
Figura 34- Procedimento de ensaio de erosão acelerada por jato de água em tanque simulador de chuva.	61
Figura 35- Espalhamento obtido na mistura 16.	64
Figura 36- Efeito da adição dos ligantes na compressão e flexão, aos 7 dias	66
Figura 37- Resultados obtidos no ensaio de compressão	67
Figura 38- Influência da adição de fibras e brita na compressão e flexão aos 7 dias	68
Figura 39- Influência da adição de fibras na resistência à compressão. 1. Argamassa sem fibras. 2. Argamassa com fibras	68
Figura 40- Absorção de água por capilaridade dos 4 provetes	69
Figura 41- Coeficiente de absorção de água por capilaridade nas argamassas AREF.F4 e AREF.F2.BR16.5, em kg/ (m ² . √min)	70
Figura 42- Absorção de água por imersão, em percentagens	71
Figura 43- Aspeto da argamassa sem acabamentos	71
Figura 44- Exposição dos acabamentos utilizados.....	72
Figura 45- Aspeto da argamassa após polida com pedra (14dias)	72
Figura 46- Absorção da gota de água	73
Figura 47- Erosão após ensaio de jato de água.....	74

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Uso de energia em meios de transporte comuns (adaptado de Schroeder, 2016)	11
Tabela 2- Intensidade de energia primária para alguns materiais de construção (adaptado de Schroeder, 2016)	11
Tabela 3- Limites de consistência (adaptado de Doat et al., 1979)	28
Tabela 4- Classificação de plasticidade de um solo. (adaptado de Doat et al., 1979)	28
Tabela 5- Classificação da atividade de uma argila (adaptado de Doat et al., 1979).....	28
Tabela 6- Classificação do solo (adaptado de Doat et al., 1979).....	28
Tabela 7- Materiais utilizados na estabilização de argamassas e outros elementos da construção de terra. (adaptado de Carreira et al., 2021)	29
Tabela 8- Efeitos principais de estabilização de argamassas com baixos teores. (adaptado de Carreira et al. 2021)	31
Tabela 9- Listagem de composições testadas (solo com aditivos)	47
Tabela 10- Listagem de composições testadas (solo com aditivos e ligantes)	48
Tabela 11- Listagem de composições testadas (solo com aditivos, ligantes e fibras)	49
Tabela 12- Listagem de composições testadas (solo com aditivos, ligantes, fibras e agregados)	49
Tabela 13- Resultados obtidos no ensaio de espalhamento, em mm	63
Tabela 14- Resultados obtidos no ensaio de absorção da gota de água, em segundos (s).....	72
Tabela 15- Registo fotográfico da erosão do material	73
Tabela 16- Resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão, em MPa	81

CAPÍTULO I- Introdução

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A preocupação e procura por materiais e soluções construtivas capazes de tornar uma construção mais sustentável tem vindo a evidenciar-se. A terra como material de construção apresenta vantagens económicas, pois é um material bastante acessível em qualquer parte do mundo, e ecológicas, uma vez que é uma matéria-prima abundante que não necessita de processos de transformação dispendiosos. Para além disso, é reutilizável, reciclável e muito versátil, o que se reflete nas várias aplicações e técnicas construtivas que possibilita. Para além destas vantagens, a terra também é benéfica quando utilizada no interior, devido à sua capacidade de equilibrar a humidade dos interiores e de armazenar calor de forma passiva, evitando grandes oscilações de temperatura (Minke, 2006). Deste modo, a realização de pisos em terra crua poderá ser uma vantagem no interior dos edifícios. Um dos principais desafios na construção em terra é obter um material com boa resistência mecânica e ser simultaneamente resistente à água para a fácil aplicação em revestimento de pisos. Além disso, é importante que se possa preparar em obra sem necessidade de adquirir um produto pronto a usar e importado, como atualmente se verifica em Portugal.

1.2. Objetivos e metodologia

O principal objetivo é desenvolver uma argamassa/betão à base de terra crua para revestimento de pisos resistente mecanicamente e durável. O foco principal será a pesquisa de aditivos ou selantes que podem ser utilizados para obter as propriedades desejadas e testá-las em laboratório. A sua realização divide-se em três fases.

i. Fase Teórica

- a) Recolha de referências bibliográficas, que consiste em definir as características específicas do material, a sua história e pontos frágeis e inconvenientes do seu uso;
- b) Análise de possibilidades de otimização da argamassa, através de aditivos ou tratamentos especiais, com base nos constrangimentos do material.
- c) Análise de possíveis acabamentos.

ii. Fase Prática

- a) Caracterização do solo a utilizar;
- b) Preparação de amostras;
- c) Realização de ensaios mecânicos;

d) Realização de ensaios de durabilidade.

iii. Análise de resultados.

Para a preparação das amostras seguiu-se a seguinte metodologia:

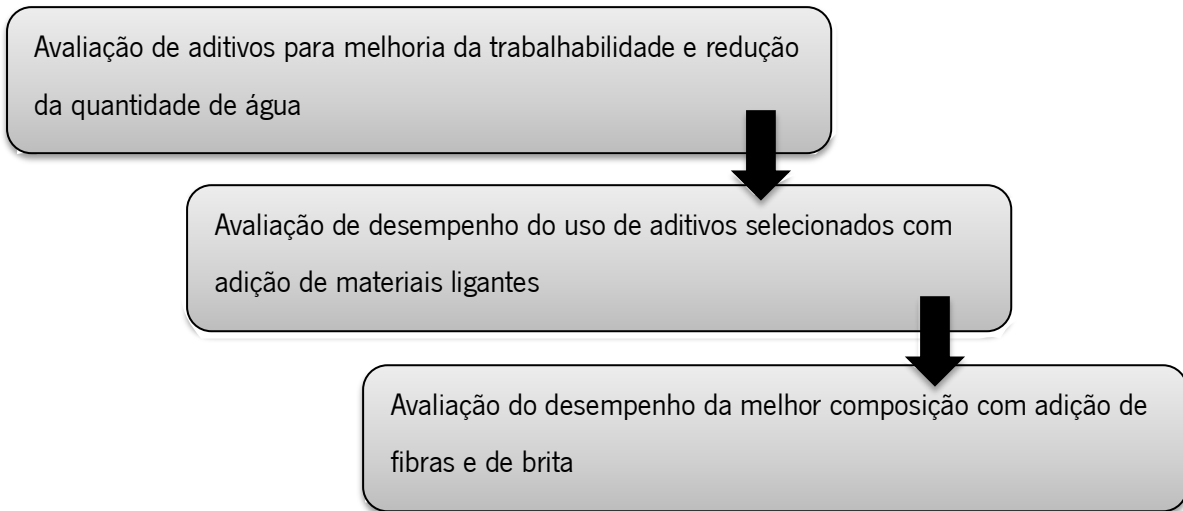


Figura 1- Metodologia para preparação de amostras

1.3. Organização do documento

O documento está dividido em três partes: a primeira parte é destinada à análise bibliográfica e síntese de conhecimentos, segunda parte destinada à prática de investigação laboratorial e a terceira e última parte uma análise e discussão dos resultados obtidos.

1.º Capítulo- É realizado um enquadramento e motivação do tema, bem como, uma metodologia e objetivos pretendidos neste estudo.

2.º Capítulo- Síntese de conhecimentos, onde o tema “Terra ou Solo” é abordado e são descritas a história do uso deste material, as técnicas construtivas, propriedades e composições, a sustentabilidade e ecologia associadas ao uso do material e por fim, uma abordagem ao uso deste material como argamassa e o uso do mesmo para revestimento de pisos.

3.º Capítulo- Realização uma pesquisa sobre os ensaios utilizados para a caracterização do solo e posteriormente uma revisão à prática de estabilização do mesmo.

4.º Capítulo- Apresentação de todos os materiais utilizados, com foco principal na caracterização do solo.

5.º Capítulo- Introdução para a fase laboral, onde são estudadas as misturas de argamassas a testar, começando inicialmente por misturas simples, sem ligantes ou fibras, adicionando estes conforme os resultados obtidos numa primeira fase de ensaios às misturas simples.

6º. Capítulo- Descrição os procedimentos de ensaios, entre eles a preparação de amostras e uma explicação de todos os ensaios realizados.

7º. Capítulo- Apresentação dos resultados consequentes do capítulo anterior e é realizada uma análise e discussão.

8º. Capítulo- Descrição das conclusões do estudo, bem como perspectivas futuras.

CAPÍTULO II- O uso de terra crua na construção

2. O USO DE TERRA CRUA NA CONSTRUÇÃO

2.1. Introdução

Durante séculos, as casas e abrigos foram construídos com materiais de construção disponíveis, de acordo com Champirre (2017). Em climas secos ou temperados o material de construção mais comum era o solo.

A terra é um material de construção milenar usado em todo o mundo e segundo Minke G. (2006), há conhecimentos de técnicas de construção em terra há mais de 5000 anos.

Estima-se que cerca de 30 a 50% da população, aproximadamente 3 bilhões de pessoas, vivem atualmente em habitações construídas com as diversas técnicas conhecidas. Existe uma série de edifícios construídos com terra, em várias regiões do mundo, que demonstram a impressionante versatilidade da arquitetura em terra e os possíveis usos deste material de construção (Bravo, 2010).

Em tempos, a terra era frequentemente utilizada na construção de edifícios e monumentos por todo o mundo. Na América, antes da colonização europeia, foram construídas habitações, templos e outras edificações com terra. A aldeia de Ait-Bem-Haddou (fig. 2.1), em Marrocos, a mesquita de Djenné, no Mali, a cidade de Chan Chan (fig. 2.2), no Peru e a antiga cidade de Shibam (fig. 2.3), no Iêmen, são exemplos de grandes construções, todas classificadas como património mundial pela UNESCO, cuja terra é o material de construção predominante (Gonçalves & Gomes, 2012).



Figura 2- Construções em Terra. 1. Aldeia de Ait-Bem-Haddou, Marrocos. 2. Cidade de Chan Chan, Peru. 3. Cidade de Shibam, Iêmen

Fonte: flickr.com

A grande Muralha da China, cuja construção iniciou há aproximadamente três mil anos, apresenta troços bastante extensos construídos em taipa, mais tarde revestidos com alvenaria de pedra (Torgal e Jalali, 2010).

Na Europa, destacam-se atualmente, a França, a Alemanha e a Bélgica com a construção em terra (Ponte, 2012); o edifício mais alto da Europa com paredes em terra (fig. 3) está situado em Weilburg, na Alemanha e foi construído no ano de 1828; em França, no centro histórico de Lyon, cidade classificada como Património Mundial da UNESCO, existem vários edifícios construídos em taipa (não estabilizada) com cinco andares.



Figura 3- Edifício construído em taipa mais alto da Europa, em Weilburg, Alemanha (fonte: [Destino local](#) [Maior edifício de terra na Alemanha em Weilburg - DOATRIP.de](#), 2012)

Em Portugal, o Castelo de Silves e o Castelo de Paderne, ambos em Faro e o Castelo de Alcácer do Sal, em Setúbal são alguns exemplos de património histórico que comprovam a tradição da construção em terra no País, para além do diverso património edificado. De acordo com Bravo (2017) é na zona Sul de Portugal, mais especificamente na região do Algarve e Alentejo, que encontramos maior incidência de construção em terra, principalmente a técnica da taipa.



*Figura 4. 1. Castelo de Paderne, Albufeira, Portugal 2. Castelo de Silves, Algarve, Portugal
fonte: [nationalgeographic.pt](#)*

De acordo com Gomes & Gonçalves (2012), no distrito de Aveiro, cerca de 30% a 35% dos edifícios estão construídos com a técnica do adobe e na vila de Mértola, representativa do sul de Portugal, a técnica da taipa foi predominante até aos anos 50 do século XX. Varum et al, (2011) apresentam uma colecção de imagens que comprovam a disseminação da técnica do adobe, no distrito de Aveiro.



Figura 5- Demonstração de várias construções em adobe no distrito de Aveiro (adaptado de (Varum et al., 2011).

2.2. Dificuldades e desafios

A construção em terra, que em tempos foi amplamente utilizada, nos dias de hoje, sofre com a tendência a favorecer tecnologias mais recentes. Apesar das inúmeras vantagens que este material pode acrescentar a uma construção, existem inconvenientes e anomalias que necessitam de ser estudadas e reformadas.

A terra é um material de construção não normalizado, cuja composição depende das suas características geológicas e climáticas da região, podendo variar a nível de composição, resistência mecânica, comportamento, cor e textura. Para além de que, nem toda a terra disponível localmente pode ser utilizada de forma conveniente na construção e o seu transporte, no caso de longas distâncias, pode desvirtuar a sua utilização, resultado do incremento da energia incorporada na solução (Ferreira 2015).

Normalmente associado a um material empoeirado e mecanicamente fraco, para além das capacidades subestimadas existem alguns obstáculos que retardam o uso da terra em grande escala. A falta de legislação aliada à falta de profissionais habilitados em técnicas de construção com terra crua e a necessidade de mão-de-obra significativa, principalmente nos países industrializados (Itulamy, 2019). Apesar do uso de técnicas de construção conhecidas, há uma necessidade de adaptar as técnicas tradicionais às exigências atuais. Já foram testadas e comprovadas as inúmeras capacidades da terra, porém a resistência à ação da água continua a ser testada e estudada.

Ferreira (2015) considera este material como um recurso natural inesgotável por ser abundante e reutilizável. Isto contribui para que a sua utilização seja uma prática sustentável.

Apesar do preconceito, em países desenvolvidos como Alemanha, França e Bélgica encontram-se várias empresas de eco construção e construção sustentável, onde a terra é incorporada de várias maneiras na produção de materiais de construção.

Vários autores incentivam ao uso deste material de construção e apontam as várias vantagens do seu uso. No caso de Minke G. (2006), este indica três desvantagens do uso deste material; entre elas o facto de não ser um material de construção totalmente normalizado, de encolher quando seco e a falta de resistência à ação da água. Porém, apresenta vantagens relativas ao uso deste material, entre elas: a capacidade de controlar a humidade do ar e de armazenar calor, o facto do uso deste material reduzir a poluição ambiental e energia e ter capacidade para absorver poluentes (dissolvidos em água) e é um material que pode sempre ser reutilizado (salvo quando estabilizada). Ponte M. (2012) descreve o solo como um material ecológico, económico, resistente ao fogo e capaz de promover o conforto interior de um edifício, seja ao nível térmico, como acústico e hidrocópico. Torgal & Jalali (2009) consideram o solo um material que se caracteriza por baixos consumos de energia e de emissões de carbono, por estar associada a baixos ou quase nulos níveis de poluição e ainda por ser responsável por níveis de humidade interior benéficos em termos de saúde humana. Porém, indicam algumas condições que precisam de ser cumpridas no sentido de alterar a mentalidade e preconceito por parte da população em relação ao uso deste material na construção, entre eles, a falta de trabalhadores qualificados, tanto na construção como na reconstrução de edifícios em terra; a ausência de instituições que formem profissionais de construção em terra; e o facto de a construção em terra estar associada às camadas populacionais com menos recursos económicos.

2.3. Sustentabilidade e ecologia

Ao longo dos anos, o conceito de sustentabilidade tem-se tornado um tema dominante na arquitetura, segundo Torgal F. et al. (2009), foi a partir da Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente (1972), em Estocolmo, que as preocupações ambientais começaram a ganhar algum relevo. No entanto, é em 1987, que a sociedade atual adquire uma perspectiva mais incisiva a partir da publicação do Relatório “*Our Common Future*” mais mediatizado como relatório Bruntland (1987), e onde pela primeira vez aparece consignada a expressão do desenvolvimento sustentável, como aquele que "permite satisfazer as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras satisfazerem as suas" (Torgal et al, 2009).

A construção com terra é uma alternativa sustentável às construções convencionais e pode ser uma das respostas para questões relacionadas com a ecologia e sustentabilidade dos edifícios. Visto que, a terra é um produto abundante a nível mundial e maioritariamente local, que pode ser obtido numa construção, no momento das escavações. Roa G. (2011), define um material sustentável como um material de fácil substituição na natureza, que não possui agentes químicos artificiais que podem prejudicar a saúde e de fácil acesso tanto pela abundância no ambiente onde a construção será realizada, como devido aos custos económicos da sua construção, produção ou extração e totalmente reciclável. Neste caso, o uso da terra na construção oferece significativas vantagens ambientais devido a ser um material reutilizável, não combustível, que pode facilmente ser devolvido ao ambiente, quando não processado ou estabilizado, e viabiliza um baixo impacto ambiental durante e após uma construção (Borges & Colombo). Quando as características de um solo não forem as pretendidas para um determinado uso, podem ser misturados outros elementos naturais, como a palha, gesso ou cal (Roa G. 2011).

Outros fatores reafirmam a sustentabilidade do uso da terra na construção, como a acessibilidade económica do material, os benefícios a nível de conforto térmico e acústico e a capacidade de regular a humidade interior por ser um material inerte.

Segundo TERA-TERRE o impacto da terra sobre os gases de efeito estufa é um dos mais baixos do mundo da construção e as vantagens ambientais do uso da terra na construção são um dos pontos mais importantes da investigação no tema da construção com terra crua (Gomes & Gonçalves). No entanto, estas vantagens podem diferir dependendo da empregabilidade do material, a escolha dos diversos sistemas construtivos e, no caso da opção pela incorporação de estabilizantes no material, particularmente cimento, esta prática afetará a sustentabilidade e “reciclabilidade” do material. Posto isto, e face ao panorama atual é frequente a comparação da construção com terra face a outros métodos construtivos e outros materiais industrializados, em relação à energia incorporada da industrialização

destes materiais e às emissões de CO₂. Schroeder, H. (2016) compara a intensidade de energia primária (PEI) de diversos materiais de construção; este indicador contabiliza o gasto de energia necessário para a produção de materiais de construção, incluindo a produção e o transporte dos materiais de origem (tabelas 1 e 2). O autor aponta para a importância deste indicador, visto que, a construção moderna em terra, no entanto, é amplamente mecanizada e caracterizada pela separação física da produção de material de construção e uso do produto na construção local. Isso leva automaticamente ao consumo de energia e transporte.

Tabela 1- Uso de energia em meios de transporte comuns (adaptado de Schroeder, 2016)

MEIO DE TRANSPORTE	PEI [KWH/TKM]
Ferroviários	0.43
Carro ligeiro (Europa Ocidental)	1.43
Camião (40 toneladas métricas)	0.72
Camião (28 toneladas métricas)	1.00
Camião (16 toneladas métricas)	1.45
Van (<3.5 toneladas métricas)	3.10
Navio de carga (canais)	0.04
Navio de carga (marítimo)	0.27

Tabela 2- Intensidade de energia primária para alguns materiais de construção (adaptado de Schroeder, 2016)

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	PEI [KWH/M³]
Terra	0-30
Painéis de palha	5
Madeira	300
Produtos derivados de madeira	800-1500
Tijolos cozidos	500-900
Cimento	1700
Betão convencional	450-500
Tijolos silico-calcários	350
Fibra de vidro	15 000
Aço	63 000
Alumínio	19 500
Polietileno PE	7600-13 100
PVC	13 000

De acordo com Schroeder (2016), em termos de PEI, os materiais de construção de terra ainda são incomparáveis aos principais materiais de construção convencionais e isso mantém-se mesmo quando são usados aditivos com uma alta energia incorporada.

2.4. Composição

O solo é proveniente de um processo longo de deterioração de rochas e da evolução física, química e biológica das mesmas e, dependendo das rochas e das condições climáticas, o solo pode apresentar inúmeras formas e uma variedade imensa de características (Houben & Guillard, 1989).

O solo é composto por elementos gasosos, líquidos e sólidos e a distribuição destes elementos determinam as possibilidades do uso do solo (Schroeder, 2016).

