



Solo de São Tomé e Príncipe para construção de Blocos de Terra Compactada

HAYTA ALMEIDA FONSECA

Outubro de 2018

**Solo de São Tomé e Príncipe para Construção de Blocos
de Terra Compactada**

Hayta Almeida Fonseca

Setembro de 2018

Orientação: Professor Doutor Paulo Alexandre Pereira da Silva
Co-Orientação: Professor Doutor José Fernandes

“Semeia de manhã a tua semente e não dêes descanso às tuas mãos até ao anoitecer, pois não sabes qual é a que dará bons resultados, se será uma ou outra, ou se ambas serão boas”.

Eclesiastes 11:6 - Tradução do Novo Mundo

Agradecimentos

Depois de tantas dificuldades ultrapassadas, chega ao fim mais um objetivo da minha vinda a Portugal. Foi um caminho difícil de percorrer, porém fi-lo com muita dedicação e amor, pois sempre estive acompanhada de pessoas especiais que de forma direta ou indireta contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. É com muito gosto e carinho que deixo aqui a minha gratidão a todos.

Em primeiro lugar, tenho de agradecer ao meu orientador Professor Doutor Paulo Silva e ao co-orientador Professor Doutor José Fernandes, pela oportunidade de realizar um trabalho que contribui para o desenvolvimento do meu País. Meu muito obrigada por partilharem comigo os seus conhecimentos, pelo apoio incansável e por toda a paciência que tiveram para comigo.

A toda minha família, em especial as minhas irmãs, Nathalie Fonseca e Manuela Fonseca, pelo carinho, companheirismo, por acreditarem em mim e por persistirem comigo sempre, obrigada.

Meu muito obrigada ao departamento de Engenharia Geotécnica e ao Diretor do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção, em especial a Doutora Sílvia Spínola, a Engenheira Isilda Cruz e ao Técnico Carlos Ferreira, pelo apoio incondicional, que me foi dado durante todo o meu trabalho.

Deixo também o meu agradecimento a SKREI, em particular aos Arquitetos Francisco Fonseca e António Escrivanes, ao Engenheiro César Cardoso, ao Adjober Carvalho e ao Odair Delgado, por terem me acompanhado ao longo desta caminhada.

Por fim, quero agradecer aos meus amigos, companheiros e colegas, Sara Costa, César Neves, Lagese Viana, Albertina Abreu, Joymilter Reis, Márcio Ribeiro e Gilmar Quaresma.

I. Resumo

Desde os tempos primórdios, que o solo é um dos materiais de construção mais usado. Contudo, constatou-se que ao longo dos tempos foram surgindo novos materiais de construção, nomeadamente o betão, o aço e o tijolo cerâmico. A partir do século XX os países mais desenvolvidos aderiram em grande escala os novos materiais o que consequentemente provocou uma desvalorização e desuso do solo enquanto principal material construtivo. Com o sucesso alcançado através da implantação desses novos materiais de construção desenvolveu-se várias pesquisas em torno dos mesmos, com o intuito de sua melhor compreensão, caracterização e individualização. O crescimento sustentável foi uma das preocupações sufragadas, o que de facto veio dar mais ênfase na utilização do solo nas construções, tendo em conta as particularidades que o material oferece. Desse modo, surgiram Blocos de Terra Compactados, desenvolvidos como uma inovadora técnica de construção em terra, angariando assim, uma grande aceitação na atualidade, dado que a sua tecnologia permite a standardização dos blocos e um maior controlo de qualidade no seu processo de produção.

O objeto de estudo da presente dissertação incide, sobre a caracterização de quatro amostras de solo provenientes de São Tomé e Príncipe, a fim de avaliar se os mesmos contêm componentes e propriedades para serem utilizados enquanto material construtivo.

Os parâmetros avaliados na caracterização das amostras foram a granulometria, a sedimentação, o limite de consistência, a matéria orgânica, a densidade das partículas e a análise química. As amostras estudadas foram recolhidas em localidades diferentes, sendo, Riboque (amostra A), Bobo Forro (amostra B), Mesquita (amostra C) e Correia (amostra D).

Os resultados obtidos na análise granulométricas para as amostras A, B, C, e D foram: 18,0; 9,00; 3,00 e 4,00% no conjunto argilas e siltes, 82,0; e 91,0; 97 e 96,0% em areia, respetivamente. Após a análise de sedimentação, as amostras A, B, C e D apresentaram 0,200;0,110;1,430 e 0,990% em argila e 17,800; 9,570; 0,070 e 0,980% em silte, respetivamente. Todas as amostras estudadas, apresentaram um comportamento arenoso, por possuem percentagens de areia superiores a 50%, na sua composição. Quanto ao limite de consistência, as amostras A, B, C e D, apresentaram os seguintes resultados para o índice de plasticidade: 13,50; 10,6; 9,37 e 13,4%, respetivamente. As percentagens da matéria orgânica encontradas nas amostras foram: 12,6% na amostra A, 5,58% na amostra B, 11,7% na amostra C e 15,32% na amostra D. Os valores encontrados para as densidades das partículas foram: 2,04% na amostra A, 2,93% na amostra B, 2,96 % na amostra C e 3,02% na amostra D. Por fim, constatou-

se que o elemento químico predominante nas amostras, foi o ferro, e por consequente o óxido de ferro. Assim, a amostra A apresentou 26,30%, amostra B 6,63%, amostra C 33,40% e a amostra D 23,14%, em óxido de ferro.

Os BTC produzidos foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão, a massa volúmica e a absorção de água por absorção. Para a mistura com 10% em cimento, as amostras A, B, C, e D apresentaram as seguintes percentagens para a absorção de água: 27,9; 22,1; 31,3 e 27,5%. Para a mistura com 15% em cimento, as amostras A, B, C, e D apresentaram as seguintes percentagens para a absorção de água: 25,7; 19,0; 30,4 e 26,4%. Por fim, para a mistura com 10% em cimento e 20% em areia, as amostras A, B e C apresentaram as seguintes percentagens para a absorção de água: 26,1; 17,4 e 25,2%, respetivamente.

Quanto a resistência à compressão os blocos produzidos com os solos C e D, com 15% de cimento, apresentaram melhores resultado. Para essas formulações a resistência à compressão atingiu valores que se aproximam dos 7, 0 MPa. No caso dos BTC produzidos pelos solos A e B já não foi tão claro o efeito positivo de aumentar a percentagem de cimento de 10 para 15%.

Palavra Passe: Solo, Bloco Terra Compactada, São Tomé e Príncipe.

II. Resume

Since the earliest times, that soil is one of the most used building materials. However, it is necessary that the long term of the new construction buildings, namely concrete, steel and ceramic brick. From the twentieth century, the best results are the scale of new materials that, consequently, provoke devaluation and disuse of the soil as main constructive material. With the success achieved through the collection of new paint materials, the various researches were carried out around them, with the purpose of their comprehension, characterization and individualization. Sustainable growth was one of the strategies to be funded, which in fact became more important in the use of soil in buildings, taking into account the particularities that the material offers. In this way, Compact Earth Blocks were created, created as a technical ground-based construction technology, allowing greater acceptance in today's world, allowing its technology to standardize blocks and greater quality control in its production process.

The object of study of the present dissertation focuses on the characterization of four soil samples from São Tomé and Príncipe, in order to evaluate if they contain components and properties to be used as a constructive material.