- **Elementos gasosos**

Os elementos gasosos são constituídos pelo ar e também pelo vapor de água presentes nos poros das partículas.

- **Elementos líquidos**

Os elementos líquidos de um solo são formados pela água presente no solo. A água do solo pode ser dividida em água subterrânea, que é formada por água de infiltração que se pode mover livremente nos vazios do solo por absorção de água por capilaridade.

- **Elementos Sólidos**

Os elementos sólidos do solo são compostos por 5 frações, de finos para grossos.

A fração mais fina (com partículas de diâmetro inferior a 0,002mm) - designada de fração argilosa, é composta por silicatos em camadas, como caulinite, ilite, montmorillonita ou clorite. Esta fração desempenha o papel de ligante, podendo, quando em demasia, ser compensada com a adição de areia (Damme & Houben, 2018).

Normalmente, os solos ricos em montmorillonita provocam grandes alterações dimensionais com um aumento de humidade e por isso, não são adequados para construção, no entanto, solos ricos em outras argilas como caulinite, ilite ou clorite exibem poucas alterações dimensionais como inchaço, quando húmido, e encolhimento ou fissuras, quando seco sendo, portanto, mais apropriados para a construção com terra (Damme & Houben, 2018).

As frações seguintes são de Silte, com partículas de diâmetro entre 0,002mm e 0,06mm; de Areias, principalmente quartzo, com partículas de diâmetro entre 0,06mm a 2mm; de Cascalho, entre 2 a 20mm; e por fim, seixos e pedras, com diâmetro superior a 20mm.

Conforme a quantidade destes elementos num solo, podemos classificá-lo como argiloso, siltoso e arenoso. Essas quantidades são obtidas através de uma análise granulométrica onde são gerados gráficos que apresentam as quantidades de cada fração em percentagem (Damme & Houben, 2018).

Normalmente, de acordo com Damme & Houben (2018), a fração predominante do solo influencia as propriedades principais do material.

Minke G. (2006), mostrou três gráficos de granulometria de solos, onde se consegue uma comparação entre os três tipos de solo, anteriormente referidos.

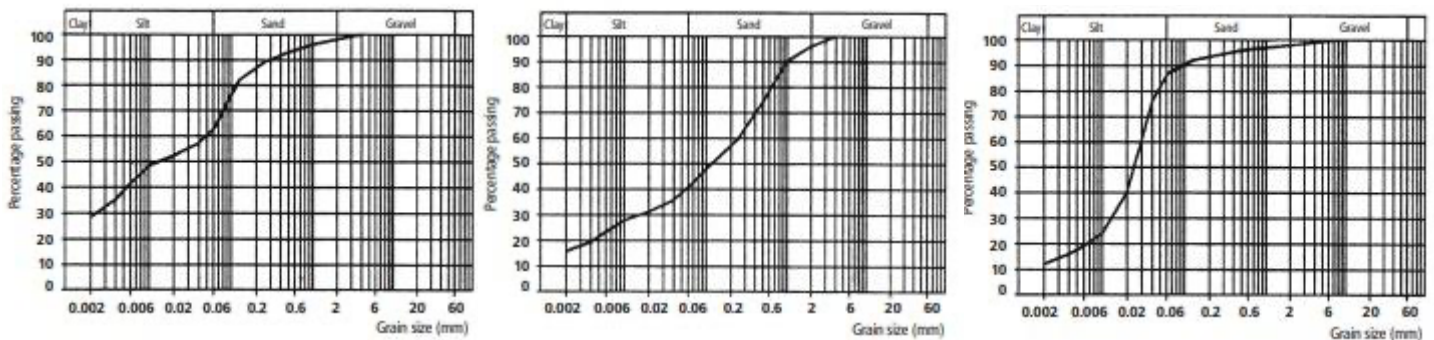


Figura 6- Granulometria de solos: 1- solo argiloso 2- solo siltoso 3- solo arenoso (adaptado de Minke. G, 2006)

Nestes gráficos, o eixo vertical representa o peso de cada tipo de partícula em percentagem total; no eixo horizontal é apresentado o tipo de partículas (dimensão) numa escala logarítmica. O primeiro gráfico caracteriza um solo argiloso, com 28% de argilas, 35% de silte, 33% de areia e 4% de cascalho. O segundo gráfico caracteriza um solo siltoso, rico em silte, com 76% deste material. Por fim, o terceiro gráfico caracteriza um solo arenoso, com 56% de areia.

A caracterização da composição do solo também pode ser conseguida através de um gráfico triangular.

2.5. Vantagens

Segundo vários autores constam, o uso de solo na construção possibilita inúmeras vantagens a nível de conforto térmico, hídrico e acústico, sustentável e ecológico, e económico, cujos benefícios podem variar conforme o tipo de solos, já que as suas características dependem da sua composição que, por sua vez, depende das características geológica e climáticas da região onde é extraído.

De acordo com Damme & Houben (2018), os edifícios construídos com terra funcionam excelentemente hidrotermicamente devido à condutividade térmica relativamente baixa que o material possui, que depende da densidade do material (Mouveus et al.,2015), à massa térmica elevada e uma forte “respirabilidade”.

Mouveus et al. (2015) indicam que o solo tem a capacidade de evaporar ou condensar a água nele contido, dependendo das condições, o que contribui para o conforto térmico interior de um edifício, regulando a higrometria e contribuindo para a inércia térmica, devido ao calor latente da mudança de fase da água.

Segundo Minke G. (2006), o uso da terra na construção ajuda a melhorar o ambiente e conforto interno, uma vez que não tem COVs associados e o material tem a capacidade de manter equilibrada a humidade

dos interiores como nenhum outro material de construção. Fernandes et al. (2014) cita a arquitetura da terra como vantajoso em relação à saúde, devido ao facto de ser um material de origem natural, com baixa toxicidade, ausente de compostos orgânicos voláteis (COV), para além das propriedades capazes de regular a temperatura e a qualidade do ar interior.

O uso de terra na construção proporciona excelentes propriedades térmicas, devido à capacidade de armazenar calor e posteriormente libertá-lo, o que permite manter uma temperatura interior confortável, evitando mudanças extremas de temperatura. Para além do conforto térmico, o uso deste material na construção também é benéfico para as propriedades acústicas, devido ao facto de não ser um bom transmissor de vibrações sonoras, isto é, no caso das paredes de terra, estas funcionam como barreiras que afastam a poluição acústica (Roa, 2011).

2.6. Técnicas Construtivas

A variedade de solos naturais disponíveis tem sido “enfrentada” por construtores vernáculos, existindo diferentes técnicas de construção em terra, adaptadas às propriedades do material disponível localmente (Damme e Houben, 2017). A associação CRAterre criou um diagrama (figura 7) com uma classificação relativa à utilização e denominação da terra crua, onde resume as técnicas conhecidas, dividindo-as em três grandes classes de construção: monolítica (*in situ*), por unidades ou alvenaria e de enchimento e revestimento de estruturas.

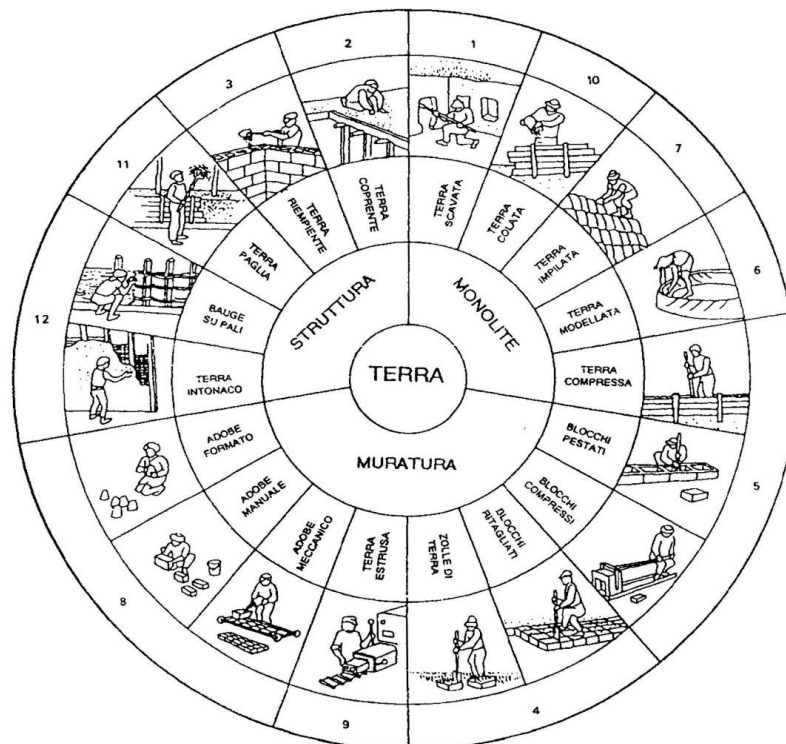


Figura 7- Diagrama de classificação de sistemas construtivos, de Houben e Guillaud (1989)

2.6.1. Monolítica

A construção monolítica pode ser executada de diversas formas. Segundo Ferreira (2015), este sistema corresponde a uma estrutura contínua que funciona como um único elemento resistente. A técnica da taipa é a mais representativa e com maior expressão a nível mundial da forma de construção monolítica.

2.6.1.1. Taipa

De acordo com Gonçalves & Gomes (2012), a técnica da Taipa chegou à Europa no século VIII, porém foi registada a primeira construção com taipa em Cartago, na Tunísia, por volta do ano de 814 AC. Esta foi a técnica construtiva com terra mais utilizada no sul de Portugal, no Alentejo e Algarve, até pelo menos aos anos 50 do séc. XX.



Figura 8- Construções em Taipa. 1- Casa Ajiji, Estado de Jalisco, México, 2010. 2- Museu de Arte, SanBaoPeng, China, 2017. 3- Muralha da Austrália, North Wester, Austrália, 2015
Fonte: ArchDaily

Semelhante ao adobe, esta resulta da compactação sucessiva *in situ* de terra crua em camadas sucessivas, sendo desmoldado após a compactação da última camada. Quando utilizada como estrutura resistente, esta técnica permite a construção de edifícios que não ultrapassem os dois pisos (Ferreira, 2015).

Nas figuras 8.1, 8.2 e 8.3, são apresentadas edificações, recentes (desde 2010), que comprovam a estética que a técnica da Taipa e a matéria-prima da terra permitem na construção.

2.6.1.2. Terra vazada ou moldada

A terra vazada ou moldada, conhecida por betão de terra, é também uma técnica da construção monolítica, que recorre ao uso de cofragens, semelhante à taipa, mas o solo utilizado encontra-se num estado mais plástico e sem recorrência à compactação (Torgal e Jalali, 2010).

À semelhança do betão armado, as paredes de terra moldada também podem ser executadas em terra armada com aço (Eires, 2010).

2.6.1.3. Terra empilhada (COB)

Esta técnica, que se encontra espalhada por todo mundo, designada em inglês por “cob”, consiste na sobreposição de bolas de terra misturadas com palha aplicadas por camadas, produzindo paredes. Na finalização, a parede é regularizada ou aparada, permitindo-lhe uma superfície menos rugosa (Ferreira, 2012).

2.6.2. Unidades ou alvenarias

A construção por unidades ocorre na execução de alvenarias executadas com blocos de terra crua pré-fabricados, como o adobe (blocos moldados em terra plástica), blocos moldados de terra comprimida (também designados por BTC), ou por blocos de terra recortada diretamente no solo.

2.6.2.1. Adobe

A técnica do Adobe é conhecida pelos tijolos que secam ao sol. Normalmente, uma terra plástica é misturada com um ligante, como a cal, e moldada em blocos que secam ao sol, similares a tijolos (Ponte, 2012).



Figura 9- Blocos de Adobe- Imagem do livro "O Homem e a Arquitetura" de Herbert Baresh
fonte: ArchDaily

Esta técnica de produção de blocos, que inicialmente era realizada à mão, passou a ser produzida por meios mecanizados, recorrendo à tecnologia atual, permitindo um fabrico mecanizado e mais rápido (Eires, 2010).

2.6.2.2. Blocos de Terra Comprimida (BTC)

Eires (2010) afirma que as primeiras máquinas de/para compressão de terra surgiram logo no séc. XVIII, entre elas, a máquina de François Cointeraux, derivada de uma prensa de vinho, e de outras invenções por parte da indústria cerâmica, que resultava na prensagem de terra entre duas placas convergentes.

Só mais tarde, no séc. XX, surgiram outras prensas de fabrico de blocos de terra compactado como conhecemos hoje.

A técnica de blocos de terra comprimida é uma técnica mais moderna, uma variação do Adobe, no qual, os blocos são prensados em máquinas ou de forma manual.

O BTC é obtido a partir de terra estabilizada com certa percentagem de cal, ou cimento (Gonçalves & Gomes, 2012).

2.6.3. Enchimento e revestimento de estruturas

A construção com terra por enchimento e revestimento não tem uma função estrutural, sendo que é utilizada para enchimento de vazios numa estrutura portante, normalmente em madeira. Esta técnica pode consistir no enchimento do espaço entre uma parede dupla com terra. A adição de fibras e ligantes é bastante frequente para uma melhoria do desempenho da argamassa (Ferreira, 2015).

2.6.3.1. Tabique

Uma das técnicas de enchimento e revestimento é a técnica do Tabique, uma solução mista, que resulta no revestimento de estruturas de madeira com recurso à mistura de terra com fibras.

2.7. Argamassas de Terra

A argamassa define-se com uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerados inorgânicos, água e aditivos, de carácter opcional, considerando as suas propriedades de aderência e endurecimento e podendo ser doseadas em obra ou em instalações próprias (Alvarenga et al., 2013).

Em países desenvolvidos, já se comercializam argamassas de terra pré-doseadas, nomeadamente na Alemanha onde o interesse pelas argamassas de terra tem aumentado, sendo em 2013 publicada a norma DIN 18947 relativa a termos, definições, requisitos e métodos de ensaios para rebocos constituídos por argamassas de terra, sem estabilização química por outros ligantes, mais tarde substituída pelas normas DIN 18942-100 e DIN 18942-1 (2018) (Santos et al., 2014).

As argamassas de terra, tradicionalmente utilizadas como camadas de reboco sobre paredes de taipa ou de alvenaria de adobe, ou grande parte de paredes leves de tabique, são utilizadas atualmente com cal aérea, considerado por Faria (2012), o ligante mais compatível com a terra. Estas argamassas têm a capacidade de proteção de suportes, porém a sua durabilidade deve ser otimizada.

As argilas presentes nas argamassas de terra desempenham um papel de ligante e podem ser responsáveis pela eventual retração de rebocos de argamassas de terra, enquanto a areia, geralmente existente, forma o esqueleto granular que constitui a estrutura mecânica do reboco (Santos et al., 2014). Segundo Bravo (2017), para uma utilização e aplicação correta das argamassas, é necessário compreender as suas propriedades e características mecânicas, hídricas, de aderência ao suporte e as suas características no estado fresco, especialmente a sua trabalhabilidade.

2.8. Terra para Pisos

Damme & Houben (2018) defendem que algumas misturas à base de terra com baixo teor de água, estabilizadas com superplastificantes (SP) podem ser aplicadas como betão autocompactável ou auto-nivelante e compatível com as normas de construção atuais.

Especificamente para argamassas ou betões à base de terra para pisos não foram encontradas normas, apenas algumas recomendações para pisos realizados em taipa (solo compactado) ou com adobe (Manual técnico HB 195-2002 & “Lehmbau Regeln”, manual técnico alemão para a construção com terra), que incluem a recomendação de materiais selantes e óleos, também utilizados na proteção de paredes, que melhoram a resistência à humidade e ao desgaste (HB-195-2002).

No entanto, é possível considerar as propriedades e requisitos de resistência das normas sobre betonilhas convencionais para pavimentos.

De acordo com as normas EN 13813 e a BS 8204:1, relativas às propriedades e requisitos para as argamassas das betonilhas, distinguem-se algumas propriedades que devem ser satisfeitas pelas betonilhas, tais como: acabamento, regularização da superfície, compacidade, cura e estabilidade, humidade e resistência mecânica (Galvão, 2016 & Barros, 2012).

Relativamente às classes de resistência, no caso de betonilhas, a norma australiana HB 195-2002, indica valores de resistência à flexão entre 1 MPa (classe C1) a 50 MPa (classe C50) aos 28 dias de cura, nas classes de resistência à compressão o mesmo autor indica uma resistência mínima de 5 MPa (classe C5) e uma resistência máxima de 80 MPa (C80).

2.8.1. Origem dos pisos de terra

O uso da terra na construção é conhecido há cerca de 3000 anos (Minke, 2006), no entanto, Crimmel & Thomson (2014) defendem que no fim do ano de 1625, a maioria das casas europeias possuíam pisos em terra batida. Apesar do uso de pisos de terra ter caído em desuso na era Colonial com a abundância

de madeira disponível, os autores defendem que ainda existem habitações com pisos de terra por todo o mundo. Nestes pisos, compostos apenas por terra crua, compactada com pés humanos e humedecida frequentemente, os residentes utilizavam selantes, económicos e acessíveis, para estabilizar a terra de forma permanente. Esta prática, nativa dos Estados Unidos, foi utilizada até ao séc. XX, acabando por cair em desuso à medida que a população começava a construir habitações mais modernas e convencionais. Crimmel & Thomson, desenvolveram um projeto designado de “*Earthen floors*”, onde descrevem os imensos pisos de terra que construíram, numa perspetiva moderna, compostos por areia, argilas, fibras (palha picada), como revestimento utilizava-se óleo de linhada, que inicialmente era fervido em panelas e, mais tarde, como alternativa sustentável, este era fervido, por dois dias, ao sol e, por vezes, utilizavam-se pigmentos para obter outra coloração do piso. Quando não havia palha disponível localmente ou se pretendia uma estética diferente, utilizavam-se fibras de outras plantas, fibra de papel ou até estrume (Crimmel & Thomson, 2014). Finalmente aplicados e totalmente secos, os pisos eram selados com camadas de óleo e cera.

A simplicidade do processo de produção destes pisos aliado à facilidade de acessibilidade dos elementos necessários fez com que estes pisos ganhassem alguma relevância (Crimmel & Thomson, 2014).

2.8.2. Pisos tradicionais de terra e palha

Os pisos tradicionais de terra e palha são compostos por terra (areias e argilas), palha picada e, normalmente, óleo de linhaça cozido como revestimento.

Nestes pisos, a fibra é o ingrediente final principal, que fornece resistência à tração, importante para uma durabilidade de longo prazo e para evitar fissuras. As fibras de palha são as fibras mais utilizadas juntamente com a terra, uma vez que é um material disponível na maioria das partes do mundo. Este material pode ser obtido em lojas locais ou em locais de cultivo de grãos e, inicialmente é cortado para ser colocada no picador e peneirada numa tela. Antes de aplicadas, as fibras voltam a ser cortadas para se assegurar de que ficam curtas.

As fibras utilizadas com a terra devem atender algumas características específicas, tais como: devem ser fortes, devem ser inferiores a 2,5cm e devem conter pouco valor nutricional para criaturas ou mofo.

O uso de fibras de palha para além do incremento da resistência à tração também permite melhorar a estética, uma vez que as fibras claras se destacam no piso escuro.

Estes pisos podem demorar mais do que uma semana a secar e as sementes provenientes da palha podem germinar, porém, estes rebentos morrem à medida que o chão seca e podem ser removidos antes da aplicação dos acabamentos (Crimmel & Thomson, 2014).

2.8.3. Acabamentos

A utilização de vedantes nos pavimentos tem evoluído ao longo dos anos. Antigamente, e atualmente, os pavimentos em terra eram estabilizados e selados. Nos pisos de terra modernos, Crimmel & Thomson, (2014) utilizavam um selador à base de óleo que permitia um aumento de durabilidade e resistência à água. A selagem de um pavimento de terra envolvia a saturação da camada superior (até cerca de 1,30 cm de profundidade) com um selante que transformava as matérias-primas do solo resistentes à água e duráveis.