The parameters evaluated in the characterization of the samples were granulometry, sedimentation, limit of consistency, organic matter, particle density and chemical analysis. The samples studied were collected at different locations, Riboque (sample A), Bobo Liner (sample B), Mesquita (sample C) and Correia (sample D).

The results obtained in the granulometric analysis for samples A, B, C, and D were: 18.0; 9.00; 3.00 and 4.00% in total clays and silts, 82.0; and 91.0; 97.0 and 96.0% in sand, respectively. After the sedimentation analysis, samples A, B, C and D presented 0.200, 0.110, 1.400 and 0.990% in clay and 17.800, 9.570, 0.070 and 0.980 % silently, respectively. All the studied samples presented a sandy behavior, as they have sand percentages above 50%, in their composition. As for the limit of consistency, samples A, B, C and D, presented the following results for the plasticity index: 13.5; 10.6; 9.37 and 13.4%, respectively. The percentages of organic matter found in the samples were: 12.6% in sample A, 5.58% in sample B, 11.7% in sample C and 15.3% in sample D. The values found for the densities of the particles were: 2.04% in sample A, 2.93% in sample B, 2.96% in sample C and 3.02% in sample D. Finally, it was found that the predominant chemical element in the samples was iron, and consequently the iron oxide. Thus, sample A presented 26.3%, sample B 6.63%, sample C 33.4% and sample D 23.1%, in iron oxide.

The produced BTC were subjected to the tests of compressive strength, density and absorption of water by absorption. For the 10% cement blend, samples A, B, C, and D showed the following percentages for water absorption: 27.9; 22.1; 31.3 and 27.5%. For the 15% cement blend, samples A, B, C, and D showed the following percentages for water uptake: 25.7; 19.0; 30.4 and 26.4%. Finally, for the mixture with 10% cement and 20% sand, samples A, B and C had the following percentages for water absorption: 26.1; 17.4 and 25.2%, respectively.

About the compressive strength, the blocks produced with the C and D soils, with 15% cement, presented better results. For these formulations the compressive strength reached values approaching 7 MPa. In the case of BTCs produced by soils A and B, the positive effect of increasing the percentage of cement from 10 to 15% has not been so clear.

Password: Soil, Block Compressed Earth, Sao Tome and Principe.

III. Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento e motivação.....	1
1.2	Técnica construção em terra	1
1.3	Enquadramento histórico das construções em terra a nível mundial	2
1.4	Enquadramento histórico das construções em terra em Portugal	4
1.5	Enquadramento histórico das construções em terra em São Tomé e Príncipe.....	5
1.6	Objetivos geral	6
1.7	Objetivos específicos e metodologia	6
2	Construção em terra	9
2.1	Caracterização da terra como material construtivo	9
2.1.1	Análise granulométrica.....	9
2.1.2	Propriedade higrotérmica.....	12
2.1.3	Limites de Atterberg ou limites de consistência	12
2.1.4	Matéria orgânica	13
2.1.5	Espectrometria de Fluorescência de Raios X	13
2.2	Blocos de terra compactados	15
2.2.1	Blocos de terra compactada não estabilizados e estabilizados	17
2.2.2	Blocos de terra compactada estabilizados com cimento.....	20
2.2.3	Vantagens e desvantagens.....	21
2.2.4	Impacto ambiental dos blocos de terra compactada	22
2.2.5	Tipos de blocos de terra compactada	23
2.2.6	Equipamento para a produção dos de blocos de terra compactada	25
2.2.7	Formulação dos de blocos de terra compactada	25
2.3	Caracterização dos blocos de terra compactada	26
2.3.1	Resistência à compressão	27
2.3.2	Absorção de água	29
2.3.3	Massa volúmica	30
2.3.4	Permeabilidade à água	31
2.3.5	Valores limites para caracterização dos blocos de terra compactada	31
3	Metodologia experimental	33
3.1	Amostra e amostragem	33
3.1.1	Locais da amostragem.....	33
3.1.2	Técnica da amostragem.....	34
3.1.3	Preparação das amostras no laboratório	35
3.2	Caracterização das amostras da terra	35
3.2.1	Análise granulométrica.....	35
3.2.2	Teor em água.....	37
3.2.3	Limites de Atterberg ou limites de consistência	38
3.2.4	Matéria orgânica	40

3.2.5	Espectrometria de Fluorescência de Raios X	41
3.2.6	Densidade das partículas do solo	41
3.3	Produção dos blocos de terra compactada	43
3.3.1	Dimensão dos blocos de terra compactada	43
3.3.2	Formulação dos Blocos de Terra Compactada	44
3.4	Controlo de qualidade dos Blocos Terra Compactada	46
3.4.1	Resistência à compressão	46
3.4.2	Absorção de água	47
4	Análise de Resultados	49
4.1	Caracterização das amostras do solo	49
4.1.1	Limites de liquidez.....	49
4.1.2	Ensaio de granulometria	50
4.1.3	Caracterização dos solos por Espectrometria de Fluorescência de Raios	53
4.1.4	Síntese dos resultados das análises aos solos.....	56
4.2	Caracterização dos blocos de terra compactada	57
4.2.1	Variação na massa após os 28 dias de cura e massa volúmica, dos BTC	58
4.2.2	Absorção de água e a resistência à compressão dos BTC.....	59
4.2.3	Resistência à compressão dos BTC	60
5	Conclusão e perspectivas de estudo e desenvolvimento.....	63
5.1	Conclusão	63
5.2	Perspectivas de estudo e desenvolvimento	64
	Bibliografia	65
	Anexos	69

IV. Índice de Figura

Figura 1.1 - Diagrama dos sistemas de construção em terra.....	2
Figura 1.1 - Construção com terra a nível mundial.....	3
Figura 1.2 - Distribuição geográfica das construções Portuguesas com terra....	4
Figura 1.3 - Utilização da terra em construção em STP.....	5
Figura 1.4 - Aplicação da terra como material de construção.....	6
Figura 1.1 - Escala para as frações granulométricas.....	11
Figura 1.2 - Variação de teor de humidade na amostra de solo.....	12
Figura 1.3 - Analisador por fluorescência de Raios X.....	14
Figura 1.4 - Processo de produção dos BTC.....	16
Figura 1.5 - Escolha do tipo de estabilizante	19
Figura 1.6 - Estabilização do solo com diferentes teores de cimento.....	20
Figura 1.7 - Quantidade de dióxido de carbono presente em diferentes materiais.....	23
Figura 1.8 - BTC Inteiro e Meio.....	24
Figura 1.9 - BTC Canaleta.....	24
Figura 2.10 – Prensa utilizada em STP para produção dos BTC.....	25
Figura 1.51 - Traço estudado por Neves e Cuna.....	26
Figura 1.12 - Resistência à compressão: Estado seco versus estado saturado.	28
Figura 1.6 - Localização geográfica dos pontos da amostragem em STP.....	33
Figura 1.7 - Técnica da amostragem	34
Figura 1.8 – Amostras de solo estudadas.....	34
Figura 1.9 - Processos de quarteamento das amostras.....	35
Figura 1.10 - Ensaio de sedimentação.....	36
Figura 1.11 - Ensaio do limite de liquidez.....	39
Figura 1.12 - Ensaio do limite de plasticidade.....	39
Figura 1.13 – Preparação da amostra para EFRX.....	41
Figura 1.14 - Leitura da amostra.....	41
Figura 1.15 - Determinação da densidade das partículas do solo.....	42
Figura 1.16 - A dimensão e o tipo dos BTC produzidos.....	43
Figura 1.17 - Prensa utilizada na produção dos BTC.....	43
Figura 1.18 - Preparação da mistura para a prensagem.....	44
Figura 1.19 - Produção dos BTC.....	45
Figura 1.20 - Prensa de ensaios de compressão e o disco da prensa.....	46
Figura 1.21 - Ensaio de absorção de água por imersão.....	47
Figura 4.22 - Representação gráfica do logaritmo de número de pancada em função do teor de humidade	49
Figura 1.23 - Curvas granulométrica obtidas para os solos A, B, C e D.....	51
Figura 1.24 - Representação gráfica da evolução densidade corrigida da suspensão dos solos em função do tempo	52

Figura 1.25 - Curvas granulométrica obtidas para os solos, partículas com dimensão inferior.....	53
Figura A - Carta de solos, adaptado de Hélder Lains e Silna	69

V. Índice de Tabela

Tabela 1.1 - Requisitos normativos para os solos usados na produção de BTC...	12
Tabela 1.2 - Classificação do solo de acordo com o seu limite de liquidez e índice de plasticidade.....	13
Tabela 2.3 - Quantidades de estabilizantes a incorporar na mistura	19
Tabela 1.3 - Quantidades de misturas aplicadas em São Tomé.....	26
Tabela 1.4 - Resistência média à compressão dos BTC reportada	28
Tabela 1.5 - Absorção de água dos BTC reportado por diferentes autores.....	29
Tabela 1.6 - Massa volúmica seca de BTC reportada por diferentes autores.....	30
Tabela 1.7 - Permeabilidade do BTC estabilizados com quantidades diferentes de cimento.....	31
Tabela 1.8 - Valores de referência para a resistência a compressão e a absorção de água dos BTC.....	31
Tabela 1.9 - Percentagens de cimento e areia, em relação a quantidade mássica do solo.....	44
Tabela 1.10 - Quantidade de água adicionada para a produção dos BTC com diferentes formulações.....	45
Tabela 1.11 - Caracterização dos solos por EFRX (elementar).....	54
Tabela 1.12 - Caracterização dos solos por EFRX (óxidos).....	55
Tabela 1.13 - Resultados obtidos dos parâmetros analisados nos solos.....	56
Tabela 1.14 – Resultados da massa de água pedida e a massa volúmica dos BTC, após a cura.....	58
Tabela 1.15 - Percentagem de absorção de água por imersão dos vários BTC produzidos.....	58
Tabela 1.16 - Resultados para força (F) e resistência à compressão (R), dos BTC.	60
Tabela A - Massa pesada submetida ao ensaio granulométrico e sedimentação..	70
Tabela B - Correção de temperatura, para densímetros calibrados para 20°C.....	70
Tabela C - Viscosidade da água em função da temperatura da suspensão.....	71
Tabela D - Densidade da água e o quociente (K) entre a densidade da água à T1 e a 20°C.....	71
Tabela E.1 - Teor de humidade inicial do solo para limites de liquidez.....	72
Tabela E.2 - Massas pesadas na determinação do limite de liquidez e o respetivo teor de humidade adicional.....	72
Tabela E.3 - Teor de humidade e logaritmo de número de pancada no ensaio de limite de liquidez.....	73
Tabela F.1 - Quantidades do material retidos e passados pela serie de peneiro utilizados, para amostra A	73
Tabela F.2 - Quantidades do material retidos e passados pela serie de peneiro utilizados, para amostra B.....	74
Tabela F.3 - Quantidades do material retidos e passados pela serie de peneiro utilizados, para amostra C.....	74

Tabela F.4 - Quantidades do material retidos e passados pela serie de peneiro utilizados, para amostra D.....	75
Tabela G.1 - Leituras da densidade (Ls), nível (Z) da dispersão, temperatura (T) e a correção do menisco (CM) e a viscosidade (μ), em função do tempo da sedimentação, para as amostras A e B.....	76
Tabela G.2 - Leituras da densidade (Ls), nível (Z) da dispersão, temperatura (T) e a correção do menisco (CM) e a viscosidade (μ), em função do tempo da sedimentação, para as amostras C e D.....	76
Tabela G.3 - Correção da densidade do agente antifloculante e da dispersão.....	77
Tabela G.4 - Correção da densidade da suspensão (Lc).....	77
Tabela G.5 - Diâmetro das partículas (D) e o material retido de diâmetro inferior (nD).....	77
Tabela H.1 - Resultados os elementos químicos e dos respetivos óxidos analisados, amostra A.....	78
Tabela H.2 - Resultados os elementos químicos e dos respetivos óxidos analisados, amostra B.....	79
Tabela H.3 - Resultados os elementos químicos e dos respetivos óxidos analisados, amostra C.....	80
Tabela H.4 - Resultados os elementos químicos e dos respetivos óxidos analisados, amostra D.....	81
Tabela I - Teor de humidade inicial do solo seco ao ar livre.....	82
Tabela J.1 - Teor de humidade inicial do solo para limites de plasticidade.....	82
Tabela J.2 - Determinação do limite de plasticidade.....	83
Tabela K – Resultados experimental obtidos na determinação da matéria orgânica.....	83
Tabela L.1 - Resultados obtidos na calibração do picnómetro.....	83
Tabela L.2 - Resultados obtidos na calibração do picnómetro	84
Tabela M.1 - Massa dos BTC antes e depois da cura.....	85
Tabela M.2 - Massa dos BTC depois da cura e da imersão no banho.....	85

VI. Lista de abreviatura

BTC - Blocos de terra compactada

STP - São Tomé e Príncipe

H - Teor em água

EFRX - Espectrometria de Fluorescência de Raios X

LL- Limite de liquidez

LP - Limite de plasticidade

IP - Índice de plasticidade

NP - Norma Portuguesa

NBR - Norma Brasileira Registrada

1 Introdução

1.1 Enquadramento e motivação

Nos últimos anos, o Estado de São Tomé e Príncipe (STP) tem investido em várias soluções alternativas para melhoria da qualidade de vida da população Santomense, conjugando-as com as políticas de proteção ambiental. Essas soluções aplicam-se às construções mais económicas e com pouco impacto negativo ambiental. Denota-se que esta medida poderá trazer ganhos inimagináveis para população com menos recursos financeiros e para o próprio Estado Santomense, tendo em conta que as populações menos favorecidas constroem as suas casas em madeira, o que tem provocado desflorestação acentuada. A extração ilegal de areia para produção de materiais construtivos também tem sido um problema.

Nesta senda, surgiu o interesse de realizar um trabalho científico que pudesse contribuir para solução desse flagelo em STP. O presente estudo incide sobre o seguinte tema: "Solo de São Tomé e Príncipe para Construção de Blocos de Terra Compactada" (BTC), de modo a avaliar a possibilidade de utilizar o solo como um material alternativo e seguro para a construção habitacional.