O acabamento com óleo é muito importante para que o piso não se danifique facilmente e não produza poeiras. Os óleos estabilizam a terra de forma permanente, e depois de selado um piso de terra mantém-se conservado depois de vários anos de uso (Crimmel & Thomson, 2014).

Existem alguns óleos selantes, simples e de baixo custo, para estabilização da terra, tais como: o óleo de linhaça, sangue de boi (bastante utilizado no México), óleos vegetais e até óleo de motor usado.

O óleo mais utilizado ainda é o óleo de linhaça, considerado um óleo de secagem, derivado de sementes de linho, e bastante utilizado atualmente como acabamento de madeira. O óleo de linhaça cru, não tratado, seca muito lentamente - pode ser utilizado como selador, mas comumente o óleo cru é tratado para acelerar o processo de secagem. Este óleo endurece em fortes cadeias de polímeros, através de uma reação química com oxigénio (oxidação). Existem outros óleos de secagem também utilizados como o óleo de tungue, o óleo semente de papoila, óleo de perila, óleo de nozes, óleo de girassol e óleo de cártamo. O óleo de linhaça é o mais utilizado para lubrificar o chão e para permitir que o piso apresente dureza, resistência à humidade e para o tornar numa superfície lavável (Crimmel & Thomson, 2014).

Para diluir ou dissolver produtos solutos, como o óleo de linhaça, utilizam-se os solventes, sendo que, grande parte deriva de petroquímicos (acetona e benzeno) e outros são de origem natural (etanol e metanol). Os solventes naturais mais utilizados são o "*D-limonene*", um óleo cítrico extraído por destilação de cascas de citrinos, e "*dipentene*", um produto químico natural encontrado numa variedade de árvores, plantas e frutos, ambos produtos alimentícios (Crimmel & Thomson, 2014).

De acordo com Crimmel & Thomson (2014), apesar de grande parte dos utilizadores optar por manter a aparência dos pisos de terra, também se utilizam os pigmentos de cor. Os pavimentos de terra apresentam colorações bastantes escuras, uma vez que os componentes também são escuros e, por sua vez, os óleos escurecem ainda mais a mistura, ou seja, para se conseguir alterar esta coloração são necessários pigmentos fortes que se tornem visíveis numa mistura tão escura. Estes podem ser colhidos naturalmente ou produzidos sinteticamente em fábricas ou laboratórios. A incorporação destes num

pavimento introduz um potencial de toxidade e impactos ambientais negativos que devem ser considerados (Crimmel & Thomson, 2014).

Relativamente aos acabamentos com ceras, Crimmel & Thomson (2014) defendem que estes não são imprescindíveis, no entanto, há utilizadores que optam por aplicá-los para aumentar o brilho e a durabilidade. As ceras são compostas por diferentes ingredientes que lhes permitem resultados distintos. Existem acabamentos comercializados com propriedades distintas entre eles, o “Bioshield Floor Finish”, um acabamento à base de resina de soja que permite um acabamento brilhante, e o Claylin Wax que permite um acabamento mais fosco. Crimmel & Thomson (2014) defendem que também é possível obter bons resultados com ceras caseiras cuja receita, geralmente, inclui azeite, cera de abelha, cera de carnauba e solventes à base de álcool ou citricos. Como estas ceras, normalmente, são mais espessas do que as outras ceras, precisam de ser aplicadas e esfregadas com um pano.

2.8.4. Vantagens e desvantagens

A técnica dos pisos de terra é relativamente intuitiva e fácil de aprender e pode ser aplicada em qualquer edifício. Crimmel & Thomson (2014) definem os pisos de terra como uma prática de boa estética, com uma sensação de toque única, baixa toxidade, impacto ambiental mínimo e com benefícios térmicos, já conhecidos do material e a vantagem de poderem ser aplicados numa variedade de situações e condições e adequados para a maioria das divisões de uso geral.

As vantagens económicas destes pisos são imensas, uma vez que, os componentes principais dos pisos de terra são materiais facilmente encontrados na natureza, como a areia, argilas e fibras naturais e mesmo produzido mecanicamente, uma laje de terra contém menos 90% de energia incorporada do que uma laje em betão (Crimmel & Thomson, 2014).

Relativamente aos acabamentos, os únicos materiais com potencial de toxidade são os pigmentos e alguns óleos. Crimmel & Thomson (2014) indicam que a adição de óleo de linhaça tem a desvantagem de exalar um odor bastante forte e de levar bastante tempo para secar, em contra partida, este acabamento permite uma dureza superior ao piso. Os óleos secantes e os solventes utilizados também para acabamento representam um risco elevado de agentes químicos, aliás, mesmo os solventes naturais contêm COVs que evaporam em cerca de 2 dias após a aplicação, não havendo risco para a saúde dos habitantes, apenas para os aplicadores deste revestimento (Crimmel & Thomson, 2014).

2.8.5. Estudos recentes

Segundo a European Mortar Industry Organisation, pode definir-se uma betonilha como a camada de argamassa aplicada *in-situ*, diretamente sobre um suporte, aderente ou flutuante, ou sobre uma camada intermédia ou isolante, para obter um ou mais objetivos: atingir um nivelamento estabelecido, servir de base para o acabamento final ou constituir a superfície de acabamento (Galvão, 2016).

A Terra Korea, uma equipa do instituto de arquitetura em terra na Coreia, mostrou as utilizações fascinantes de um betão de terra, com superplastificante (SP). A equipa corrigiu a composição granular e adicionou 15% de cal e material pozolânico e a mistura apresentou as mesmas propriedades de auto nivelamento que um betão compactável à base de cimento Portland (CP) (Damme & Houben, 2018).



Figura 9- Demonstração de betão de terra autonivelante com estabilização com cal, Coreia (Damme & Houben, 2018)

Foi também desenvolvido algo semelhante, em ETH, Zurique, porém com adição cimento sulfo-aluminoso (CSA) e SP. O CSA foi selecionado devido à sua ação de ligante após fixação, pela capacidade de absorver a água e acelerar a secagem da mistura do solo e para permitir uma remoção rápida da cofragem, apenas após algumas horas. Esta fórmula foi denominada de betão argiloso autocompactável, como referência de que a fração argilosa deve permanecer como o ligante principal da mistura (Damme & Houben, 2018).

Moevus et al., (2015) criaram um betão autocompactável de argila, denominado de “Béton d’Argile Environnemental (B.A.E.)”. Este betão foi conseguido sem o uso de cal, CP ou CSA. Recorrendo ao uso de um dispersante de argila, conseguiram aumentar a quantidade de partículas finas (Damme & Houben, 2018).

CAPÍTULO III- Caracterização do solo

3. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Deve ser efetuada a caracterização do solo para perceber a sua composição e propriedades, e dependendo destas, conseguir uma otimização pela estabilização.

O comportamento de um determinado solo depende da sua composição, quantidade de argilas, siltes, areias e da quantidade de água presente, não só no solo, mas também da água capilar retida nas vizinhanças dos pontos de contatos das partículas sólidas e da água absorvida, que envolve as partículas com dimensões inferiores a 0,002mm.

A terra bruta utilizada para construção normalmente é obtida entre vinte a quarenta centímetros abaixo do solo, ou seja, no subsolo (Ponte, 2012). Torgal e Jalali (2010) sugerem testes de caracterização que podem ser subdivididos em ensaios de campo, para realizar em campo, com um nível de fiabilidade baixo, e em ensaios de laboratório, onde necessita um procedimento normalizado.

3.1. Ensaios de Campo

Os ensaios de campo são testes rápidos que podem ser executados no momento da recolha do solo para uma conclusão preliminar sobre o tipo de solo disponível no local.

Os ensaios que se seguem são uma adaptação de ensaios utilizados pelo grupo CRATERRE, ligada à Escola de Arquitetura da Universidade de Grenoble (Torgal e Jalali, 2010 & Ferreira, 2015).

a) Observação da cor

A matéria orgânica geralmente concede uma cor mais escura aos solos, que normalmente se encontra nas primeiras camadas do solo. Os solos com presença de areias quartzosas e feldspáticas aparentam uma cor mais pálida. Solos com a presença de óxidos de ferro podem aparentar uma cor vermelha.

b) Identificação do odor

O teste do cheiro permite identificar um solo orgânico, pois este é facilmente identificado pelo cheiro forte a húmus.

c) Teste do tato

Este teste consiste em esfregar uma amostra do solo com as mãos. No caso de uma sensação áspera, percebe-se que é um solo arenoso. Quando o solo se mostra mais plástico ou viscoso, indica uma elevada quantidade de argila.

d) Sedimentação

Este ensaio, ainda que curto, é um pouco mais demorado. É necessário colocar até $\frac{1}{4}$ de solo num frasco de vidro com um litro de volume e encher o restante com água. Agita-se, deixa-se repousar uma

hora, e repete-se o procedimento por duas vezes. O solo aparecerá em camadas de areia, silte e argila e finalmente mede-se a espessura de cada camada.

e) Brilho

Após se formar uma bola com uma amostra de solo, corta-se ao meio a bola com uma faca e analisa-se as superfícies: se a superfície se apresentar opaca, o solo contém uma predominância de silte, no caso da superfície de apresentar brilhante, significa que há predominância de argila.

f) Aderência

Na mesma bola de terra, onde foi executado o teste de brilho, penetra-se uma espátula. Perante um solo argiloso, a penetração será difícil e a terra irá aderir à espátula. No caso de um solo saibroso, a espátula entra e sai com facilidade.

g) Coesão

Com a bola de terra utilizada anteriormente, molda-se uma concavidade, que posteriormente é preenchida com água. Se estivermos perante um solo arenoso, a água irá ser absorvida rapidamente; no caso de um solo rico em argila, a água irá manter-se na concavidade.

h) Teste do rolo ou charuto

Para a execução deste ensaio, adequado para a técnica da taipa, deve-se rolar uma amostra de solo humedecido com as mãos sobre uma superfície limpa e plana, é necessário moldar um cilindro com cerca de 2,5cm de diâmetro e entre 20 a 30cm de comprimento. De seguida, com as mãos, deve-se correr o cilindro em balanço para fora da borda da superfície, até que se parta o primeiro troço. Por fim, mede-se o troço destacado.

Se o troço tiver um comprimento menor ou igual a 5cm significa que o solo tem pouca argila; se o troço apresentar um comprimento entre 5 a 15 cm significa que o solo contém a quantidade de argila recomendada para construção; se o troço apresentar um comprimento superior a 15 cm significa que o solo contém argila em excesso.

3.2. Ensaio de Laboratório

Torgal e Jalali (2010) consideram uma série de ensaios normalizados, para análise do tipo de solo em questão.

a) Teor de água

Este ensaio é realizado para perceber a quantidade de água contida no solo. Compara-se uma amostra de solo antes e depois de colocada numa estufa a 105°C.

b) Matéria orgânica

Este ensaio resulta da calcinação da matéria orgânica presente no solo, este é aquecido a 400°C e é feita uma comparação entre as massas antes e depois da combustão.

c) Análise de granulometria

A análise granulométrica consiste na identificação das percentagens de massa da fração arenosa do solo acima de 0,074mm, obtidas por peneiração através de peneiros normalizados. Posteriormente, é realizada a peneiração por via húmida, a fim de se obter a desagregação das partículas mais finas (LNEC E239-1970). Finalmente, é colocado em estufa cada solo retido nos peneiros para determinar a percentagem em relação à massa do provete.

De seguida, deve-se determinar os restantes constituintes do solo, abaixo de 0,074mm (siltes e argilas), com o ensaio de sedimentação.

O ensaio de sedimentação resulta da colocação do solo em suspensão num líquido, para determinar a velocidade de sedimentação, em função do diâmetro das partículas, através da lei de Stokes.

Para execução do ensaio enche-se um frasco até $\frac{1}{4}$ da sua altura com solo e os restantes $\frac{3}{4}$ com água. Ao fim de algumas horas mede-se a espessura das camadas, sendo que na primeira camada estão os saibros e nas camadas que se seguem estão siltes e argilas.

d) Limites de consistência

Conhecidos também por limites de Atterberg, os limites de consistência são constantes físicas que permitem inferir para a fração de solo inferior a 0,4mm, o seu comportamento na presença de água. Determinados pela norma NP 147-1969, compreendem o limite de liquidez (LL), o limite de plasticidade (LP), o índice de plasticidade (Ip) obtido através da diferença numérica entre os dois limites anteriores (LL-LP) e o limite de retração (LR).

O limite de Liquidez (LL) resulta do teor de água obtido no aparelho de Casagrande, que consiste num prato côncavo preenchido com uma pasta do solo, no qual é traçado um rasgo, que após 25 ressaltos voltasse a unir numa distância de 1cm.

O limite de plasticidade (LP) resulta do teor de água de um rolo de solo, que se separa para um diâmetro de mm. Se o rolo partir com menos de 3mm de diâmetro, indica que existe água em excesso e a experiência deve ser repetida com menos água. Se o rolo partir com diâmetro superior a 3mm, a experiência deve ser repetida com um teor de água superior.

e) Compactação com ensaio *proctor*

Este ensaio é utilizado para determinar o teor de água ótimo, que corresponde à máxima compactabilidade do solo (E LNEC 197-1971). Utiliza-se uma fração de solo inferior a 4,76mm, ao qual se adicionam teores de água com diferenças de 2% compactadas em três camadas com 25 pancadas por camada, utilizando um aparelho manual de 2,49kg e uma queda de 30,5cm ou um aparelho mecânico. Registra-se a massa e o volume de cada provete e marca-se a massa volúmica seca versus o teor de água num gráfico. Finalmente, retira-se o teor de água ótimo correspondente à baridade máxima.

f) Ensaio de resistência à compressão simples

O ensaio de resistência à compressão de provetes de solo não confinado, é conseguido de forma similar ao ensaio para betões, tijolos ou outros materiais. O ensaio resulta de um provete que é levado à rotura através do aumento da carga axial.

3.3. Propriedades e Classificações

Os elementos constituintes do solo influenciam as propriedades físicas e condicionam possíveis aplicações e técnicas construtivas (Itulamy, 2019), podendo variar de um solo para outro, dependendo das várias frações que o compõem, por isso antes de definir o uso a que se destina, é essencial a caracterização do solo. Segundo Houben & Guillard (1989) essas propriedades enquadram-se em quatro categorias principais: distribuição e tamanho das partículas, plasticidade, compressão e coesão. Alertam também para a falta de necessidade de um estudo profundo das propriedades do solo. Devem ser priorizadas principalmente, as propriedades básicas do solo, entre elas a textura e distribuição e tamanho das partículas do solo em percentagens, desde seixos a argilas, a plasticidade e facilidade de modelagem do solo (trabalhabilidade), a compactabilidade do solo e potencial de redução de porosidade e a coesão e capacidade de ligação das partículas do solo.

Estas propriedades do solo são avaliadas através da observação visual, ensaios de campo e ensaios de laboratório normalizados, descritos no capítulo 3.

A distribuição e tamanho das partículas é determinada através de uma análise granulométrica por peneiração do material de maior diâmetro, como os seixos, o cascalho e areias, e por sedimentação dos materiais argilosos de menor diâmetro.

A plasticidade e trabalhabilidade do solo são classificadas com ensaios de consistência ao índice de plasticidade (I_p), ao limite de liquidez (LL), ao limite de plasticidade (LP) e ao limite de retração (LR). Na tabela 1, Doat et al. (1979) referem os valores recomendados para os limites de consistência de um solo.

Tabela 3- Limites de consistência (adaptado de Doat et al., 1979)

ÍNDICES E LIMITES	MÁXIMOS E MÍNIMOS	INTERVALOS RECOMENDADOS
Índice de plasticidade Ip	7 a 29	7 a 18
Limite de liquidez LL	25 a 50	30 a 35
Limite de plasticidade LP	10 a 25	12 a 22
Limite de retração LR	8 a 18	<teor de água ótimo

Doat et al. (1979), classificam também a plasticidade do solo, conforme o do índice de plasticidade, em que:

Tabela 4- Classificação de plasticidade de um solo. (adaptado de Doat et al., 1979)

CLASSIFICAÇÃO DE PLASTICIDADE	Ip RECOMENDADO
Plasticidade fraca	5 a 10
Plasticidade média	10 a 20
Plasticidade forte	Superior a 20

No que diz respeito à coesão e capacidade de ligação das partículas, esta propriedade depende da ação das argilas contidas no solo, Dame et al. (1979) apresenta o índice de atividade das argilas (Ac), útil para percepção do inchaço e retração do solo, está relacionado com o Ip e a percentagem de partículas de diâmetro inferior a 0,002mm.

Tabela 5- Classificação da atividade de uma argila (adaptado de Doat et al., 1979)

TIPO DE ARGILA	Ac = Ip/ (% ARGILAS < a 0,002mm)
Pouco ativa	Ac < 0,75
Normalmente ativa	0,75 a 1,25
Ativa	1,25 a 2,0
Muito ativa	Ac > 2,0

Para exemplificar, apresentam valores de referência do índice de plasticidade (Ip) e limite de liquidez (LL) para determinados tipos de solo:

Tabela 6- Classificação do solo (adaptado de Doat et al., 1979)

TIPO DE SOLO	VALOR DE Ip	VALOR DE LL
Arenoso	0 e 10	0 a 30
Siltoso	5 e 25	20 a 50
Argiloso	superior a 20	superior a 40

Em relação à compactidade do solo, esta é determinada através de compactação pelo ensaio Proctor, onde é definido o teor de água ótimo. De acordo com Doat et al. (1979), se a massa volúmica seca obtida com o teor de água ótimo estiver compreendido entre 1650 e 1760 kg/m³ a classificação é

mediocre, entre 1760 e 2100 kg/m³, a classificação é muito satisfatória e o solo é argiloso. Entre 2100 e 2200kg/m³ e classificação é excelente e o material é rico em elementos grossos. Entre 2200 e 2400 kg/m³, a classificação é excepcional.

3.4. Estabilização do Solo

A estabilização do solo é uma prática de longa data, no entanto, é em 1940 que se inicia uma abordagem científica contínua. Esta prática milenar permite uma melhoria das características e propriedades finais consoante o uso ou técnica escolhida e resulta da inclusão de outros materiais, designados de estabilizantes, ou alterações no solo (Maia et al., 2016 & Lourenço et al., 2001).

Conhecendo as limitações das argamassas de terra, ou do material em geral, nomeadamente a sua suscetibilidade à água, deve ser realizada uma pesquisa de matérias que permitam um aumento da resistência das argamassas à ação da água, sendo que, segundo Carreira et al. (2021), os mais comuns na estabilização de argamassas de terra são: as fibras vegetais; ligantes como sulfatos de cálcio, cimento, cais aéreas e cais com propriedades hidráulicas; e óleos.

De acordo com Damme & Houben (2018), a estabilização com cimento Portland (CP) ou outros ligantes foi introduzida na construção com terra, principalmente nas técnicas de blocos de terra comprimidos e a terra batida. Consta também que, normalmente são adicionados entre 5 a 10% de estabilizante ao solo e que, esta quantidade permite melhorar não só, a resistência, durabilidade e resistência à erosão da água, como também pode transformar solos inicialmente inapropriados em solos adequados para a construção.

Carreira et al. (2021) apresentam as matérias mais utilizadas na estabilização de argamassas ou nas conhecidas técnicas de construção com terra.