1.2 Técnica construção em terra

Segundo Torgal *et al* (2009), existem várias técnicas de construções que empregam a terra como matéria-prima, conforme ilustrada na Figura 1.1. Estas técnicas subdividem-se em três sistemas fundamentais:

- **Monolítica (in situ)** - A construção monolítica pode ser executada de diversas formas, por exemplo a taipa é a técnica mais conhecida em Portugal e consiste na compactação de terra húmida num taipal (cofragem de madeira). A terra moldada é um processo construtivo que recorre ao uso de cofragens à semelhança da taipa, mas é utilizada terra num estado mais plástica e sem compactação.
- **Por unidade (alvenaria)** - Na execução de construções em alvenaria de terra são utilizados diferentes tipos de unidades pré-fabricadas, como o adobe, o BTC, os blocos de terra recortada. A produção do adobe depende da moldagem de terra plástica, esta poderá ser desenvolvida quer por um processo mecânico quer por um processo hidráulico. Todavia, os blocos recortados consistem no fabrico de unidades obtidas por um processo de extrusão utilizando terra plástica. No que se refere

aos BTC, estes são produzidos por prensagem da terra no seu estado húmido, podendo ter um processo de fabrico mecânico ou hidráulico. Os BTC estudados na presente dissertação serão produzidos por um processo mecânico.

- **Por enchimento e revestimento** - Entre estas técnicas encontra-se o tabique ou taipa à galega, também designada por taipa de mão, pau a pique ou barro armado no Brasil, por “*torchis*” na França, ou por “*Wattle and Doub*” no Reino Unido. Esta técnica consiste em colocar a terra no seu estado plástico e ou cal, sobre um suporte engradado de madeira cana ou vime.

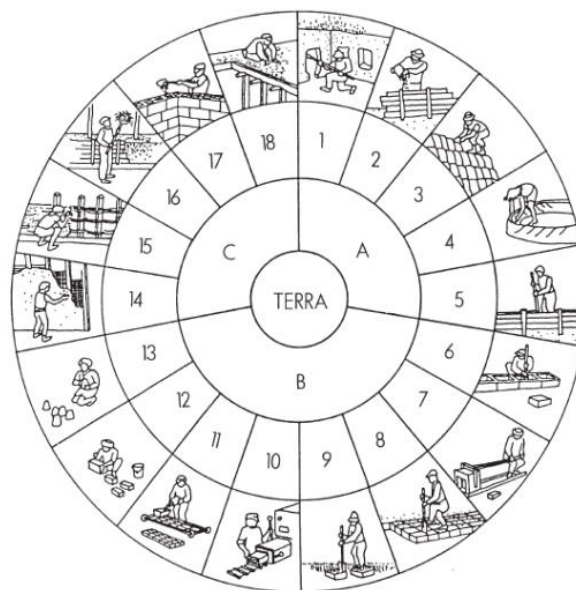


Figura 1.1 - Diagrama das diferentes famílias de sistemas de construção antigos e modernos, que utilizam terra como matéria-prima (Torgal *et al*, 2009). Nota: A) Utilização de terra sob a forma de monolítica - 1. Terra escavada; 2. Terra plástica; 3. Terra empilhada; 4. Terra modelada; 5. Taipa; B) Utilização de terra sob forma de alvenaria – 6. Blocos apiloados; 7. Blocos de terra compactada; 8. Blocos cortados; 9. Torrões de terra; 10. Terra extrudida; 11. Adobe mecânico; 12. Adobe manual; 13. Adobe moldado; C) Utilização de terra como enchimento de uma estrutura de suporte - 14. Terra de recobrimento; 15. Terra sobre engradado; 16- Terra palha; 17. Terra de enchimento; 18. Terra de cobertura

1.3 Enquadramento histórico das construções em terra a nível mundial

Desde os tempos primórdios que a terra é um dos materiais de construção mais utilizados. Contudo, não é consensual a data exata em que o Homem começou a utilizar a terra enquanto material de construção.

Segundo a opinião sufragada por Minke (2006), a terra tem sido usada como material de construção há mais de 9000 anos. Essa convicção é apoiada na descoberta de habitações à base de blocos de terra (adobe), entre 8000 a 6000 a.C. Diversamente, defende Pollock (1999) que este material vem sendo utilizado desde de 5000 a 4000

a.C. Berge (2009) defende que este tipo de material tem sido utilizado em construção desde 7500 a.C.

Não obstante as divergências referentes ao período concreto em que este material foi utilizado na construção, verifica-se que perduram até aos nossos dias inúmeras construções vistosas executadas com base nesse material. São exemplos dessas construções, o Templo de Ramsés II em Gourná, construída em adobe há 3200 anos, a Grande Muralha da China, cuja construção se iniciou aproximadamente há 3000 anos construído em taipa (sistema de construção que usa barro molhado para fechar paredes). Acresce ainda a este leque exemplificativo de construções a Pirâmide de Uxmal, no México, construída entre os séculos VI e X que é um exemplo de uma grande estrutura construída com a terra. Esta edificação contém terra compactada no seu interior e o exterior é recoberto por pedras. Por último, importa referir a Pirâmide do Sol, situada também no México, em Teotihuacán, tem no seu núcleo aproximadamente dois milhões de toneladas de terra compactada (Minke, 2006).

No século XXI a utilização da terra como material construção vem se demonstrando uma mais-valia para o setor de construção e desenvolvimento sustentável. Na Figura 1.2 pode-se observar a localização das construções de terra a nível mundial. A utilização da terra como material construtivo tem conquistado o mercado de construção, principalmente o mercado Africano.



Figura 1.2 - Construção com terra a nível mundial (Gomes, 2013)

1.4 Enquadramento histórico das construções em terra em Portugal

No que se refere a utilização da terra como material construtivo em Portugal constata-se que teve o seu início a várias centenas de anos. No entanto, houve um declínio do seu uso no início do século XX. Contudo, o fim desse mesmo século foi marcado pelo retorno triunfal desse material na construção devido ao movimento edificatório no Sul de Portugal. É notável nos dias de hoje, no ordenamento Português vários edifícios antigos cuja terra foi a principal matéria-prima utilizada na construção. Como exemplo temos a Figura 1.3 que ilustra diversas técnicas de construções com terra, em Portugal (Torgal *et al*, 2009).

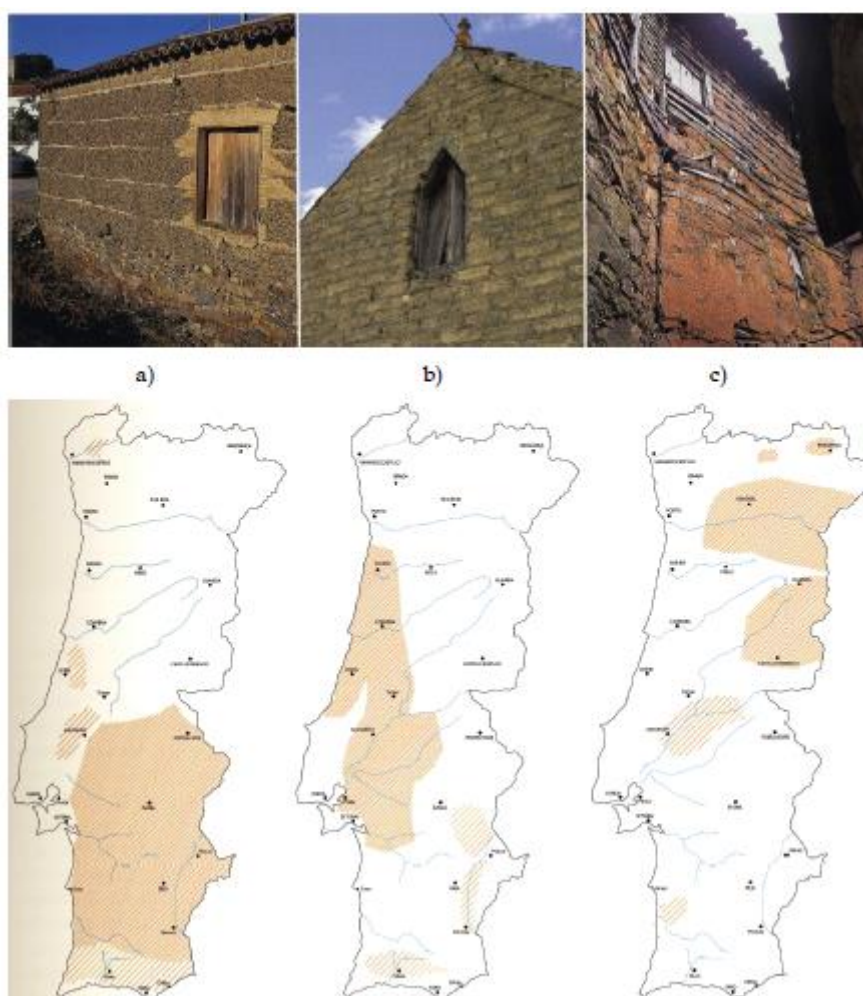


Figura 1.3 - Distribuição geográfica das construções Portuguesas com terra: a) Taipa; b) Adobe; c) Tabique (Torgal *et al*, 2009)

1.5 Enquadramento histórico das construções em terra em São Tomé e Príncipe

O território de STP é composto por duas pequenas ilhas de origem vulcânica, com uma área aproximada de 1001 km², localizada na região do Golfo da Guiné. Tem um clima do tipo equatorial, quente e húmido, com duas estações anuais, sendo, a estação seca (gravana) e a estação chuvosa. As temperaturas médias anuais variam entre 22°C e os 30°C. Estas condições climáticas são favoráveis para as construções que empregam a terra como material construtivo, devido a propriedade higrotérmica da deste material.

Conforme Guedes (2015), dos materiais constitutivos em STP, predomina a madeira seguido de alvenaria. A forma original dos materiais de construção que ainda hoje subsiste é o adobe, o qual, consiste numa mistura de solo e palha, que são moldados e compactados em caixas de madeira e secos ao sol, conforme ilustrado na Figura 1.4.



a



b

Figura 1.4 - Utilização da terra em construção em STP: a) Blocos de adobe; b) Moradia em adobe (Guedes,2015).

Tendo em conta que os BTC apresentam uma maior resistência quando comparado com os blocos de adobe, esta dissertação, vem estudar a possibilidade da utilização de terra como material construtivo em BTC. Em STP existe apenas duas construções em BTC, que até a data nunca foram habitadas, desconhecendo-se o motivo (Figura 1.5).



Figura 1.5 - Aplicação da terra como material de construção: a) BTC; b) construção em BTC.

A utilização da terra como material de construção em STP pode ser considerada um paradigma de sustentabilidade, na medida em que se recorre aos materiais naturais da região e a mão-de-obra local, não se utiliza fontes de energia poluente, é económico e respeita a cultura e as tradições locais.

1.6 Objetivos geral

Esta dissertação tem como principal objetivo, o estudo e a caracterização de quatro amostras de terra distintas provenientes de STP, visando a análise das suas propriedades como material construtivo, avaliando desde logo, a fiabilidade dos blocos produzidos com as mesmas amostras. Para tal, esses ensaios serão desenvolvidos com base nos procedimentos definidos e baseados nas normas aplicadas em STP, que serão devidamente mencionadas mais a frente.

1.7 Objetivos específicos e metodologia

Os objetivos específicos definidos na presente dissertação surgem como forma de complemento aos objetivos gerais. Dentre estes estão, por um lado a definição do traço (mistura), e por outro o estudo e a descrição das principais propriedades dos materiais construtivos, efetuando-se comparações dos resultados obtidos por demais autores.

Refere-se desde já, que na prossecução deste trabalho, será individualizado o seu estudo em cinco etapas distintas:

- A primeira etapa consiste na pesquisa bibliográfica e local referente a técnica em estudo, especificamente BTC. O objetivo desta etapa, prende-se com a avaliação, a necessidade e a possibilidade de utilização deste tipo material de construção em STP. Nesse sentido, efetuar-se-á uma

avaliação da terra para compreender as propriedades presentes deste material em estudo de forma a orientar a parte experimental e análise dos possíveis resultados obtidos;

- A segunda etapa consistirá na recolha das quatro amostras de terra na cidade de São Tomé. Nesse sentido, empregou-se diversas diligências com a finalidade de as enviar para Portugal;
- A terceira etapa prende-se com a elaboração de um plano referente aos requisitos normativos para os ensaios de caracterização das amostras, formulação e definição do traço para produção dos BTC, bem como aos ensaios de caracterização dos BTC produzidos;
- A quarta etapa refere-se à execução dos ensaios experimentais, que se processará em cinco fases: seleção e preparação das amostras; caracterização das amostras; elaboração do traço, produção e caracterização dos BTC;
- Por último, a quinta etapa, prende-se com a análise e discussão dos resultados obtidos na etapa anterior. Nesta última etapa procura-se caracterizar as propriedades físicas mecânicas e de durabilidade dos BTC produzidos.

2 Construção em terra

A terra é uma matéria-prima presente em abundância no envolvente do local de construção e que está disponível para ser utilizada como material de construção. A sua utilização evita elevados consumos energéticos empregues na produção, assim como reduz significativamente as emissões de carbono e gastos com transporte significativos, o que classifica a mesma como uma construção ambientalmente sustentável.

Para além disso, as construções em terra apresentam grandes vantagens no que respeita ao conforto hidrotérmico e acústico. Com efeito, no interior das construções com terra verificam-se geralmente níveis de humidade relativa equilibrados e benéficos à saúde humana (que se deve a capacidade higroscópica da terra) associados a elevados níveis de conforto acústico.

2.1 Caracterização da terra como material construtivo

O estudo das propriedades e das características do solo bem como do seu comportamento mecânico é um fator indispensável para avaliar quando se pretende utilizar o solo como material para construção. Assim, para estudar as propriedades e características do solo, pode-se efetuar ensaios laboratoriais e ou ensaios expeditos.

Os ensaios expeditos são ensaios realizados no local da colheita da amostra, de fácil execução, mas de pouco rigor, o que leva às conclusões não muito precisas quanto a qualidade do solo. Dentre os ensaios possíveis de se realizar, destaca-se inspeção visual, teste de tato, teste de brilho, ensaio de sedimentação, ensaio de charuto, ensaio de bolo e ensaio de resistência seca.

No que se refere aos ensaios laboratoriais, estes são muito mais rigorosos e confiáveis, no entanto, necessitam de equipamentos específicos e deve-se proceder segundo as normas aplicadas aos diferentes ensaios que se realiza. Na presente dissertação, serão efetuados os seguintes ensaios laboratoriais, para a caracterização do solo: análise granulométrica e sedimentação, teor em água, limite de consistência, matéria orgânica e a espectrometria de fluorescência de raios X (EFRX) e a densidade das partículas do solo.