Tabela 7- Materiais utilizados na estabilização de argamassas e outros elementos da construção de terra. (adaptado de Carreira et al., 2021)

ESTABILIZANTE	TÉCNICAS
Cimentos	Adobe
	Rebocos/ Argamassas
	Taipa
Cais com propriedades hidráulicas	Rebocos/ Argamassas
Cais aéreas	Adobe
	Rebocos/ Argamassas
	Taipa
Sulfatos de cálcio	Adobe
	Rebocos/ Argamassas

Óleos	Adobe
	Reboco/ Argamassas
	Taipa
Fibras vegetais	Adobe
	Rebocos/ Argamassas

3.4.1. Estabilização com cimento

A estabilização com cimento pode ser realizada com três tipos de cimento: o cimento Portland (CP), cimento normal e cimento natural. O cimento Portland é obtido por queima a temperaturas superiores às do cimento normal e por inclusão de aditivos como o gesso, por exemplo, para retardar o tempo de presa. O cimento natural é um ligante à base de clínquer: silicatos e aluminatos cálcicos obtidos pela queima de matérias-primas ricas em carbonato de cálcio, sílica e outros óxidos, principalmente calcário e margas (Carreira et al., 2021).

O cimento atua como um estabilizante à prova de água, principalmente em solos com baixo teor de argila, em que, quanto maior o teor de argila, maior quantidade de cimento será necessária para o mesmo efeito estabilizador (Minke G., 2006). A estabilização com o cimento, ao contrário de outros estabilizantes, não depende dos minerais contidos no solo, depende apenas da presença da água, que por sua vez se encontra disponível na maioria dos solos (Brito & Paranhos, 2017).

O uso de cimento na estabilização causa um aumento da resistência à compressão e flexão, no entanto, provoca a perda de trabalhabilidade da argamassa (Carreira et al., 2021).

Damme & Houben (2018), não consideram a estabilização com CP nem técnica nem ambientalmente aconselhável. Estes justificam que proporciona apenas uma melhoria mecânica moderada a um custo ambiental elevado.

3.4.2. Estabilização com cal

A cal é um aglomerante obtido através da calcinação do calcário, que aparenta cor branca, devido ao seu elevado teor de hidróxido de cálcio, superior a 93% (Ferreira, 2017). Existem registros do uso de cal como estabilizante de solos há mais de dois mil anos, no entanto, é a partir do século XX que o seu uso começou a disseminar-se (Ferreira, 2017). Segundo Brito & Paranhos (2017) e Ferreira (2007), a adição da cal pode influenciar à modificação da granulometria do solo, devido à ocorrência de floculação. Esta adição causa também um aumento da plasticidade do solo, da trabalhabilidade (devido ao teor elevado de hidróxido de cálcio), da resistência à compressão simples, uma elevação do teor de humidade e da

permeabilidade ao ar. Contudo, provoca uma diminuição do limite de liquidez (LL) e uma redução das variações de volume em solos expansivos e densidade.

3.4.3. Outras adições

A estabilização com fibras naturais e tecidos provoca uma melhora no comportamento mecânico das argamassas de terra, nomeadamente sob uma carga compressiva, além disso, Minke G. (2006), indica que a adição de fibras como pelo animal ou cabelo humano, fibras de coco, sisal, agave ou bambu, agulhas (de árvores) e palha cortada, provoca um aumento na força de ligação da mistura, o que diminui a ocorrência de fissuração ou rachaduras, para além de que, comparativamente a outras adições, as fibras naturais e os óleos conferem vantagens em termos de energia incorporada, por se tratar da adição de um resíduo.

Na tabela 8, são apresentados os efeitos principais que a adição dos estabilizantes permite alterar na massa volúmica e condutibilidade, no comportamento mecânico, na higroscopicidade, na resistência à água, na alteração da cor e na energia incorporada, neste caso, de uma argamassa de terra.

Tabela 8- Efeitos principais de estabilização de argamassas com baixos teores. (adaptado de Carreira et al. 2021)

Estabilizante	Massa volúmica e condutibilidade	Comportamento mecânico	Higroscopicidade	Resistência à água	Alteração da cor	Energia incorporada
Cimentos	Ligeiro aumento	Ligeiro aumento	Espectável Decréscimo	Aumento	-	Aumento muito significativo
Cais com propriedades hidráulicas	Ligeiro aumento	Pouco significativo	Espectável Decréscimo	Aumento	Forte clareamento com terras escuras	Aumento significativo
Cais Aéreas	Ligeiro aumento	Decréscimo	Decréscimo	Aumento	Forte clareamento com terras escuras	Aumento significativo
Sulfatos de cálcio	Pouco significativo	Aumento	Ligeiro decréscimo	Aumento ligeiro	Ligeiro clareamento	Aumento ligeiro
Óleos naturais	Pouco significativo	Pouco significativo	Decréscimo	Aumento	Ligeiro escurecimento	Aumento ligeiro
Fibras vegetais	Decréscimo positivo	Ligeiro decréscimo	Pouco significativo	Pouco significativo	Pouco significativo	Pouco significativo

No estudo de estabilização de argamassas de terra, de Carreira et al. (2021), é concluído que todos os estabilizantes identificados na tabela 8 são adicionados com o objetivo de um incremento da resistência das argamassas de terra face à água líquida, sendo esta considerada uma das maiores limitações da construção com terra. No entanto, também é perceptível que estes materiais provocam um aumento,

alguns mais significantes, da energia incorporada da argamassa, à exceção das fibras que são adicionadas com o objetivo principal de contribuir para a redução da retração por secagem e incrementar a resistência mecânica. No que diz respeito à higroscopicidade, definida como a capacidade de absorção de água, todos os ligantes e óleos provaram um decréscimo desta propriedade. Em geral, a adição de óleos, é realizada apenas para atuar na resistência da argamassa à água (Carreira et al, 2021).

Apesar de esta prática permitir alterar as características de um solo e até tornar solos, inicialmente inapropriados, em solos apropriados para a construção, Minke G. (2006) alerta que a incorporação de aditivos num solo pode proporcionar uma melhoria em certas propriedades e, no entanto, agravar outras. O autor apresenta de forma gráfica, a influência da incorporação de diferentes aditivos e quantidades, na contração, força de ligação e resistência à compressão e flexibilidade, no caso de um solo arenoso.

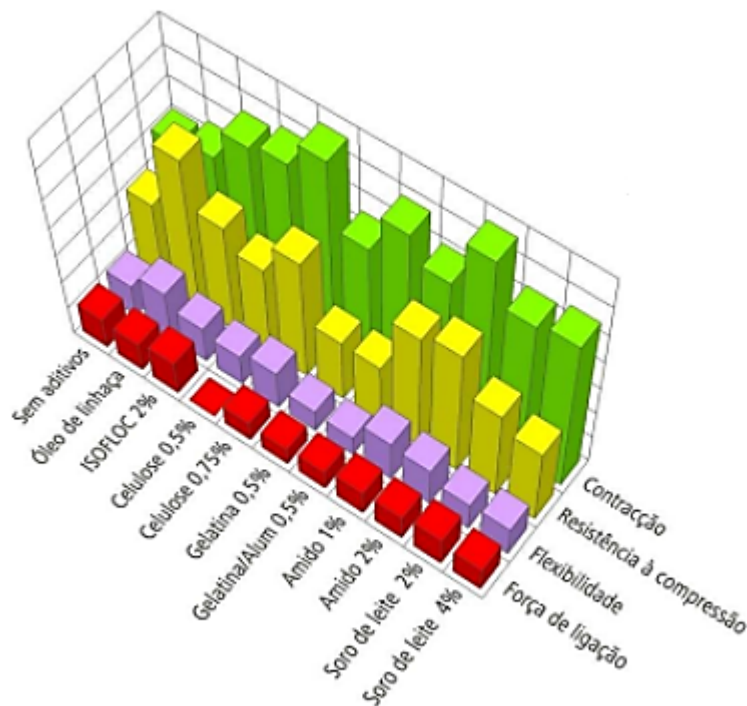


Figura 10- Influência de vários aditivos na contração, força de ligação e resistência à compressão e flexão (adaptado de Minke G. 2006)

A adição de amido ou celulose provocaram um incremento da resistência à compressão e a flexibilidade, no entanto, a incorporação destes aditivos provocou uma redução na força de ligação e um aumento de contração. A adição de gelatina e soro de leite provocou uma diminuição da resistência à compressão e da força de ligação.

CAPÍTULO IV- Caracterização dos materiais utilizados

4. MATERIAIS UTILIZADOS

4.1. Introdução

Neste estudo foi utilizado apenas um tipo de solo, ao qual, após realizados ensaios de campo e percebido o baixo teor de elementos finos, como a argila, foi adicionado caulino a algumas composições, a fim de perceber e comparar o seu desempenho com e sem este material.

A escolha dos ligantes e aditivos baseou-se principalmente na opção de materiais acessíveis, utilizados normalmente na construção e outros, como resíduos alimentícios.

4.2. Solo

O solo utilizado foi proveniente de uma escavação na região do Minho e foi analisado através de ensaios de campo e ensaios de laboratório.



Figura 11- Solo utilizado, proveniente da região do Minho.

4.2.1. Caracterização segundo os ensaios de campo

O solo foi, inicialmente, caracterizado segundo os ensaios de campo descritos no capítulo 3.

Observação da cor e identificação de odor- O solo apresentava uma cor pálida, causada pela presença de areias e não apresentava cheiro a húmus.

Tato- Relativamente ao tato do solo, sentiu-se a presença abundante de grãos de areia e, conseqüentemente, uma sensação áspera.

Sedimentação simples- O ensaio de sedimentação simples consistiu na colocação de $\frac{1}{4}$ de solo, num frasco com capacidade de 1litro, e preenchimento do restante com água. Inicialmente, o frasco agitou-se e de seguida ficou em repouso para que as partículas se depositem em camadas. Com isto, são determinadas as frações finas constituintes do solo.

Posteriormente, são medidas as camadas e conclui-se, aproximadamente, a composição do solo.

Deste modo, neste ensaio concluiu-se que o solo utilizado é constituído por cerca de, aproximadamente 30% de areia média, 30% de areia fina e 40% de argila e silte.

O ensaio de sedimentação simples é um teste preliminar e de campo, pelo que os resultados obtidos podem não ser precisos, já que estes ensaios são utilizados no sentido de conseguir uma caracterização inicial rápida.

Teste do rolo- Este teste mostra de modo mais claro a trabalhabilidade do solo e se tem argila suficiente. Verificou-se que era difícil fazer o rolo e os pedaços resultantes eram inferiores aos 5 cm de comprimento mínimos, significa que o solo tinha pouca argila. Como tal, o solo utilizado, foi adicionado caulino (argila em pó), no sentido de compensar a falta de elementos finos importantes para o desempenho da argamassa. Foi adicionado inicialmente 5% e posteriormente mais 3%, para obtenção de melhores resultados, resultando numa adição total de 8% de caulino.

4.2.2. Caracterização segundo os ensaios de laboratório

Foi realizada a análise granulométrica com sedimentação ao solo, segunda a especificação E- 196 do LNEC (1966) e análise granulométrica por peneiração húmida (fig. 15), segundo a norma portuguesa EN 239 (1970). Foram também realizados os ensaios de Limites de consistência, segundo as especificações da norma portuguesa NP 147-1969 e o ensaio de Azul Metileno segundo a norma NP-EN-933-9:2002.

4.2.2.1. Granulometria do solo

a) Peneiração

O ensaio de granulometria realizou-se segundo a descrição no cap. 3. Este ensaio iniciou-se com a peneiração do material no peneiro n.º 10 (2,00mm). Deste material passado foram recolhidos 50g, introduzidos num copo de água e uma solução anti floculante. Posteriormente, colocou-se a solução no peneiro n.º 200 (0,074mm) e lavou-se a solução com água destilada. De seguida, colocou-se o material peneirado numa estufa, para finalmente ser peneirado numa série de peneiros, traçando assim a curva granulométrica por peneiração.



Figura 12- Peneiros utilizados na granulometria. 1- Granulometria dos grossos (peneiro de 2,00mm a 12,50mm. 2- Granulometria dos finos (peneiro de 75 mic a 850 mic)

b) Sedimentação

No sentido de obter a curva granulométrica da sedimentação, à mistura juntou-se, cerca de 100ml de anti floculante. A mistura foi aquecida por cerca de 10 minutos e posteriormente misturada por 15 minutos num agitador elétrico. Após a agitação, a mistura foi passada pelo peneiro n. °200 (0,074mm) e lavada com água destilada, não ultrapassando os 500ml. Posteriormente, transferiu-se a mistura para o provete e encheu-se até ao traço de referência dos 1000ml. O conteúdo contido no provete, juntamente com a água destilada, foi agitado durante aproximadamente 1 minuto, e finalmente colocado na mesa de trabalho. A partir deste momento realizaram-se medições de temperatura e leituras de densímetro aos seguintes minutos de repouso: 1, 2, 5, 15, 30, 60, 250, 1440 e 2880.



Figura 13- Agitador elétrico

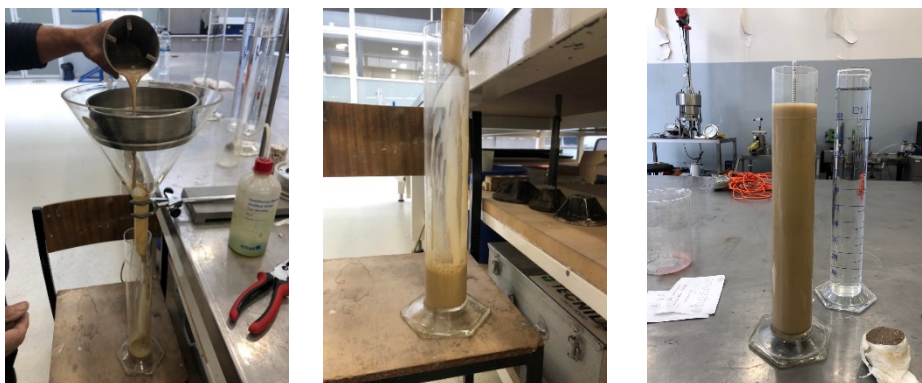


Figura 14- Procedimentos do ensaio de sedimentação

Curva de granulometria

Os ensaios de peneiração húmida e sedimentação resultaram na obtenção da curva granulométrica apresentada na figura 15.

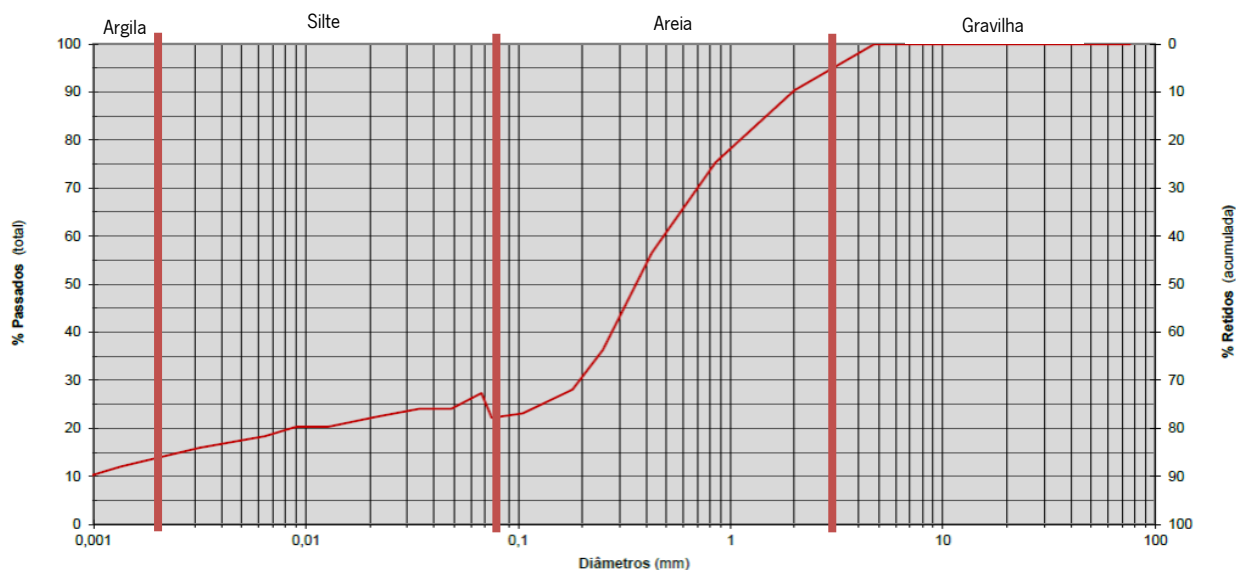


Figura 15- Gráfico de granulometria, obtido através do ensaio de granulometria por peneiração húmida

É possível observar que o solo avaliado contém 14 % de argilas, cerca de 8% de silte, 73% de areias e aproximadamente 5% de gravelha. De acordo com Minke (2006), quando a percentagem de argila de um solo é inferior a 15%, o solo é designado por um solo argiloso magro. No entanto, na engenharia civil, um solo com 14% de argila é considerado rico em argila.

As frações de argila e silte (até 0,06mm) são referentes à sedimentação e as de areia e gravelha (a partir de 0,06mm) são referentes à peneiração, o que provoca uma diferença nos resultados.

4.2.2.2. Azul metileno

Este ensaio foi realizado segundo a norma NP-EN-933-9:2002 estando relacionado com a mistura de uma amostra de solo com aproximadamente 60g, resultante do peneiro de 2mm, com 500ml de água destilada num gobelet. A mistura foi agitada por cerca de 15 minutos e posteriormente, encheu-se a bureta com a solução corante.

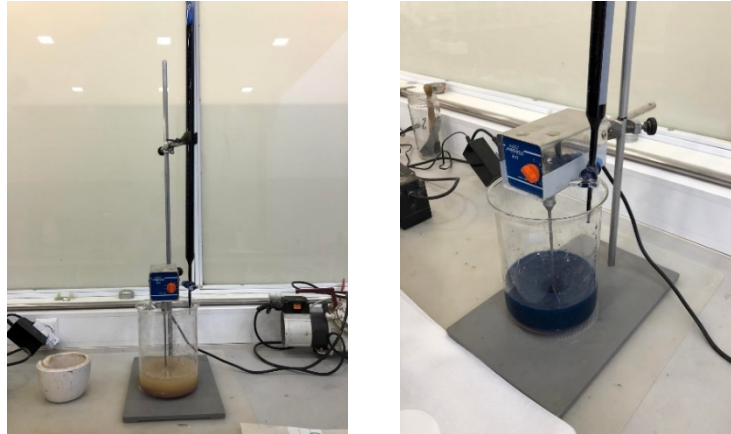


Figura 16- Procedimentos do ensaio de azul metileno

Durante a agitação, injetou-se uma dose de 5ml de solução corante no gobelet e após 1 minuto efetuou-se o ensaio da mancha sobre um papel de filtro. Segundo a norma NP-EN-933-9:2002 deve-se colocar 5ml da solução corante, até aparecer no papel de filtro a auréola (cor azul claro).

Posto isto, o ensaio terminou com a adição de 20ml de solução corante.

O valor do azul metileno (MB) é dado pela expressão:

$$MB = \frac{V_1}{M_1} \times 100$$

Em que:

- V_1 corresponde à quantidade de solução corante adicionada (20.00ml)
- M_1 refere-se à massa do provete (61.44gr)

O solo obteve um valor de MB de 0,32 (g/kg da fração granulométrica 0/4.75mm).

4.2.3. Caulino

O caulino ou caulim é um mineral argiloso presente no solo constituído sobretudo por caulinite, bastante utilizado na produção de produtos cerâmicos. Este mineral é composto por silicatos hidratados de alumínio, também designado por disilicato de alumínio hidratado, com a fórmula química $Al_2 Si_2 O_5(OH)_4$. O caulino utilizado foi um caulino branco amarelado, de origem sedimentar que é moído, lavado com hidrociclone e posteriormente seco na própria fábrica (Eires, 2012). Na caracterização do solo utilizou-se o caulino misturado com o solo.