2.1.1 Análise granulométrica

A constituição do solo varia com o tamanho das partículas que fazem parte da sua composição, essas partículas apresentam grãos de dimensões distintas. Segundo

alguns autores, nomeadamente Walker e Australia (2001), Keable (1996), Houben e Guillaud (2006), cada faixa de dimensões apresenta características próprias, que indicam seu comportamento como material de construção. Estas faixas são denominadas por:

- **Pedregulhos ou cascalhos** - resultam de fragmentos da rocha mãe ou de pedras que variam em tamanho e dureza. São dos constituintes mais estáveis e constituem o esqueleto do solo e quando em contacto com água as suas propriedades mecânicas não sofrem alterações perceptíveis.
- **Areias** - estas são constituídas por grãos minerais estáveis no solo, caracterizadas por apresentarem uma estrutura porosa aberta, tornando-se bastante permeáveis e pouco plásticas. São frequentemente constituídas por partículas de sílica ou quartzo, não apresentam coesão, ou seja, dessagraram-se com facilidade no estado seco. No entanto, apresentam um elevado grau de resistência interna devido a fricção das partículas constituintes. Apresentam uma ligeira coesão no estado húmido, devido a tensão superficial das partículas de água que ocupa, o espaço entre as partículas.
- **Siltes** - Não apresentam coesão significativa, têm pouca resistência quando secos, normalmente a força de fricção é inferior à das areias. No entanto, quando humedecidos, apresentam boa coesão e alguma alteração de volume sob diferentes graus de humidade.
- **Argilas** - Estas diferem dos outros constituintes, pelo tamanho microscópico e forma plana (achatada), as suas partículas apresentam uma massa insignificante quando comparada com a sua superfície. As propriedades de superfície das argilas são primordiais refletindo-se na presença de água, em propriedades macroscópicas como a plasticidade e a coesão, as partículas de argila podem ser revestidas com um filme de água (água adsorvida). A argila atua como aglutinante entre os demais constituintes do solo, uma vez que a película de água mantém a coesão entre as suas micropartículas, conferindo-lhe coesão e resistência mecânica. Por outro lado, contrariamente as restantes frações granulométricas, a argila é instável, pois, esta apresenta uma grande variação volumétrica quando exposta a diferentes teores de humidade. Quando o teor de humidade aumenta, a película de argila pode aumentar de espessura, provocando assim um aumento nas dimensões das partículas, e inversamente durante o processo de secagem, o volume

diminui dando origem a retração. Este facto poderá provocar grandes desordens na estrutura dos materiais de solo.

Conforme mencionado anteriormente, a constituição do solo varia com o tamanho das partículas que fazem parte da sua composição e essas partículas apresentam grãos de dimensões distintas. Na Figura 2.1, estão representados os limites para as dimensões das partículas para as diferentes faixas, de acordo com as oito Normas estudadas.

DESIGNAÇÃO	DIMENSÕES (mm)										
	10 ⁻³		10 ⁻²		10 ⁻¹		1		10		
ISSS (1913)	Argila		Silte		Fina		Areia Grossa		Cascalho		
	0,002		0,02				0,2		2		
MIT (1932)	Argila		Silte Fino		Silte Médio		Grosso Fina		Areia Média Grossa		Cascalho
	0,002	0,006	0,02	0,06	0,2	0,6			2		
USPRA(1938)	Argila		Silte				Areia		Cascalho		
	0,005		0,05						2		
LNEC E 219 (1968)	Argila		Silte Fino		Silte Médio		Grosso Fina		Areia Média Grossa		Cascalho Fino Médio
	0,002	0,006	0,02	0,06	0,2	0,6			2	6	
AASHTO (1973)	Argila		Silte				Fina Areia Média Grossa		Cascalho		
	0,005		0,075		0,42				2		
ASTM D2487 - 06 (1966)	Argila		Silte				Fina Areia Média		Grossa Cascalho		
	0,002 #200				0,075 #40		0,42		2 #10	4,75 #4 Peneiros	
ABNT- NBR 6502 (1995)	Argila		Silte				Areia		Cascalho		
	0,002		0,06						2	6	
EN ISO 14688-1:2004	Argila		Silte		Fina		Areia Média Grossa		Cascalho Fino Médio		
	0,002				0,06		0,2	0,6	2	6	

Figura 2.1 - Escala para as frações granulométricas (Gomes,2013). Nota: ISSS – International Society Soil Science, Encyclopedia of soil Science; MIT – Massachusetts Institute of Technology, Encyclopedia of soil Science; USPRA – United States Public Road Administration, Tsustsumi; LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil; AASHTO – American Association for State Highway and Transportation Officials, Encyclopedia of soil Science; ASTM - American Society for Testing Materials; ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Caputo; EN ISO – European Standard International Organization for Standardization.

A classificação mais utilizada em STP é a da NBR 6502 (ABNT 1995) no entanto, também se utiliza Especificação E219 (LNEC 1968) que é idêntica à da norma Europeia EN ISO 14688 - 1 (2004) e à NBR 6502. Conforme representada na Figura 2.1, algumas referências diferenciam-se da NBR 6502 e da E219 pela não uniformidade, nomeadamente, ISSS, USPRA, ASTM e AASHTO.

Na tabela 2.1, está representado os valores limites que o solo deve apresentar para que seja utilizado como material de construção de acordo com a NBR 10834. Assim, os resultados experimentais dos parâmetros (mais importantes) analisados na presente dissertação serão avaliados segundo os requisitos aqui representado.

Tabela 2.1 - Requisitos normativos para os solos usados na produção de BTC.

Características do solo	Requisitos (%)
% De solo que passa pelo peneiro 4,8 mm	100
% De solo que passa pelo peneiro 0,075	10,0-50,0
Argila	20,0-30,0
Silte	10,0-20,0
Areia	> 50,0

2.1.2 Propriedade higrotérmica

Apesar desta propriedade não ser destacada como uma propriedade fundamental da terra para sua aplicabilidade como material construtivo, esta merece ser destacada devido ao seu papel no impacto positivo na saúde dos habitantes e pelas vantagens ambientais.

A propriedade higrotérmica da terra refere-se à capacidade de troca de humidade e temperatura com a atmosfera envolvente. A capacidade de absorção de água e da permeabilidade de vapor de água do solo, permite autorregular os níveis de humidade interiores dos edifícios. Assim, a terra é um material higroscópico, com uma humidade de equilíbrio determinada por uma dada humidade relativa ambiental. É ao nível dos poros da terra onde se efetuam as trocas de humidade sendo que a mesma consegue manter a humidade relativa no interior entre 40 a 60%. Esta capacidade depende de outros fatores, como a humidade inicial, a temperatura e a taxa de renovação do ar (Pacheco-Torgal, 2012).

2.1.3 Limites de Atterberg ou limites de consistência

Limites de Atterberg, também conhecido como limites de consistência, traduz-se na determinação do limite de retração (LR) limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e no índice de plasticidades (IP). Ensaios laboratoriais efetuados por Atterberg consistiram em medir o teor de humidade da amostra de solo nos diversos estados de consistência (Caputo,1978) (Figura 2.22).

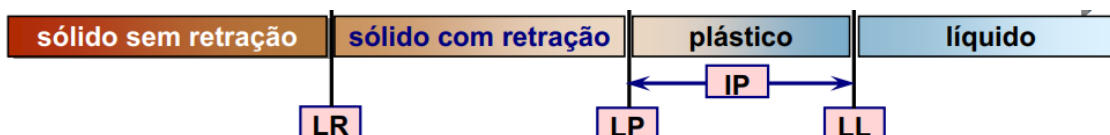


Figura 2.2 - Variação de teor de humidade na amostra de solo (Caputo,1978)

Estes limites permitem inferir o comportamento de um solo na presença de água. Uma vez que as frações finas do solo são as mais instáveis, é sobre esses que se

determina o LP, LL e o IP, permitindo assim, identificar o comportamento de uma argila sem a determinação da sua composição mineralógica:

- LP - representa o teor em água abaixo do qual um solo se comporta como um sólido.
- LL - representa o teor em água acima do qual um solo se comporta como um líquido.
- IP - é a gama de teores em água para o solo exibe um comportamento plástico e relaciona-se com a máxima variação de volume de um solo. Este é determinado a parte da diferença entre o LL e o LP.

Na prática, para que se conheça o tipo de solo, é necessário a quantificação da areia, silte e argila no mesmo CraTerre, 1979. Assim um solo pode ser classificado como arenoso, argiloso ou siltoso, de acordo com o seu IP e o LL, conforme representado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Classificação do solo de acordo com o seu limite de liquidez e índice de plasticidade (CraTerre, 1979)

Tipo de solo	LL (%)	IP (%)
Arenoso	0,00 a 30	0,00 a 15
Siltoso	20 a 50	5,0 a 25
Argiloso	> 40	> 20

De acordo com a especificação da NBR 10834, para que um solo seja utilizado como material de construção, deverá conter $\leq 45\%$ do LL e $\leq 18\%$ do IP.

2.1.4 Matéria orgânica

O solo é constituído maioritariamente por matéria mineral e por algumas matérias orgânicas a uma dada profundidade. A presença da matéria orgânica no solo origina-se de organismos vivos ou em decomposição, quer de origem animal ou vegetal. É na camada superficial do solo onde se encontra uma grande quantidade da matéria orgânica. Assim não se deve utilizar o solo superficial como material de construção (Gomes, 2013). Apesar de não existir valores limites para este parâmetro, a elevada quantidade de matéria orgânica no solo utilizado como material de construção, poderá refletir na qualidade dos BTC.

2.1.5 Espectrometria de Fluorescência de Raios X

A EFRX consiste numa análise quantitativa e qualitativa dos elementos químicos presentes em diversos tipos de amostras, de interesse ambiental, biológico, industrial e

geológico. O princípio desta técnica centra-se num processo quantitativo fundamentado na medida das intensidades dos Raios X característicos, emitidos pelos elementos que constituem a amostra, quando excitada por partículas ou ondas eletromagnéticas. Os Raios X emitidos excitam os elementos que constituem a amostra, elementos esses que por sua vez irradiarão linhas espectrais de energias características do elemento e cujas intensidades estão relacionadas com a concentração do elemento químico na amostra (Queirós, “2011” citado por Spínola, 2015). Esta análise engloba três fases:

- Excitação dos elementos que constituem a amostra;
- Dispersão dos espectros de linha emitidos pela amostra;
- Detecção dos espectros de linha emitidos.

Na Figura 2.3, está representada o equipamento utilizado nesta determinação, o qual consiste num analisador de Fluorescência de Raios X da marca Thermo Scientific, modelo NITON XLEt.

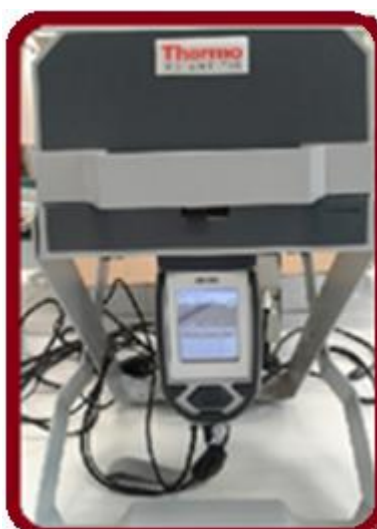


Figura 2.3 - Analisador por fluorescência de Raios X

Este equipamento permite a análise qualitativa e quantitativa de mais de 35 elementos químicos presentes numa amostra, dentre estes estão: Mg (Magnésio), K (Potássio), Ca (Cálcio), Rb (Rubídio), Sr (Estrôncio), Ba (Bário), Ti (Titânio), Zr (Zircônio), V (Vanádio), Nb (Nióbio), Cr (Crómio), Mo (Molibdênio), W (Tungstênio), Mn (Manganês), Fe (Ferro), Co (Cobalto), Ni (Níquel), Pd (Paládio), Cu (Cobre), Ag (Prata), Au (ouro), Zn (Zinco), Cd (Cádmio), Hg (Mercúrio), Al (Alumínio) Si (Silício), Sn (Estanho), Pb (Chumbo), P (Fósforo), As (Arsénio), Sb (Antimônio), Bi (Bismuto), S (Enxofre), Se (Selénio), Cl (Cloro), entre outros.

Os limites de deteção dos elementos químicos analisados por esta técnica dependem da energia dos Raios X fluorescentes recebida pelo analisador e por sua vez

do número atômico do elemento, do tipo e energia da fonte de excitação, da matriz, de interferência interespetrais, da capacidade de resolução do equipamento e da duração.

Quando um átomo é submetido a um processo de irradiação por uma fonte de Raios X, poderá ocorrer o efeito fotoelétrico. A estabilização do átomo ocorre num espaço de tempo muito curto. Os elétrons das camadas eletrónicas mais externas movem-se rapidamente para ocupar locais gerados (pela expulsão de electrão das camadas eletrónicas mais internas), libertando uma diferença de energia existente entre níveis eletrónicos envolvidos. Porém, existem outros fatores que podem condicionar a qualidade dos resultados das análises realizadas, como teor em água da amostra, a temperatura ambiente, o incorreto posicionamento do analisador, uma elevada variedade nas propriedades físicas (dimensão, uniformidade, entre outras) das partículas ou a presença simultânea de elementos químicos com concentrações muito diferentes (Queirós, “2011” citado por Spínola, 2015). Deve-se ter em conta o tipo de recipiente a usar para manter a amostra, pois este poderá afetar a exatidão dos resultados. Devera ser um provete com paredes finas e uniforme para todas as amostras, submetidas a esta análise.

2.2 Blocos de terra compactados

A produção dos BTC é uma técnica que teve origem em meados do séc. XVIII, e foi inventada pelo Francois Cointeraux de forma muito rudimentar. Contudo, foi no ano de 1951 que o Colombiano Raul Ramirez inventou a primeira prensa.

Esta técnica surgiu como uma evolução do adobe, por estabilização do solo por meios mecânicos, consistindo na prensagem dos constituintes da mistura de num molde de madeira ou metálico. A mesma permite obter um material mais resistente e mais durável, quando comparado com o adobe. Entre outras as vantagens desta técnica, a facilidade associada a produção dos BTC, nomeadamente, ao baixo custo dos recursos e o baixo impacte ambiente é bastante apreciável (Torgal *et al*, 2009).

Com a aplicação desta técnica podemos obter diversos tipos de BTC, nomeadamente o maciço ou perfurado, bem como as placas de revestimento. As dimensões dos BTC variam em função dos moldes da prensa utilizada para a produção dos mesmos. Na presente dissertação empregar-se-á as dimensões utilizadas em STP para a produção deste tipo de material.