4.2.4. Brita

A brita é um material de construção classificado como agregado e matéria-prima do betão. A brita utilizada foi a Brita n. °2, de 10 a 20mm, de origem granítica, disponível no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho.

4.3. Ligantes

Foram utilizados os ligantes mais comuns da estabilização da terra: o cimento e a cal.

Relativamente à cal, utilizaram-se três tipos de cal, a cal hidratada, designada por hidróxido de cálcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, a cal aérea viva, designada por óxido de cálcio, CaO , e a cal hidráulica natural, NHL5.

4.3.1. Cimento

A adição deste ligante provoca um incremento da resistência mecânica e resistências iniciais, elevado calor de hidratação e elevada reatividade. O cimento utilizado foi o cimento cinzento 42,5R, da marca SECIL, de elevado desempenho.

4.3.2. Cal aérea viva

Segundo Rodrigues (2010), a cal aérea viva é o ligante que resulta da decomposição de calcários com um teor de impurezas inferior a 5%. Os calcários em causa poderão ser compostos apenas por carbonato de cálcio (CaCO_3) ou ter também alguma percentagem de carbonato de magnésio (MgCO_3). O processo de decomposição desencadeia-se por um aumento da temperatura atuante e designa-se por calcinação da pedra calcária. Quando a temperatura é de 894°C atinge-se a pressão de dissociação do carbonato de cálcio e o dióxido de carbono é expulso do calcário, obtendo-se grãos porosos de óxido de cálcio, também conhecido como cal viva.

A cal viva é utilizada neste estudo em pó, da marca LACRILAR.

4.3.3. Cal hidratada

De acordo com Minke (2006), o uso da cal hidratada num solo com argila e quantidade suficiente e existindo uma humidade adequada ao solo, os iões de cálcio da cal associam-se com os iões metálicos da argila. Isto resulta na ocorrência de fortes aglomerações de partículas finas, dificultando a penetração da água.

Para a hidratação da cal misturou-se o solo com o caulino, a cal em pó e o amido de batata líquido (20% da quantidade de cal + 10% da quantidade de solo) num recipiente isolado com um plástico, no mínimo, 48 horas.

4.3.4. Cal hidráulica natural

A cal hidráulica natural é constituída maioritariamente por silicatos e aluminatos de cálcio e hidróxido cálcio, sendo utilizado a NHL 5 da SECIL, constituída por um pó de cor beje. De acordo com o fornecedor, a cal hidráulica natural é um ligante que combina a presa aérea e a presa hidráulica, sem recurso a adições. A adição deste material em argamassas provoca uma elevada flexibilidade e permeabilidade ao vapor de água, incrementa a porosidade das argamassas e uma redução da retração em argamassas.

4.4. Aditivos

4.4.1. Amido de milho

O amido de milho é hidrato de carbono extraído dos grãos de milho.

Para este estudo foi utilizado farinha maizena.

4.4.2. Bicarbonato de sódio

O bicarbonato de sódio é um sólido cristalino branco alcalino, designado também por bicarbonato de sódio químico ou hidrogenocarbonato de sódio. O bicarbonato de sódio é uma mistura cristalina, solúvel em água cuja fórmula química é NaHCO_3 .

4.4.3. Cloreto de sódio

O cloreto de sódio, usualmente conhecido por sal comum ou sal de cozinha, é um mineral de origem natural é um sólido cristalino branco formado pela combinação de sódio com cloro. Este mineral obtido através da água do mar é solúvel e a sua fórmula química é NaCl . Neste estudo foi utilizado sal marinho comum.

4.4.4. Borato de sódio

O borato de sódio, também designado de bórax, é um mineral alcalino proveniente da mistura de sal hidratado de sódio e ácido bórico.

A designação química é tetraborato de sódio hexahidratado, cuja fórmula é $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, é usado como fungicida e retardante ao fogo em isolamentos a base de fibras de celulose e em impregnação de madeiras.

4.4.5. Amido de batata líquido

Este aditivo extraiu-se diretamente de um descascador de batatas mecânico, onde é filtrado o amido juntamente com a água necessária para o descascamento. Foram extraídos 10 litros de um restaurante situado em Viana do Castelo.

Este produto é um resíduo com propriedades idênticas ao amido de milho ou trigo e o uso deste aditivo acaba por ser bastante ecológico, uma vez que há o aproveitamento de um resíduo alimentício e da água resultante da extração.

4.5. Fibras

4.5.1. Fibras de papel

As fibras de papel foram optadas no sentido de provocar um incremento da resistência da argamassa na compressão e flexão.

Neste estudo, foram utilizadas fibras de papel reciclado, resultantes do processo de fabrico do papel kraft do qual se obtém como resíduo sólido fibras de celulose que já não podem ser utilizadas na produção de papel. Estas foram cedidas pela empresa DS SMITH, em Viana do Castelo.



Figura 17- Fibras de papel reciclado utilizado

4.6. Revestimentos

Os revestimentos foram escolhidos no sentido de atuarem contra degradação face à ação da água e também, para uma apreciação do acabamento que podem permitir à argamassa.

4.6.1. Água com sabão de olívia

Este material é normalmente produzido por saponificação natural, com o uso de azeite de olívia, sem corantes. Este material foi utilizado misturado com água natural, aplicando-se três camadas do produto polidas com uma pedra à semelhança do que se aplica no acabamento do *tadelekt*.



Figura 18- Sabão de azeite

4.6.2. Acabamento tradicional de cera de abelha e resina de pinheiro

A cera de abelha foi utilizada no Egito há 3000 anos, nos revestimentos de barcos de madeira como proteção face à água (Marques, 2013).

A resina de pinheiro, era também chamada de colofónia, pez, de onde vem o termo pesgar. Pesgar é um método de impermeabilização das talhas de cerâmicas para armazenamento de vinho. Esta impermeabilização era feita com colofónia, cera de abelha e aguarrás.

Neste estudo preparou-se um acabamento impermeabilizante, semelhante ao verniz, composto por resina de pinheiro, cera de abelha, óleo de linhaça e aguarrás. Todos estes componentes são utilizados na produção de tintas, de acordo com Marques F. (2013), a resina de pinheiro era utilizada para reduzir a viscosidade das misturas e facilitar a aplicação. O óleo de linhaça, um dos óleos sicativos mais utilizados cuja obtenção provém por pressão da semente do linho que, normalmente, necessita da adição de secantes para acelerar a velocidade de endurecimento, pelo facto de secar muito lentamente. A aguarrás, normalmente aplica-se em vernizes e atua como solvente.



Figura 19- Verniz de cera de abelha e resina

4.6.3. Óleo vegetal

Utilizou-se um óleo vegetal culinário usado, proveniente de um restaurante em Viana do Castelo. A aplicação deste material torna-se uma alternativa sustentável, visto que, o óleo é um resíduo que para além da dificuldade de descarte, existem poucas soluções de reaproveitamento. Num estudo de Silva et

al (2019), verificaram que a adição deste material provoca uma diminuição da resistência mecânica de compressão axial.



Figura 20- Óleo vegetal

CAPÍTULO V- Composições estudadas

5. COMPOSIÇÕES ESTUDADAS

5.1. Introdução

Para a definição das composições a testar, considerou-se como principal objetivo desenvolver uma argamassa/betão à base de terra crua para revestimento de pisos utilizando a mínima quantidade de materiais ligantes, sobretudo materiais de elevado impacto ambiental como o cimento. De modo a se conseguir alcançar este objetivo pensou-se em reduzir a quantidade de água na mistura, no sentido de diminuir a porosidade da argamassa. Assim, a primeira etapa foi a pesquisa e avaliação de aditivos para se obter boa trabalhabilidade do solo de modo a se poder reduzir não só a quantidade de água na mistura, mas também não ter muita necessidade de compactação.

A segunda etapa foi a avaliação de desempenho dos aditivos que tiveram melhores resultados juntamente com a adição de materiais ligantes: cal aérea viva, cal aérea hidratada, cal hidráulica natural e ainda cimento para comparação de resultados.

A terceira etapa foi a avaliação de desempenho da composição com melhores resultados na etapa anterior, mas com novas adições complementares, de modo a se poder obter um piso em terra com duas camadas: uma camada de acabamento mais resistente e sem fissuração; e uma camada base com função de enchimento. Assim, preparou-se uma composição com adição de fibras de papel reciclado, ou celulose, para esta mistura constituir a camada de recobrimento do piso em terra. Para a camada base utilizou-se a mesma composição, mas com adição de brita, obtendo-se assim um betão de terra.

Testaram-se ainda diferentes tipos de acabamentos sobre a camada de recobrimento, que pudessem melhorar o comportamento face à ação da água.

5.2. Metodologia

No esquema da figura 21 apresenta-se a metodologia utilizada para atingir a composição final da argamassa e betão, bem como os testes e ensaios realizados.

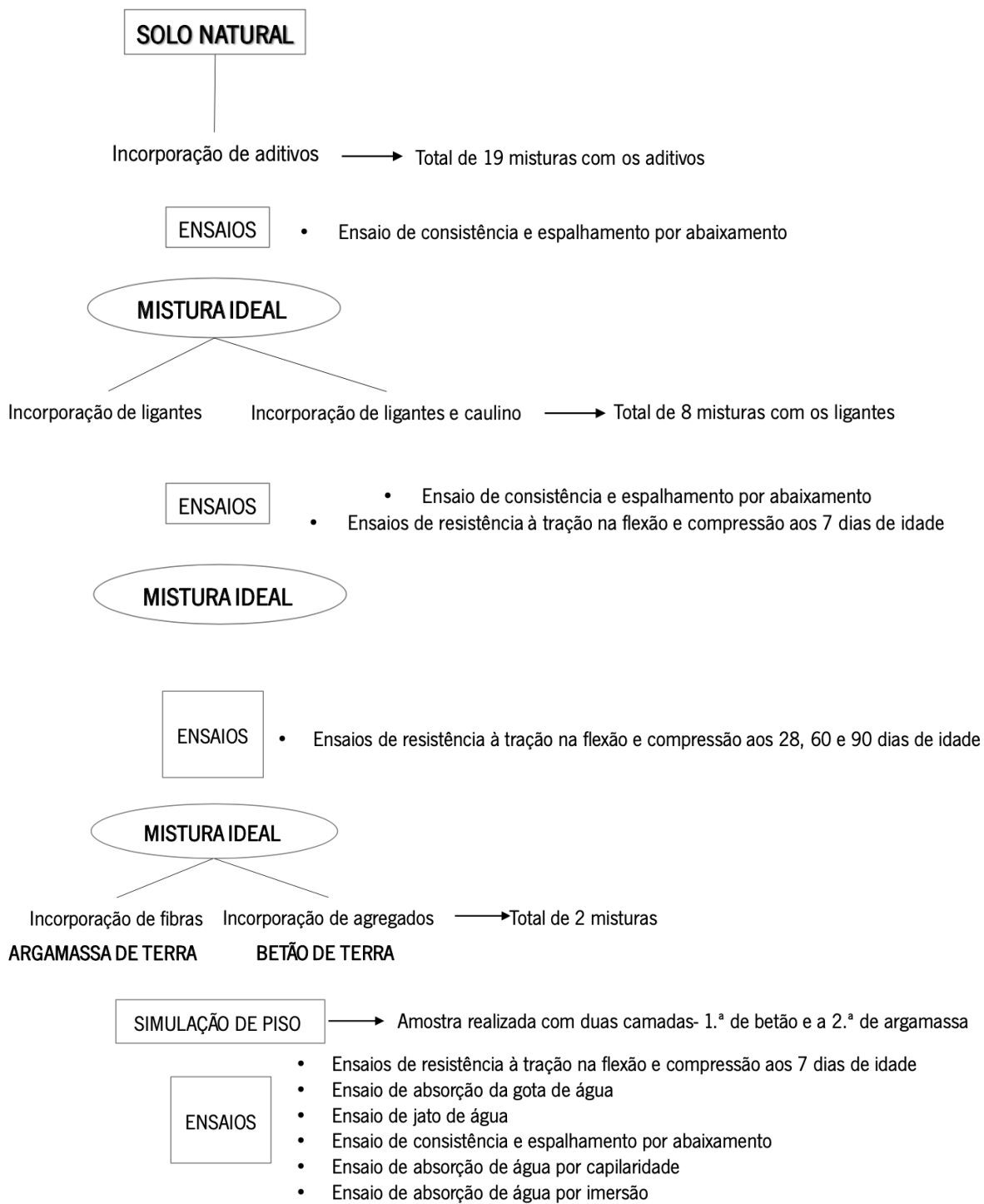


Figura 21- Metodologia para obtenção da composição da argamassa

De um modo geral, a escolha dos componentes foi faseada, e decidida sempre após uma análise de resultados preliminares. Posteriormente serão apresentados os valores obtidos nos ensaios, que justificaram as escolhas dos diferentes componentes.

5.3. Introdução de Aditivos

Numa fase inicial, no sentido de perceber a interação e compatibilidade do solo com os aditivos para se obter uma boa trabalhabilidade da argamassa, foi estudada a incorporação dos aditivos indicados no capítulo 4, isoladamente e em conjunto, em combinações alternadas, resultando inicialmente em 18 misturas.

Tabela 9- Listagem de composições testadas (solo com aditivos)

FASES	N.º DE MISTUR A	COMPONENTES E QUANTIDADES (%)	SIGLA
Efeito dos amidos no solo	1.	Solo e água natural (20%)	SH ₂ O20
	2.	Solo, água natural (10%) e amido de batata líquido (10%)	SH ₂ O10ABL10
	3.	Solo e amido de batata líquido (20%)	SABL20
	6.	Solo e amido de batata líquido (25%)	SABL25
	4.	Solo, amido de milho (5%) e água natural (20%)	SABL5H ₂ O20
	5.	Solo, amido de milho (10%) e água natural (30%)	SABL10H ₂ O30
Efeito dos sais no solo	10.	Solo, água natural (20%) e bicarbonato de sódio (1%)	SH ₂ O20BS1
	11.	Solo, água natural (20%) e cloreto de sódio (1%)	SH ₂ O20CS1
Efeito de amido e sais no solo	7.	Solo, amido de batata líquido (20%) e bicarbonato de sódio (1%)	SABL20BS1
	8.	Solo, amido de batata líquido (20%), bicarbonato de sódio (1%) e cloreto de sódio (1%)	SABL20BS1CS1
	9.	Solo, amido de batata líquido (20%), bicarbonato de sódio (2%) e cloreto de sódio (1%)	SABL20BS2CS1
	12.	Solo, amido de batata líquido (20%) e cloreto de sódio (1%)	SABL20CS1
	13.	Solo, amido de batata líquido (20%) e bicarbonato de sódio (2%)	SABL20BS2
	14.	Solo, amido de batata líquido (20%) e borato de sódio (1%)	SABL20B1
	15.	Solo, amido de batata líquido (20%) e borato de sódio (2%)	SABL20B2
	16.	Solo, amido de batata líquido (20%) e borato de sódio (0,5%)	SABL20B0.5
	17.	Solo, amido de batata líquido (20%), borato de sódio (0,5%) e bicarbonato de sódio (0,5%)	SABL20B0.5BS0.5
	18.	Solo, amido de batata líquido (20%), borato de sódio (0,5%) e cloreto de sódio (1%)	SABL20BS0.5CS1

Na tabela 9 estão registadas todas as composições estudadas numa primeira fase, com componentes e quantidades em percentagens em função da massa do solo. Estas misturas, foram testadas no estado fresco, com o ensaio de consistência e espalhamento por abaixamento, segundo Benabed et al. (2012).

5.4. Introdução de Ligantes

Depois de obtido o espalhamento ideal nas misturas anteriores, foram adicionados, à mistura escolhida, 5% de ligante a testar, nomeadamente, cimento e cal em três formas diferentes e, em modo de comparação, foram testadas as mesmas misturas com a adição de caulino (8%), uma vez que o solo não tinha a quantidade de argila recomendada. A mistura selecionada para esta etapa foi a de solo, amido de batata líquido e borato de sódio. No entanto, com a adição de material ligante e caulino, materiais que absorvem maior quantidade de água, houve necessidade de ajustar a quantidade de aditivos novamente para se obter a trabalhabilidade adequada.

Tabela 10- Listagem de composições testadas (solo com aditivos e ligantes)

N.º DE MISTURA	COMPONENTES E QUANTIDADES (%)	SIGLA
20.	Solo, Amido de batata líquido (23%), borato de sódio (0,5%) e cal hidratada (5%)	SABL23B0.5CH
20.1	Solo, caulino (8%), amido de batata líquido (29%), borato de sódio (1,5%) e cal hidratada (5%)	SCABL29B1.5CH
21.	Solo, Amido de batata líquido (23%), borato de sódio (0,5%) e cimento (5%)	SABL23B0.5CP
21.1	Solo, caulino (8%), amido de batata líquido (31%), borato de sódio (2%) e cimento (5%)	SCABL31B2CP
22.	Solo, Amido de batata líquido (23%), borato de sódio (0,5%) e cal aérea viva (5%)	SABL23B0.5CV
22.1	Solo, caulino (8%), amido de batata líquido (33%), borato de sódio (3%) e cal aérea viva (5%)	SCABL33B3CV
23.	Solo, Amido de batata líquido (23%), borato de sódio (0,5%) e cal hidráulica natural (5%)	SABL23B0.5NHL
23.1.	Solo, caulino (8%), amido de batata líquido (33%), borato de sódio (1,5%) e cal hidráulica natural (5%)	SCABL33B1.5NHL

Na tabela 10 estão enumeradas as composições com a adição dos ligantes e dos aditivos. Estas misturas foram testadas no estado fresco, à consistência por espalhamento e no estado endurecido, na resistência à tração por flexão e compressão aos 7 dias de idade. Depois de testadas à compressão e flexão com 7 dias de idade, o estudo avançou com as misturas com melhores resultados, compostas com caulino (20.1, 21.1, 22.1 e 23.1) e foram testadas no estado endurecido à resistência à tração por flexão e compressão aos 28, 60 e 90 dias de idade.

5.5. Introdução de fibras

A adição de fibras aconteceu após os ensaios no estado endurecido às misturas 20. a 23.1., e posteriormente, à mistura selecionada, foram adicionados 4% de fibras de papel reciclado e consequentemente, por absorção de água das fibras, foi aumentada a quantidade de líquido da mistura. As quantidades dos restantes elementos mantiveram-se.

Esta argamassa, descrita na tabela 11, foi submetida a ensaios no estado endurecido.

A partir daqui, o solo com caulino, amido de batata líquido, borato de sódio e cal aérea viva designa-se por argamassa referência (AREF).

Tabela 11- Listagem de composições testadas (solo com aditivos, ligantes e fibras)

N.º DE MISTURA	COMPONENTES E QUANTIDADES (%)	SIGLA
24.	Solo, caulino (8%), amido de batata líquido (46%), borato de sódio (0,5%), cal aérea viva (5%) e fibras de papel reciclado (4%)	AREF.F4

5.6. Introdução de aglomerantes

No sentido de complementar o estudo, no que diz respeito a terra para pisos, foi avançada a adição de brita para a camada base de betão de terra. À argamassa de referência, foi adicionada brita como agregado de maior dimensão do que as partículas presentes no solo para a conformação de um betão de terra. Além dos ensaios no estado endurecido, este betão e a argamassa de referência foram usados para a criação de uma amostra para simulação de um piso, em formato de placa, em que a mistura com a brita forma a camada base, de contra piso, revestida posteriormente pela argamassa de referência.

Mais uma vez, a quantidade de líquido foi ajustada devido à adição de brita como se observa na tabela 12.

Tabela 12- Listagem de composições testadas (solo com aditivos, ligantes, fibras e agregados)

N.º DE MISTURA	COMPONENTES E QUANTIDADES (%)	SIGLA
25.	Solo, caulino (8%), amido de batata líquido (30%), borato de sódio (0,5%), cal aérea viva (5%), fibras de papel reciclado (2%) e brita (16,5%)	AREF.F2.BR16.5

5.7. Estudo de acabamentos

Na placa executada, descrita no item anterior, foram testados três acabamentos sobre a camada superior, a argamassa de referência, entre eles: óleo vegetal usado, água com sabão de azeite (foram

aplicadas três camadas, polidas com uma pedra) e cera de abelha com resina de pinheiro, óleo de linha e aguarrás. Para além da análise visual para o avistamento de possíveis fissuras, a placa foi testada no estado endurecido, aos 14 dias, face à ação da água.

**CAPÍTULO VI- Preparação de amostras, métodos e ensaios
realizados**

6. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS, MÉTODOS E ENSAIOS REALIZADOS

6.1. Considerações iniciais

O presente capítulo tem como finalidade esclarecer os procedimentos seguidos para a preparação de amostras e provetes, seguido dos procedimentos, metodologia e normas dos ensaios realizados.

6.2. Preparação de argamassas

Para a preparação das argamassas seguiu-se a norma NP EN 196-1:2006, apesar de esta norma não abranger especificamente argamassas de terra. Desta forma, começou-se por pesar todos os constituintes necessários à realização das formulações. Estes foram misturados, inicialmente a seco, numa cuba de aço inoxidável, com capacidade de 3 litros, com auxílio de um misturador mecânico de laboratório. O misturador é acionado após a introdução do material seco durante dois minutos e após a adição dos líquidos é acionado com um programa para mistura de argamassas com cerca de 5 minutos, com paragens de 15 segundos para a remoção de argamassa aderente nas paredes da cuba.

A determinação da quantidade de líquido de cada formulação foi aferida através da experimentação de diferentes porções de amido de batata líquido adicionadas a cada argamassa e uma consequente análise da consistência e do abaixamento por espalhamento no estado fresco, de acordo com os limites definidos por um estudo de Benabed et al (2012) para betões auto compactáveis uma vez que se pretendia o maior espalhamento possível.

Foram preparadas as 27 argamassas anteriormente enumeradas nas tabelas 9 e 10 e testadas no estado fresco à consistência e abaixamento por espalhamento (cap. 6.4.1.).



Figura 22- Misturadora mecânica do Laboratório de Materiais de Construção da UM.

6.3. Preparação de Provetes

6.3.1. Provetes prismáticos

As argamassas foram introduzidas em moldes prismáticos com as dimensões de 40mm x 40mm x 160mm, previamente pincelados com o mínimo necessário de óleo desmoldante, pois as argamassas de terra absorvem o óleo. O preenchimento realizou-se em duas camadas, cada uma delas compactada com 60 pancadas num compactador mecânico de argamassas e posteriormente, a superfície foi nivelada com auxílio de uma colher de pedreiro.



Figura 23- Procedimento de preenchimento e desmoldagem de provetes prismáticos

Para cada composição executaram-se três provetes prismáticos, com o objetivo de caracterizar as várias composições de argamassas quanto às resistências mecânicas e ao comportamento face à presença da água.

Os provetes foram reservados à temperatura e humidade ambiente, devidamente enumerados para dar início ao processo de cura. Após três dias, iniciou-se a desmoldagem dos provetes e, dependendo das idades pretendidas para cada ensaio, os provetes permaneceram em cura, à temperatura e humidade ambiente até completarem os 90 dias.

6.3.2. Provede quadrangular para simulação de piso

Introduziram-se as argamassas AREF.F4 e AREF.F2.BR16.5, num molde quadrangular metálico com as dimensões de 300mm x 300mm, previamente pincelada com óleo desmoldante. O provede realizou-se em duas camadas. Inicialmente adicionou-se a argamassa AREF.F2.BR16.5 (composta por solo com caulino, brita, cal aérea, borato de sódio, fibras de papel e amido de batata líquido) ligeiramente compactada manualmente e, antes da colocação da argamassa superior, efetuaram-se uns cortes na argamassa com uma colher de pedreiro para maior aderência da camada superior.



Figura 24- Procedimento de enchimento de molde quadrangular com a argamassa inferior

De seguida, adicionou-se a argamassa AREF.F4 (composta por solo com caulino, cal aérea, borato de sódio, fibras de papel e amido de batata líquido), esta nivelou-se com uma talocha lisa.



Figura 25- Procedimento de enchimento de molde quadrangular com a argamassa final

Criou-se esta amostra como uma simulação de um piso, no sentido de uma avaliação visual relativamente ao aparecimento de fissuras, para uma análise de acabamentos e posteriormente, ensaios face à ação da água aos 14 dias de idade.

6.4. Normas e procedimento de ensaios

Os métodos de ensaio utilizados basearam-se em normas existentes, nacionais e estrangeiras. Os ensaios em questão foram, no estado fresco, ensaio de consistência por espalhamento e no estado endurecido: ensaios de resistência mecânica, nomeadamente, de resistência à tração na flexão e resistência à compressão; e ensaios face à presença da água, como absorção de água por capilaridade

e por imersão, absorção de gota de água e erosão acelerada por jato de água. Antes da realização dos ensaios os provetes foram pesados e medidos.

6.4.1. Consistência por espalhamento

O ensaio de consistência por espalhamento é um dos ensaios mais utilizados para avaliar as propriedades das argamassas no seu estado fresco. O ensaio realizou-se segundo a norma CEN EN 1015– 3.

Realizou-se o ensaio de espalhamento após a mistura das argamassas, com objetivo de avaliar a influência da quantidade de amido de batata líquido na amassadura.

Colocou-se o molde tronco-cônico no centro da mesa de consistência, preencheu-se o molde com argamassa em duas camadas com espessura semelhante e compactou-se cada camada com um varão metálico. Após o preenchimento do molde, rasou-se a superfície superior com o auxílio de uma colher de pedreiro e posteriormente retirou-se cuidadosamente o molde para iniciar o espalhamento. Rodou-se a manivela da mesa de consistência fazendo 15 pancadas em 15 segundos. Posteriormente, mediu-se o espalhamento em três direções e obteve-se o diâmetro de espalhamento dado pela média das três medições.



Figura 26- Procedimento do ensaio de espalhamento

Numa primeira fase do ensaio, às argamassas 1. a 18., apontou-se para um espalhamento correspondente a um betão autocompactável, diâmetro fixado por Benabed et al. (2012), de 250mm.

Posteriormente, numa segunda fase deste ensaio, às argamassas 20. a 23.1., apontou-se para um espalhamento com um mínimo de 160mm, uma vez que entre 160 a 176mm é o intervalo que segundo

Gomes et al. (2012) corresponde a argamassas de terra com trabalhabilidade classificada como excelente (Bravo, 2010).

6.4.2. Resistência à tração na flexão e na compressão

Utilizaram-se três provetes de cada argamassa para os ensaios de resistência à tração na flexão e compressão aos 7, 28, 60 e 90 dias e o ensaio realizado baseou-se na norma EN 1015-11.

a) Determinação da resistência à tração por flexão:

Iniciou-se o ensaio posicionando o suporte para ensaios de flexão, na Lloyd (máquina utilizada para os ensaios de flexão e compressão) e colocando o provete sobre o suporte para ensaios de flexão para que as superfícies que transmitem a carga estabeleçam contacto com as faces de moldagem. Iniciou-se a aplicação da carga a meio vão a uma velocidade de 5,1mm/min até à rotura do provete. Após a rotura registaram-se a força F_f em N para a qual o provete atinge a rotura e a duração em segundos. Posteriormente calcula-se a resistência à tração por flexão R_t em MPa através da seguinte expressão:

$$R_t = \frac{1,5 \times F_f \times l}{b^3}$$

Em que:

F_f é a força máxima aplicada no ensaio para a qual o provete atinge a rotura [N]

L consiste na distância entre os pontos de apoio onde assenta o provete (100mm)

b corresponde ao lado da secção quadrada do prisma (40mm)



Figura 27- Realização de ensaio de resistência à tração na flexão, na LLOYD.

De seguida, repetiu-se o mesmo procedimento para os restantes provetes e finalmente obteve-se o valor médio para cada uma das argamassas ensaiadas.

No final, os prismas resultantes do ensaio foram guardados até se realizar o ensaio de compressão.

b) Determinação da resistência à compressão simples

Iniciou-se o ensaio colocando o suporte para ensaios à compressão, na Lloyd e posicionou-se um dos prismas resultantes da tração à flexão num dispositivo de compressão assegurando a área de contacto com as faces da moldagem de 1600mm².

Aplicou-se a carga que aumenta uniformemente à velocidade 5,25mm/min até à rotura do provete. Registou-se o valor da força máxima F_c em N para a qual o provete atingiu a rotura por compressão. Posteriormente, determinou-se a resistência à compressão R_c , em MPa, através da seguinte expressão:

$$R_c = \frac{F_c}{A}$$

Em que:

F_c consiste na força de rotura do provete à compressão [N]

A corresponde à área de aplicação da carga (1600mm²)



Figura 28- Prismas partidos no ensaio de tração na flexão

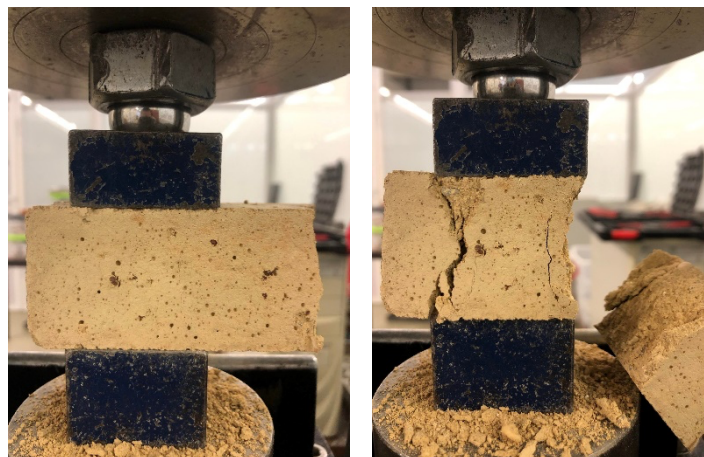


Figura 29- Realização de ensaio de resistência à compressão

De seguida, repetiu-se o mesmo procedimento para os restantes provetes e finalmente obteve-se o valor médio e o desvio padrão para cada uma das argamassas ensaiadas.

6.4.3. Absorção de água por capilaridade

Este ensaio realizou-se segundo uma técnica descrita por Hall & Djerbib (2004), em que se utiliza um material absorvente tipo “oásis”, com a finalidade de avaliar a velocidade de absorção capilar.

O ensaio tem como finalidade determinar o coeficiente de capilaridade (CC), correspondente à velocidade de absorção inicial que determina em parte a suscetibilidade à deterioração e influencia a durabilidade da argamassa e a proteção dos suportes; e o valor assintótico (VA), que corresponde ao valor máximo de água absorvida. Neste ensaio utilizaram-se provetes prismáticos previamente submetidos ao ensaio de flexão (semi-prismas). Para a realização deste ensaio colocaram-se duas “esponjas” imersas em água num recipiente e, após estas estarem completamente húmidas, colocaram-se os provetes em cima. Neste ensaio utilizaram-se dois provetes das argamassas AREF.F4 e AREF.F2.BR16.5, e a absorção de água foi obtida mediante a diferença de massa dos provetes, registadas aos 5, 10, 15, 30, 60, 120, 240, 480 e 1440 minutos.

O gráfico que relaciona a quantidade de água absorvida pela área da base (kg/m^2) com a raiz quadrada do tempo ($\text{min}^{1/2}$) permite obter a curva de absorção por capilaridade. A quantidade de água absorvida, M em kg/m^2 , é dada pela expressão:

$$M = \frac{m_i - m_o}{S}$$

Em que:

m_i representa a massa do provete no instante i

m_o consiste na massa do provete do instante inicial (kg)

S refere-se à secção do provete em contacto com a água ($0,04\text{m}^2$)



Figura 30- Procedimento da realização do ensaio de absorção de água por capilaridade

6.4.4. Absorção de água por imersão

Este ensaio baseou-se na Norma Australiana HB 195-2002 sobre construção com terra. De acordo com a norma, este teste é utilizado para determinar a absorção de água em amostras com solo estabilizado. Foram utilizados dois semi-prismas, um correspondente à argamassa AREF.F4 e outro à AREF.F2.BR16.5.

O procedimento de teste passa por mergulhar as amostras a analisar em água à temperatura ambiente por 24 horas. Posteriormente, a amostra é pesada após este período e após atingir a massa constante a amostra é pesada novamente.

A absorção de água por imersão, A_i , é determinada, em percentagem, através da expressão:

$$w_i = \frac{\text{Massa da amostra saturada} - \text{Massa seca}}{\text{Massa seca}} \times 100$$



Figura 31- Ensaio de absorção de água por imersão

6.4.5. Absorção de gota de água

Este ensaio realizou-se na placa de simulação de piso com 350mm x 350mm com 14 dias de cura, segundo procedimento de Eires, R. (2012) e permitiu avaliar a repelência à água do solo designado por “water drop penetration time test, (WDPT test). Inicialmente, poliu-se a placa com uma pedra e de seguida o procedimento do teste consistiu em deixar cair uma gota de água destilada, através de um conta-gotas, a 15mm do provete, registando o tempo que o solo demora a absorver a gota de água. Este procedimento foi repetido 4 vezes na placa, sendo aplicado nos 4 variados revestimentos da placa.



Figura 33- Demonstração dos revestimentos aplicados



Figura 33- 1. Polimento com pedra 2. Procedimento de ensaio de absorção de gota de água

6.4.6. Erosão acelerada por jato de água- Simulação de chuva

Realizou-se o ensaio de simulação de chuva na placa de simulação de piso com 350mm x 350mm com 14 dias de cura, adaptando o procedimento de Rezende et al (2016), com um tanque simulador de chuva, disponível no laboratório de matérias da UM.

O ensaio consistiu na colocação da placa no tanque simulador de chuva, mas, ao contrário de Rezende et al, neste estudo a placa foi colocada na horizontal, em vez de inclinada, com a face a 36 cm do jato de água, garantindo que os quatro acabamentos eram atingidos pelo jato numa área igual e de forma semelhante.



Figura 34- Procedimento de ensaio de erosão acelerada por jato de água em tanque simulador de chuva.

O ensaio deu-se por terminado ao fim de 15 minutos e foi realizada apenas uma avaliação visual da degradação da placa.

CAPÍTULO VII- Apresentação e discussão de resultados

7. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

No presente capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos neste estudo que respeita à caracterização da argamassa no estado fresco, com o ensaio de espalhamento e no estado endurecido, que compreendeu os ensaios de resistência mecânica, à flexão e compressão e ensaios face à presença de água líquida, tais como absorção de água por capilaridade e imersão, absorção da gota de água e erosão acelerado por jato de água.

ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

7.1. Abaixamento por espalhamento

Os primeiros ensaios de espalhamento realizaram-se às misturas sem ligante e sem a adição de caulino no solo (n. °1 a 18), no sentido de perceber os componentes e quantidades necessários para o espalhamento pretendido.

Avaliação do efeito dos aditivos

Inicialmente, realizou-se uma comparação entre a adição de água natural (h:O) e o amido de batata líquido (ABL) ao solo com a mesma quantidade e verificou-se que o ABL causa um incremento da fluidez e espalhamento da mistura. Também se testou um aumento da quantidade de ABL (6), que originou um diâmetro de espalhamento superior ao pretendido. Testou-se, também, o efeito do amido de milho que teve um comportamento semelhante à adição do amido de batata. Como tal, continuou-se a usar este último uma vez que é um residuo. No sentido de melhorar ainda mais o espalhamento, sem ter de adicionar maior quantidade de líquido e ainda prevenir o aparecimento de fungos, testou-se a adição dos seguintes sais de sódio: bicarbonato de sódio (BS), cloreto de sódio (CS) e borato de sódio ou bórax (B). Na mistura 7 testou-se a incorporação de BS com o solo e ABL, acrescentando à mistura CS (8) e verificou-se, de um modo geral, que a adição do sal prende a mistura e afeta a fluidez. Posteriormente, na mistura 14 é testada a adição de B ao solo com ABL e confirma-se que apenas 1% deste material provoca uma elevada fluidez, ou seja, o uso de bórax, em pouca quantidade, permite um incremento da fluidez da mistura e exclui a incorporação dos restantes aditivos e ainda pode atuar como antifúngico para o ABL.

Tabela 13- Resultados obtidos no ensaio de espalhamento, em mm

FASES	N.º DE MISTUR A	SIGLA	ESPALHAMENTO (MM)		
	1.	SH ₂ O20	160	170	168

Efeito dos amidos no solo	2.	SH:010ABL10	205	207	210
	3.	SABL20	220	225	128
	6.	SABL25		Demasiado fluido	
	4.	SABL5H:020	195	190	193
	5.	SABL10H:030		Demasiado fluido	
Efeito dos sais no solo	10.	SH:020BS1	223	218	217
	11.	SH:020CS1	240	239	233
Efeito de amido e sais no solo	7.	SABL20BS1	238	240	245
	8.	SABL20BS1CS1	238	227	233
	9.	SABL20BS2CS1	239	260	240
	12.	SABL20CS1	230	224	220
	13.	SABL20BS2	245	240	245
	14.	SABL20B1		Demasiado fluido	
	15.	SABL20B2		Demasiado fluido	
	16.	SABL20B0.5	250	250	250
	17.	SABL20B0.5BS0.5		Demasiado fluido	
	18.	SABL20BS0.5CS1		Demasiado fluido	

Após a percepção dos benefícios da adição de borax, testou-se a mistura 16, com apenas 0,5% deste aditivo e obteve-se o espalhamento ideal de 250mm. (Fig. 35).



Figura 35- Espalhamento obtido na mistura 16.

Avaliação do efeito dos ligantes com os aditivos selecionados

Na segunda fase de espalhamento, testaram-se as misturas 20. a 23.1., com solo, ABL e borato de sódio e materiais ligantes. Nesta fase testou-se a adição dos seguintes ligantes: cal hidratada (20.), cimento (21.), cal aérea (22.) e cal hidráulica natural (23.) e, em termo comparativo, às mesmas misturas adicionou-se também caulino (8%) (20.1, 21.1, 22.1 e 23.1.). Nesta fase, o espalhamento pretendido fixou-se um mínimo de 160 mm, de acordo com Gomes et al. (2012) uma vez que com a adição dos ligantes a trabalhabilidade reduziu bastante e se fosse adicionada muita quantidade de líquido iria

comprometer as resistências. Mesmo assim, como era expectável, aumentou-se a quantidade de ABL em todas as misturas com caulino e ajustou-se a quantidade de bórax para não ter de se adicionar ainda mais líquido. De um modo geral, os resultados de espalhamento foram favoráveis e apenas duas das misturas não atingiram o espalhamento mínimo fixado.

N.º DE MISTURA	SIGLA	ESPALHAMENTO (MM)		
20.	SABL23B0.5CH	171	174	174
20.1.	SCABL29B1.5CH	215	212	211
21.	SABL23B0.5CP	162	163	163
21.1.	SCABL31B2CP	155	156	158
22.	SABL23B0.5CV	155	155	157
22.1.	SCABL33B3CV	185	182	184
23.	SABL23B0.5NHL	170	167	169
23.1.	SCABL33B1.5NHL	182	179	180

Verificou-se que as argamassas obtiveram bons resultados de espalhamento, sendo que as argamassas com a adição de caulino necessitaram de mais líquido e, conseqüentemente tornaram-se mais fluidas.

ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

7.2. Resistência à flexão e compressão

Relativamente à compressão, Falcão (2014) sugere que para pisos de terra sem estabilizante, uma resistência entre de 2 a 5 MPa, já o grupo CRATerre sugere um mínimo de 2 MPa.

- **Influência da adição dos ligantes e caulino**

Todas as argamassas testadas são compostas por solo, amido de batata líquido e borato de sódio e um ligante, nomeadamente cal hidratada (CH), cimento (CP), a cal aérea viva (CV) e cal hidráulica natural (NHL).

Numa fase inicial destes ensaios (7dias) foi necessário optar se os ensaios continuariam com ou sem a adição de caulino nas argamassas. Os gráficos da figura 36 apresentam os resultados obtidos à compressão e flexão.

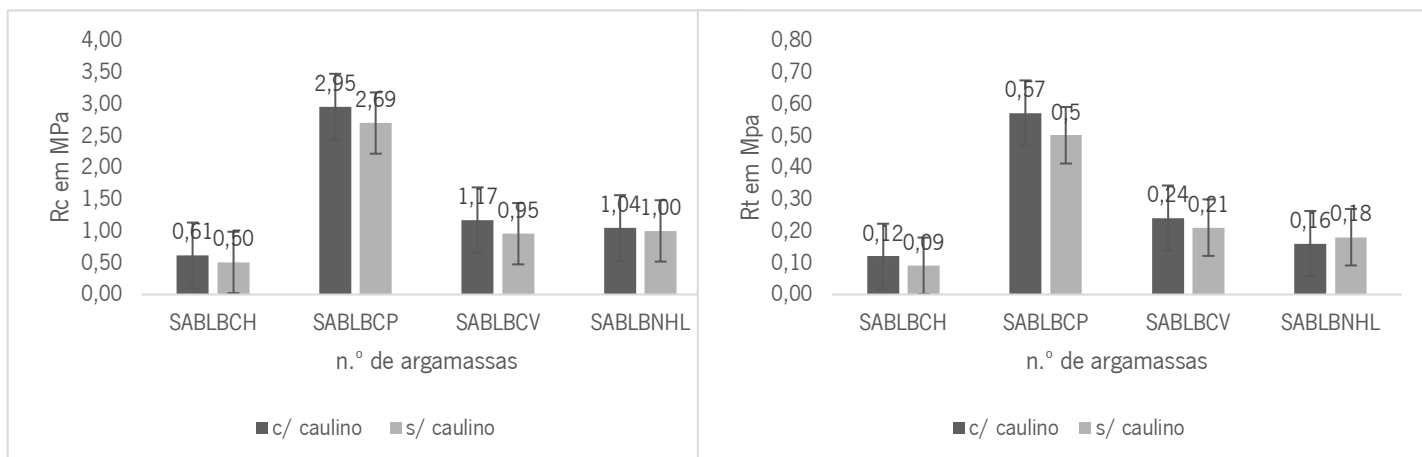


Figura 36- Efeito da adição dos ligantes na compressão e flexão, aos 7 dias

Segundos os resultados obtidos, os provetes compostos por NHL não apresentaram diferenças significativas nas resistências com a adição do caulino, tanto na flexão como na compressão. No entanto, nos restantes provetes compostos por CP, CV e CH, a adição de caulino provocou um incremento da resistência à flexão e compressão.

Relativamente ao desempenho dos provetes com CP, estes obtiveram mais do dobro das resistências em comparação com os provetes dos restantes ligantes. No entanto, na realização destes ensaios verificou-se que os provetes com CV apresentam uma força de ligação superior, visto que os provetes de CP desfizeram-se e os de CV apesar da quebra permaneceram unidos. De um modo geral, a adição de caulino apresentou melhorias nas resistências, principalmente na resistência à flexão. Posto isto, os ensaios de flexão e compressão, prosseguiram com a adição de caulino às argamassas ensaiados aos 28, 60 e 90 dias.

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão podem ser consultados na figura 37.

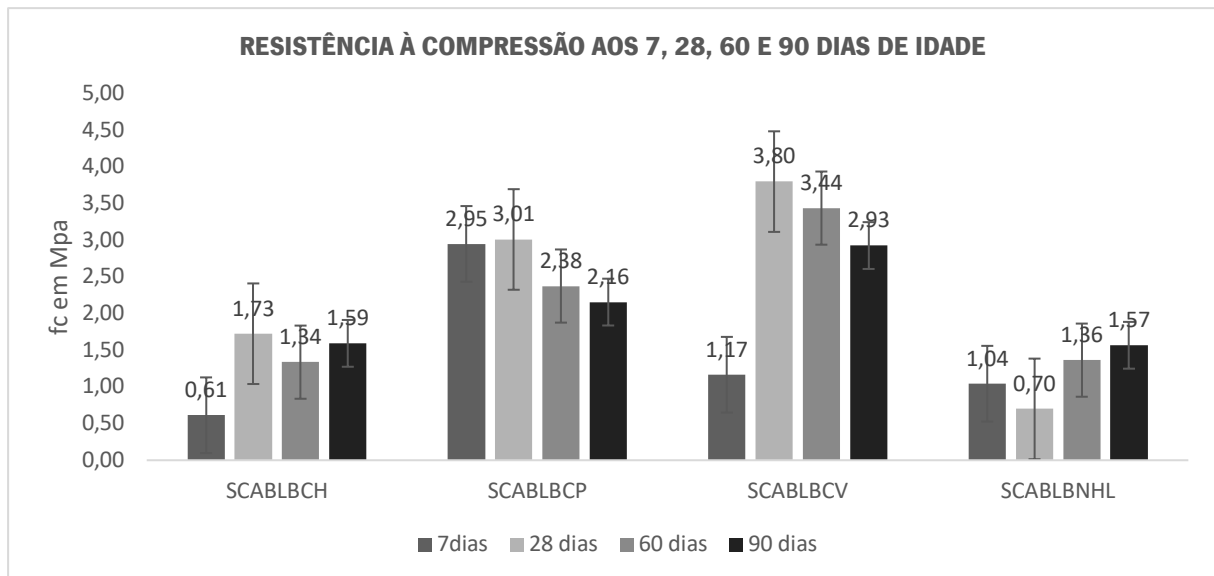


Figura 37- Resultados obtidos no ensaio de compressão

Pode-se observar que as argamassas com cal, nomeadamente SCALBCH, SCALBCV e SCALBNHL, inicialmente apresentam resistências baixas, que vão aumentando com mais dias de cura, o que já não se verifica na argamassa SCALBCP.

De acordo com a figura 37, a argamassa com maior resistência à compressão foi a argamassa com SCALBCV aos 28 e 60 dias.

Verifica-se também uma tendência em todas as argamassas, à exceção de NHL, de subida aos 28 dias, mas depois uma ligeira descida das resistências. De acordo com Eires (2012), esta descida justifica-se pela presença de alguma água na argamassa que aumenta as forças de ligação até um certo ponto, depois quando seca perde estas forças de ligação entre as partículas do solo.

Mais uma vez, após a análise destes resultados optou-se por continuar o estudo com esta argamassa com cal viva (argamassa referência) para uma terceira fase, visto que, para além da obtenção de melhores resistências, é uma opção mais sustentável do que o CP.

- **Influência da adição das fibras e brita**

Nesta terceira fase, adicionou-se à argamassa REF, fibras de papel reciclado (entre 2 a 4%) e brita (16.5%), resultando na argamassa e betão descritos no cap. 5, nomeadamente AREF.F4 e AREF.F2BR16.5.

Na figura 38 é realizada uma comparação gráfica da influência da adição destes elementos, na compressão e flexão aos 7 dias.

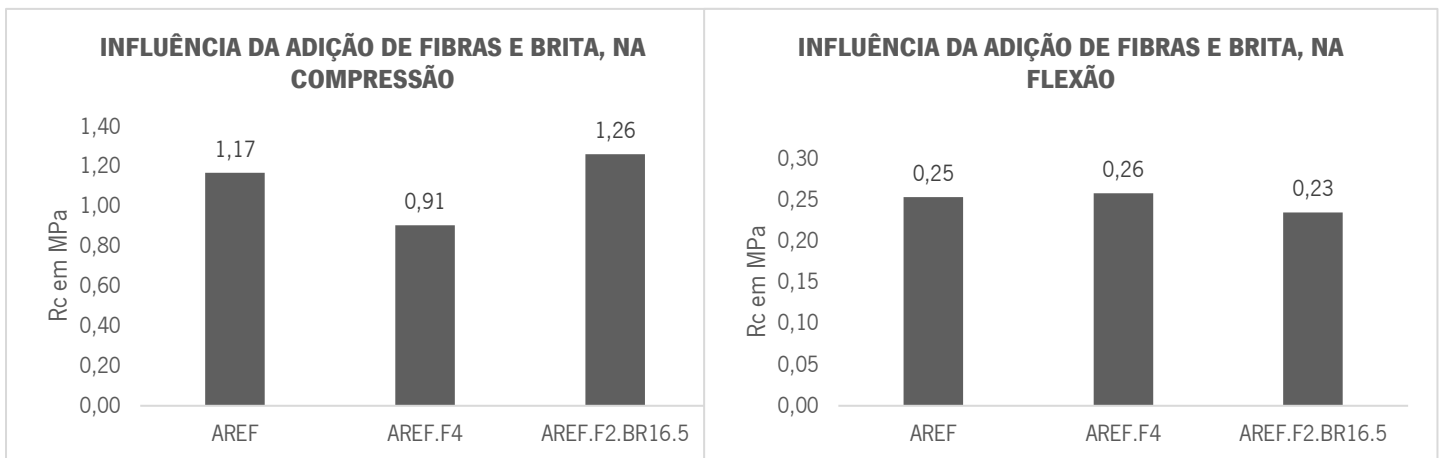


Figura 38- Influência da adição de fibras e brita na compressão e flexão aos 7 dias

É possível verificar que a adição da brita influenciou benéficamente relativamente à resistência na compressão, o que, provavelmente, iria obter ainda melhores resultados numa análise com mais dias de cura, nomeadamente aos 28 e 60 dias. No entanto, a argamassa não beneficiou com a adição de brita na resistência à tração na flexão. Apesar disso, não houve grandes oscilações de valores com estas adições nos ensaios de flexão.

Apesar dos valores do ensaio de compressão não se revelarem melhores, durante a execução do ensaio foi perceptível a ação das fibras relativamente à força de ligação e coesão da argamassa.

Na figura 39 estão registados os ensaios à compressão, em que, na figura 39.1, a argamassa não possui fibras, e na figura 39.2 a argamassa possui fibras (4%). No ensaio na argamassa sem adição de fibras, o provete quebrou em três partes, sendo que, na parte de maior incidência de força, o provete ficou esmagado; o mesmo não aconteceu na argamassa com adição de fibras, que, apesar de o provete se esmagar, este não se quebra e continua ligado.

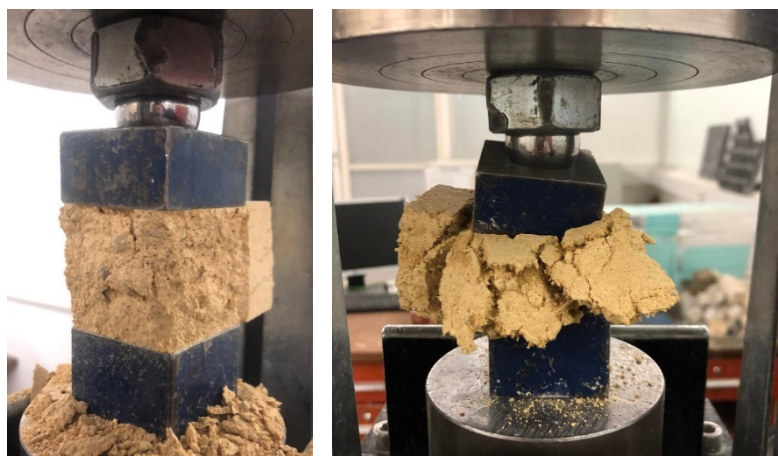


Figura 39- Influência da adição de fibras na resistência à compressão. 1. Argamassa sem fibras. 2. Argamassa com fibras

7.3. Absorção de água por capilaridade

Os ensaios de absorção de água por capilaridade foram realizados em dois provetes prismáticos fraturados, para a argamassa referência com fibras (AREF.F4) e o betão com fibras e brita (AREF.F2.BR16.5), aos 14 dias.

Os gráficos apresentados mostram a relação entre a quantidade de água absorvida, em kg/m^2 e o tempo de absorção em $\sqrt{t}(\text{h})$, e também uma análise gráfica comparativa com valores do coeficiente de capilaridade em $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{min}})$.

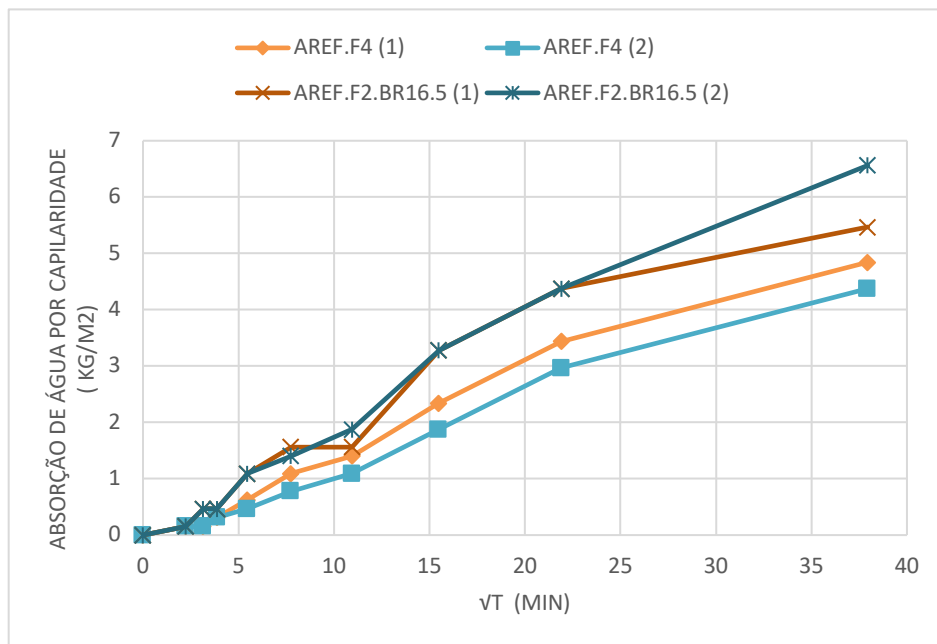


Figura 40- Absorção de água por capilaridade dos 4 provetes

No que diz respeito ao comportamento face à ação da água, pode-se verificar que as amostras de betão absorvem maiores quantidades de água por capilaridade do que as argamassas de fibras, principalmente nas últimas horas do ensaio.

Apesar de Dias (2017) defender que quanto maior a adição de fibras (no caso de papel kraft) maior a absorção de água, seja por capilaridade ou imersão, as argamassas AREF.F4 (com 4% de fibras de papel) mostraram-se bastante satisfatórias, pois apresentam valores de absorção de água relativamente baixos, o que conduz para taxas de absorção muito pouco significativas.

Nos quatro provetes ensaios, verificou-se que os correspondentes à argamassa de fibras obtiveram resultados muito semelhantes; já os do betão apresentaram absorções diferentes conforme os tempos registados.

A partir dos resultados acima descritos, é possível determinar o coeficiente de capilaridade através do declive do segmento de reta correspondente às pesagens até aos 30 minutos e expressa-se em $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{min}})$.

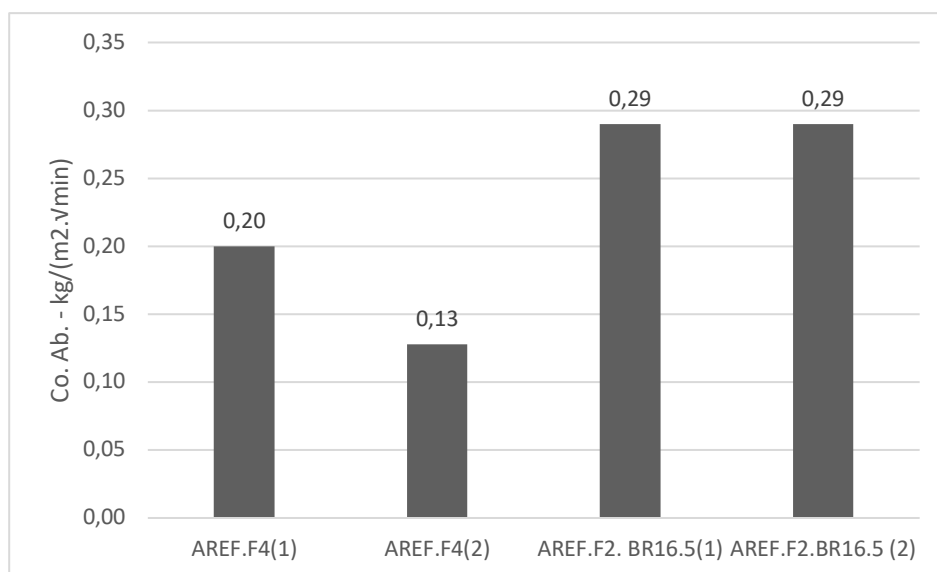


Figura 41- Coeficiente de absorção de água por capilaridade nas argamassas AREF.F4 e AREF.F2.BR16.5, em $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{min}})$

Os coeficientes de absorção indicados na figura 41 mostram que o betão composto por brita e fibras tem valores mais elevados de coeficiente de capilaridade, obtendo os mesmos valores em cada provete.

As argamassas compostas por fibras (4%) destacam-se pelos valores inferiores em relação as outras argamassas.

De um modo geral, o coeficiente de absorção de ambas argamassas revelou-se bastante baixo, uma vez que Eires et al (2001) recomendam um coeficiente de capilaridade entre 1 e 1.5 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{min}})$, para argamassas de substituição ou de renovação.

7.4. Absorção de água por imersão

O ensaio de absorção de água por imersão realizou-se segundo a norma australiana HB 195-2002 aos 14 dias de acordo com o procedimento descrito no capítulo 6.4.4. Neste ensaio testaram-se dois semi-prismas, um para a argamassa AREF.F4, e outro para o betão AREF.F4.BR16.5.

Na figura 42 observam-se os resultados obtidos em percentagens.

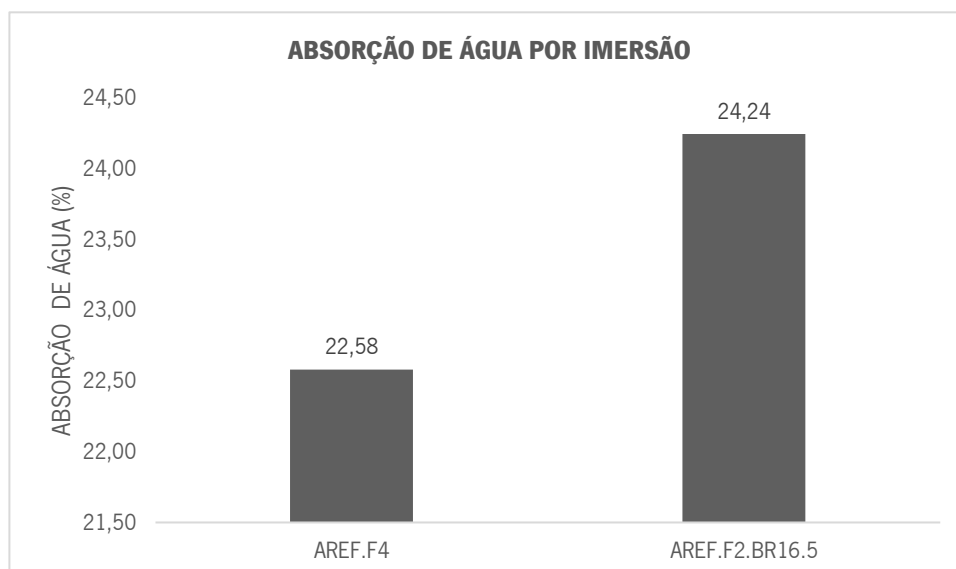


Figura 42- Absorção de água por imersão, em percentagens

Mais uma vez, conclui-se que o betão (AREF.F2.BR16.5), apesar de uma menor quantidade de fibras, destaca-se com os valores superiores de absorção de água por imersão, o que está, evidentemente, relacionado com a presença da brita na mistura.

7.5. Placa de simulação de piso

Criou-se este provete no sentido de uma avaliação visual respetivamente ao aparecimento de fissuras e fungos provocados pela presença do amido de batata líquido.



Figura 43- Aspeto da argamassa sem acabamentos

Após o nivelamento da argamassa foi perceptível a presença de bolhas, o que se resolveu com a aplicação do revestimento. Relativamente às fissuras, não se verificou o aparecimento das mesmas. Aplicaram-se os revestimentos, descritos na figura 44, na argamassa ao fim de 4 horas de cura.



Figura 44- Exposição dos acabamentos utilizados

Ao fim de 7 dias de cura, verificou-se que na argamassa sem revestimento apareceram fungos (bolores) e em nenhum dos acabamentos apareceram fissuras. O aparecimento de fungos revela que a adição de sais de borato de sódio não foi em quantidade suficiente para inibir o aparecimento de fungos.

Relativamente à alteração da cor da argamassa, o acabamento com óleo vegetal usado não mostrou alterações, o acabamento com cera de abelha e resina escureceu a argamassa e o acabamento com sabão de azeite clareou a argamassa.

Posteriormente, submeteu-se a placa a ensaios face a ação da água com 14 dias de cura, após um polimento em metade dos acabamentos para uma comparação deste processo.

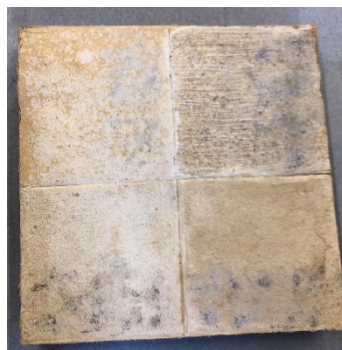


Figura 45- Aspeto da argamassa após polida com pedra (14 dias)

7.5.1. Absorção da gota de água

No ensaio de absorção de gota de água efetuado aos 14 dias, obtiveram-se resultados semelhantes relativamente aos tempos de absorção, à exceção do acabamento com óleo vegetal usado que absorveu a gota de água relativamente mais rápido.

Tabela 14- Resultados obtidos no ensaio de absorção da gota de água, em segundos (s)

ACABAMENTO	ABSORÇÃO (s)
Sem acabamento	27 s
Óleo vegetal usado	16 s

Sabão de azeite	31 s
Cera da abelha e resina	29 s

Apesar dos resultados descritos, verificou-se que o acabamento com sabão provoca uma perda considerável de material com a ação da água. Posteriormente testou-se pingar uma quantidade de gotas maiores e apurou-se que o revestimento com cera de abelha e resina não absorve quantidades maiores de gotas de água e nomeadamente, na zona polida com a pedra não perde material.

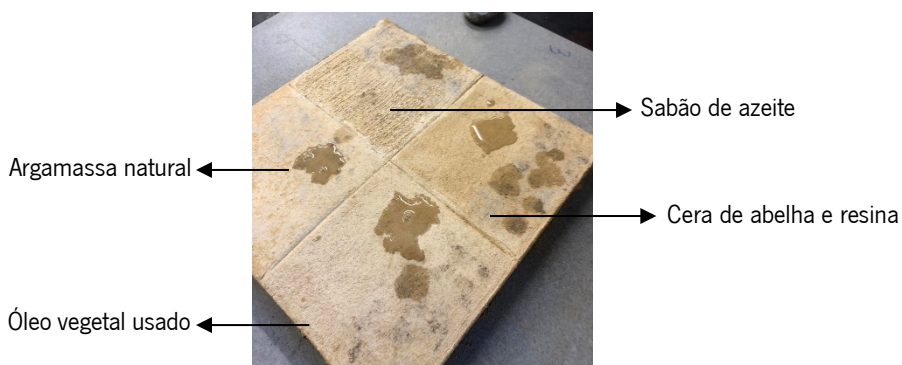


Figura 46- Absorção da gota de água

Concluindo, o acabamento com cera de abelha e resina exibiu os melhores resultados, principalmente em quantidades maiores de água, o óleo usado e a argamassa sem revestimento mostram-se semelhantes na absorção da gota e o acabamento com sabão de azeite apresentou o maior desgaste com a presença de gotas de água.

7.5.2. Erosão acelerada por jato de água

No ensaio de simulação de água, constatou-se resultados (visuais) semelhantes ao anterior. Realizou-se um registo fotográfico da erosão da placa aos 0, 1, 2, 4, 12 e 15 minutos.

Tabela 15- Registo fotográfico da erosão do material

TEMP 0 (MIN)	0	1	2	4	12	15
REG. FOTOGRAFICO						

Após a ligação do jato de água, a pressão causou logo uma erosão notória nas quatro divisões, principalmente no centro onde incidia o jato de água e particularmente no acabamento com sabão na fase inicial.

Apesar da percepção de um desgaste inicial, com o passar dos minutos, a placa manteve o aspeto inicial praticamente até ao fim do ensaio (após 15min.), mostrando uma estabilidade face ao jato de água.

Na figura 47 é possível verificar, mais uma vez, que o acabamento com cera de abelha e resina (d) apresenta o melhor resultado e, surpreendentemente, a argamassa sem revestimento (a) apresentou melhores resultados do que o óleo vegetal (c) e o sabão de azeite (b).

Relativamente ao sabão de azeite, o resultado mostrou-se, outra vez, desastroso, visto que na zona com o acabamento acabou por perder algum material. É de salientar que, nas zonas em que a água não incidiu diretamente, o desempenho das quatro faces foi bom, não apresentando sinais de erosão ou desgaste.

Apesar de tudo, a placa de simulação de piso apresentou bons resultados no geral, considerando que tinha apenas 14 dias de cura, não tendo tempo para a carbonatação da cal necessária. Também teve um bom comportamento relativamente aos cantos, que se mantiveram intactos.

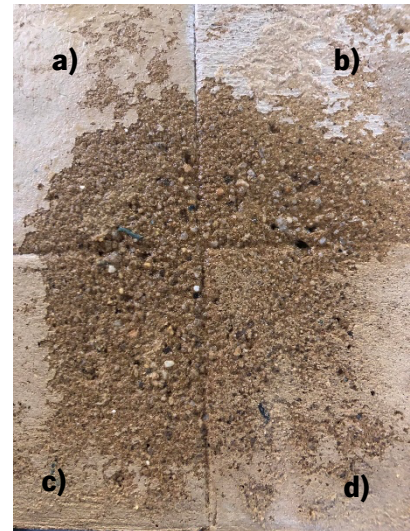


Figura 47- Erosão após ensaio de jato de água

CAPÍTULO VIII- Conclusões

8. CONCLUSÕES

8.1. Considerações finais

Na presente dissertação elaborou-se uma avaliação referente ao potencial do uso da terra em argamassas para aplicação como revestimento de pisos. Caracterizou-se a argamassa no estado fresco, na consistência por espalhamento e no estado endurecido, quanto às resistências mecânicas, nomeadamente na tração à flexão e compressão e na resistência face à ação da água, no estado líquido, na absorção de água por capilaridade, imersão e por gota de água e na erosão acelerado por jato de água. Os ensaios realizados permitiram avaliar estas propriedades das argamassas testadas, respeitando normas europeias e internacionais relativas aos procedimentos de ensaio.

A trabalhabilidade e textura conseguidas na argamassa foram muito agradáveis e os resultados de espalhamento enquadraram-se, de um modo geral, nos valores pretendidos; no entanto, algumas argamassas poderiam ter sido realizadas com um teor de água menor. Foi bastante satisfatório perceber que um resíduo (o amido de batata líquido) causa um incremento da trabalhabilidade da argamassa, comparativamente à água natural.

Relativamente à resistência mecânica, nomeadamente na tração à flexão e compressão, as argamassas, inclusive sem adição de brita, obtiveram resultados bastante satisfatórios, principalmente comparados a argamassas para rebocos tipo SI e SII, especialmente aos 28 e 60 dias. Também as argamassas compostas com cal viva e cimento enquadraram-se dentro das resistências sugeridas por outros autores de no mínimo 2MPa.

A nível de absorção de água, concluiu-se que a incorporação de brita foi prejudicial, fazendo com que a argamassa tenha maior capacidade de absorção de água tanto por capilaridade como imersão, devendo-se provavelmente à porosidade da argamassa. No entanto, ambas as argamassas obtiveram resultados de absorção satisfatórios.

Em relação aos ensaios de absorção da gota de água e de erosão acelerada por jato de água, os revestimentos não foram satisfatórios devido à perda de material após contacto com água. Possivelmente, se estes tivessem sido aplicados na argamassa seca os resultados seriam mais satisfatórios.

Relativamente à sustentabilidade das argamassas, a incorporação de resíduos alimentícios e materiais reciclados tornou-se benéfica, ajudando a reduzir a produção de resíduos e custos associados aos tratamentos dos mesmos.

Resumidamente, este trabalho permitiu pôr em prática os conhecimentos adquiridos durante o mestrado, mas também aprofundar e descobrir novos conhecimentos sobre este enriquecedor e interessante tema que é a construção com terra.

8.2. Estudos futuros

Apesar dos vários e antigos estudos sobre a construção com terra, continua a haver necessidade de estudar e testar materiais e revestimentos em soluções que permitam tornar as argamassas mais resistentes face à ação da água.

No âmbito deste trabalho surgiram problemáticas ou limitações que não foram resolvidas. Incentivam-se alguns pontos para estudos futuros, tais como:

- Testar outros resíduos com vista a que a construção com terra continue associada a uma prática sustentável;
- Perceber se o amido de batata líquido influencia as propriedades da argamassa no estado endurecido, nomeadamente, nas resistências mecânicas e na resistência à ação da água, no estado líquido, comparativamente à água natural;
- Testar a aplicação dos revestimentos utilizados na argamassa seca (com mais dias de cura);
- Testar a argamassa AREF.F4 e o betão AREG.F4.BR16.5 com mais tempo de cura, nomeadamente aos 28 e 60 dias, visto que as resistências da cal aumentam conforme o tempo de cura.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ArchDaily, www.archDaily.com, acessado em 2021.

Architetture da Ila terra, www.architetturedallaterra.it, acessado em 2021.

Barros, R. (2012). Betonilhas para o revestimento de pavimentos. Guimarães: UMinho | Escola de Engenharia.

Benabed, B., Kadri, E.-H., Azzouz, L., & Kenai, S. (28 de julho de 2012). Cement & Concrete Composites. Properties of self-compacting mortar made with various types of sand, pp. 1167-1173.

Borges, L., & Colombo, C. (s.d.). Construções com terra: Alternativa voltada à sustentabilidade.

Bravo, D. R. (2010). Influência nos métodos de ensaio nas características de argamassas de cal aérea e hidráulica. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.

Bravo, D. R. (2017). Conservação de Edifícios em Terra: Argamassas de Lisboa: INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA.

Brito, L., & Paranhos, H. (2017). Estabilização de solos. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, 425-438.

BS 8204-1:2002 - "Screeds, bases and in situ floorings -Part 1: Concrete bases and cement sand levelling screeds to receive floorings -Code of practice".

CEN - Methods of test for mortars for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. EN 1015-11: 1999/A1: 2006. Brussels, 1999/2006.

Champirre, F. (2017). Étude expérimentale du comportement hydro-mécanique de la terre crue compactée pour la construction. Lyon: Université de Lyon.

Crimmel, S. R., & Thomson, J. (2014). Earthen Floors: A modern approach to an ancient practice. new society publishers.

Dachverband Lehm e.V., Lehmbau Regeln – Begriffe, Baustoffe, Bauteile, editado por Vieweg e Teubner, 2008.

Damme, H. V., & Houben, H. (2018). Earth Concrete. Stabilization revisited. Cement and Concrete Research, 90-102.

Dias, R. (2017). Avaliação da interferência da adição de fibras de papel *kraft* em argamassas. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de tecnologia.

Eires, R., Cardoso, C., & Camões, A. (2001). Argamassas de terra e cal reforçadas com fibras naturais.

Eires, R. (2010). Construção em Terra: Desempenho melhorado em incorporação de biopolímeros. Guimarães: Universidade do Minho- Escola de Engenharia.

- EN 13813, "Screed material and floor screeds - Screed material - Properties and requirements". October 2002.
- Faria, L. M. (2015). ARQUITETURA DE TERRA: Das técnicas construtivas ao desenvolvimento de competências. Porto: Universidade Fernando Pessoa.
- Faria, P. (2012). Argamassas Sustentáveis. 2ª Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono.
- Fernandes, J., Mateus, R., & Bragança, L. (2014). O contributo dos materiais vernáculos. Contributos da arquitetura vernácula portuguesa para a sustentabilidade do ambiente construído, pp. 43-51.
- Ferreira, M. N. (2017). Argamassas de terra para rebocos interiores: Caracterização face à presença de água. Lisboa: Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa.
- Flickr, www.flickr.com, acedido em 2021.
- Galvão, C. (2016). Requisitos e avaliação de argamassas de betonilhas. Lisboa.
- Gomes, M., Gonçalves, T., & Faria, P. (2012). Evaluación de la influencia del contenido de agua en la trabajabilidad del mortero de tierra. Apuntes, 258-277.
- Gonçalves, S. (2016). Blocos de terra comprimida com incorporação de outros materiais. 2016: Universidade do Minho, Escola de Engenharia.
- Gonçalves, T. D., & Gomes, M. I. (2012). Construção de terra crua: potencialidades e questões em aberto. Engenharia para a sociedade, investigação e inovação, 1-7.
- Hall, M., & Djerbib, Y. (2004). Moisture ingress in rammed earth: Part 1 - The effect of soil particlesize distribution on the rate of capillary suction. Construction and Building Materials, 18(4), 269-280.
- Houben, H., & Guillard, H. (1989). Earth Construction (A comprehensive guide) || 2. Soil. Em H. Houben, & H. Guillard, Earth Construction (A comprehensive guide) (pp. 16-42). Rugby: Practical Action Publishing.
- Inês Carreira, I. p. (2021). Estabilização de argamassas de terra: uma revisão. Conservar o Património, 35-47.
- IPQ. (s.d.). NP EN 196-1: 2006. Métodos de ensaio de cimentos parte 1: Determinação das resistências mecânicas. Lisboa: IPQ.
- Leis, T., Folache, P., Barahona, F., & Jürmann, K. (2016). TADELAKT. Desenvolver métodos para ensinar tadelakt e construção natural e criar oportunidades abrangentes para adultos os aprenderem. Linguística, linguagista.blogs.sapo.pt, acedido em 2021.
- Lourenço, P., Brito, J. d., & Branco, F. (2001). Novas Tecnologias na Aplicação de Terra Crua para a Construção.

- LNEC – Solos. Análise granulométrica. Especificação LNEC E 196:1966, Lisboa, 1966
- LNEC – Solos. Análise granulométrica por peneiração húmida. Especificação LNEC E 239:1970, Lisboa, 1966
- Maia, L. R. (2016). Contribuição às construções em terra comprimida e compactada e influências no conforto. São Paulo: Universidade de São Paulo- Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.
- Marques, F. (2013). Tecnologias de aplicação de pinturas e patologias em paredes de alvenaria e elementos de betão. Lisboa: Técnico Lisboa.
- Minke, G. (2006). Building with EARTH: design and technology of a sustainable architecture. Berlin: Birkhäuser.
- Moevus, M., Fontaine, L., Anger, R., & Doat, P. (2015). Project: Béton d'Argile Environnemental (B.A.E.). Rapport scientifique.
- Paille-Tech. La Maison Positive, www.pailletech.be, acessado em 2021.
- Ponte, M. (2012). Arquitetura de terra: O desenho para a durabilidade das construções. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Rezende, M., Eires, R., Camões, A., & Jesus, C. (2016). Desenvolvimento e avaliação de um simulador de chuvas para teste acelerado de degradação, Engenharia Civil/Civil Engineering. Revista do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Issue 53, 17-28.
- Roa, G. Z. (2011). La Arquitectura en Tierra: una Alternativa para la Construcción Sostenible. Hábitat Sustentable, (pp. 35-39).
- Santos, T. d., Faria, P., & Silva, V. (2014). Caracterização de argamassa pré-doseada de terra. Simpósio de Argamassa e Soluções Térmicas de Revestimento, 1-5.
- Schroeder, H. (2016). *Sustainable Building with Earth*. Weimar , Thüringen , Germany: Springer.
- Silva, A., Silva, C., Nogueira, T., Ferreira, E., Silva, V., & Silva, J. (2019). Viabilidade técnica do uso de óleo de cozinha como aditivo em argamassas. Revista principia, divulgação científica e tecnologica, 40-48.
- Torgal, F., & Jalali, S. (2009). Construção em Terra: O passado, o presente e o futuro. Arte & Construção, 52-56.
- Torgal, F. P., & Jalali, S. (2010). *A sustentabilidade dos Materiais de Construção*. Braga: TecMinho.
- Torgal, F. P., Eires, R. M., & Jalali, S. (2009). *Construção em Terra*. Guimarães: TecMinho.
- Varum, H., Oliveira, C., Silveira, D., & Figueiredo, A. (2011). Caracterização mecânica e reforço de estruturas de adobe. XI Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra.

Walker, Peter e Standards Australia, HB 195-2002, The Australian earth building handbook, Standards Australia International, 2002.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)													
N.º DE MISTURA	LIGANTE (5%)	7 DIAS						28 DIAS					
		20.	Ca(OH)2	0,48	0,50	0,51	0,48	0,53	0,52	-	-	-	-
20.1.	Ca(OH)2	0,65	0,61	0,55	0,58	0,62	0,67	1,66	1,68	1,78	1,56	1,84	1,84
21.	CP	2,73	2,64	2,43	2,80	2,71	2,85	-	-	-	-	-	-
21.1.	CP	2,96	2,83	2,93	2,87	3,11	3,01	0,88	0,65	0,68	0,63	0,66	0,71
22.	CaO	1,01	0,85	1,01	0,85	1,02	0,99	-	-	-	-	-	-
22.1.	CaO	1,29	1,21	1,11	1,31	1,13	0,96	3,75	4,00	3,88	3,88	3,66	3,63
23.	NHL5	1,00	1,03	0,88	1,07	0,91	1,11	-	-	-	-	-	-
23.1.	NHL5	1,14	1,07	1,08	1,10	1,08	0,81	3,06	2,75	3,13	2,63	3,13	3,38
24.	CaO	0,96	0,85	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25.	CaO	1,38	1,23	1,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-

APÊNDICE 1 – RESULTADOS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

N.º DE MISTURA	LIGANTE (5%)	60 DIAS						90 DIAS					
		20.	Ca(OH)2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20.1.	Ca(OH)2	1,50	1,50	1,63	1,63	1,63	0,14	1,75	1,25	1,75	1,50	1,50	1,81
21.	CP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21.1.	CP	2,13	2,56	2,25	2,25	2,63	2,44	2,25	2,19	2,56	2,19	1,88	1,88
22.	CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22.1.	CaO	3,13	3,13	3,69	3,69	3,75	3,25	2,56	3,50	3,25	3,25	2,50	2,50
23.	NHL5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23.1.	NHL5	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,31	2,00	*	1,38	1,69	1,44	1,34
24.	CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25.	CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Os provetes partiram durante o ensaio.

Tabela 16- Resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão, em MPa