Para produzir qualquer tipo de BTC é crucial a realização de vários atos preparatórios, como é o caso da obtenção e classificação da matéria-prima. Pois, a terra corresponde a uma maior percentagem da mistura. Após a caracterização da terra, define-se a mistura. De seguida procede-se a processo de produção dos BTC de uma

forma sequencial, Figura 2.4. Assim, inicia-se com a colheita e a preparação da amostra, a mistura dos constituintes, depois a moldagem (o enchimento do molde, prensagem no equipamento (manual ou automático) e termina-se com a cura (Neves e Cuna, 2007). Após os vinte e oito dias procede-se caracterização/controlo de qualidade dos BTC produzidos.

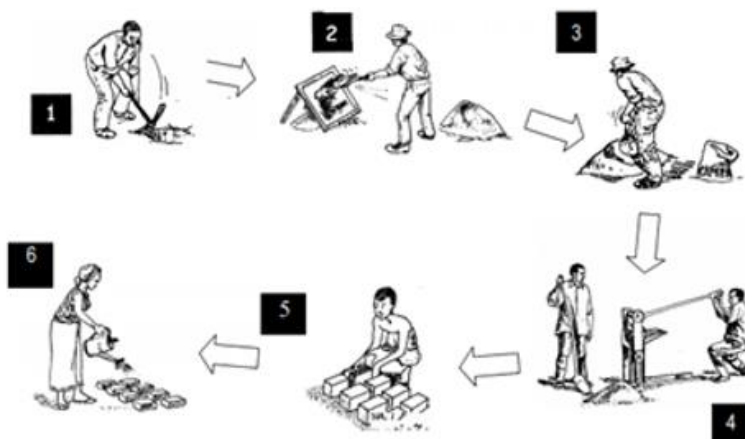


Figura 2.4 - Processo de produção dos BTC (Neves e Cuna, 2007). Nota: 1. Colheita de amostra; 2. Preparação da amostra; 3. Mistura; 4. Moldagem; 5. Disposição dos BTC; 6. Cura

A etapa da cura dos BTC é uma fase de extrema importância nesta técnica, pois esta reflete muito a qualidade deste tipo de material. A cura evita a desagregação superficial por secagem rápida e permite as reações de hidratação da terra com os estabilizantes utilizados (Neves e Cuna, 2007).

Em BTC não estabilizados, procede-se a uma cura seca, existindo apenas o cuidado de tapar os mesmos com um saco de plástico de modo a evitar a secagem demasiado rápida. Nos BTC estabilizados, a cura é efetuada, de forma húmida (numa camara húmida) ou humidificada com água durante dos 7 dias após a desmoldagem e seguido de cura seca durante 21 dias, independentemente do tipo de estabilizante aplicado. A cura seca deve permitir a evaporação lenta da humidade de modo a que a argila seque lentamente aumentando a coesão do bloco. A cura húmida é responsável por garantir que os BTC tenham um teor de humidade adequado para a ocorrência das reações de estabilização, no caso de se utilizar estabilizante hidráulica (Bahar *et al*, 2004).

Além da cura ser uma das etapas que reflete na qualidade dos BTC, existem outras de igual importância, entre estas, a quantidade de água na mistura e a pressão de compactação aplicada na moldagem.

2.2.1 Blocos de terra compactada não estabilizados e estabilizados

Nos BTC não estabilizados não se incorporam qualquer tipo de estabilizante na amostra da terra. Nestes, a amostra é colhida, tratada e prensada a seco ou com humidade. No caso da prensagem húmida, os BTC aqui produzidos, são secos durante vinte e oito dias e caracterizados.

Uma vez que a terra nem sempre apresenta características desejadas para o seu uso como material de construção devido a sua complexidade natural, torna-se necessário recorrer a estabilização da mesma. Assim, os BTC estudados nessa dissertação serão estabilizados.

Segundo Rix (1998), a estabilização da terra consiste em qualquer processo que visa melhorar as propriedades da terra, permitindo desempenhar a sua função na Engenharia. A estabilização é realizada com o intuito de melhorar as propriedades da terra, tornando-a mais apta para ser utilizada como material de construção. Esta permite aumentar o desempenho físico, mecânico e de durabilidade dos BTC.

De acordo com alguns autores (Adam, 2001; Kerali, 2001; Rigassi, 1985; Rix, 1998), a estabilização da terra é benéfica tendo em conta, a redução do volume de vazio, acaba por preencher vazios que não se consegue preencher durante a prensagem, e por melhorar a coesão entre as partículas do solo.

Com efeito, constata-se uma diminuição da porosidade na terra e da permeabilidade e um aumento da resistência mecânica da mesma, o que conseqüentemente, provoca uma redução na sensibilidade à água e na erosão superficial, minimiza a fissuração e aumenta a coesão.

Segundo Bardou e Arzoumanian (1979), a estabilização da terra é classificada em quatro categorias, com as seguintes denominações e características:

- **Estabilização por cimentação** - Consiste em adicionar a amostra da terra uma substância capaz de solidificar os grãos de areia e as partículas argilosas, de forma a obter um esqueleto interno que faça oposição à capacidade de absorção de água pela argila. Os estabilizantes mais conhecidos e utilizados nessa categoria são: o cimento Portland; a cal, virgem ou hidratada; a mistura de cal e cimento; ou também uma mistura de cal com cinzas. Salienta-se que os BTC, produzidos nesta dissertação serão estabilizados com o cimento Portland.
- **Estabilização por armação** - Consiste em agregar à amostra da terra um material de coesão (grãos e fibras), que permitem assegurar que a fricção desenvolvida com as partículas de argila, confirmam uma maior firmeza ao material. De acordo com Bardou e Arzoumanian (1979), a

resistência mecânica final do material é diminuída, mas em contrapartida ganha-se em estabilidade e durabilidade. Não há determinação específica para os materiais a serem empregados, pois depende da disponibilidade e das adaptações locais. Podem ser citadas, principalmente, as fibras vegetais.

- **Estabilização por impermeabilização** - Consiste em envolver as partículas de argila por uma camada impermeável, tornando-as estáveis e mais resistentes à ação da água. O material mais conhecido (desde os tempos bíblicos) para este fim é o asfalto (ou betume), utilizado em emulsão que, apesar da grande superfície específica da argila, requer uma quantidade muito pequena para obtenção de bons resultados. Um dos inconvenientes do uso deste material é a perda de plasticidade, apesar de ganho de coesão, o que requer a utilização de maior quantidade de água para amassamento e limita as técnicas construtivas a serem utilizadas. Podem ser utilizadas outras substâncias, tais como o azeite de coco, as seivas de algumas plantas oleaginosas, o látex e os resíduos da prensagem do azeite de oliva.
- **Estabilização por tratamento químico** - Consiste em agregar ao solo diversas substâncias capazes de formar compostos estáveis com os elementos da argila. Como tal, os produtos químicos variam de acordo com a composição química da própria argila, o que significa que é necessário realizar previamente uma análise química sobre a mesma. Nesta categoria a cal, além de agente de cimentação, funciona como estabilizante químico, atuando com os minerais amorfos ou argilosos do solo, formando os compostos pozolânicos. Nessa linha de raciocínio, outras substâncias de baixo custo também podem ser utilizadas como por exemplo, a soda cáustica e a urina de gado (Bardou e Arzoumanian,1979).

De acordo com Houben e Guillaud (1995), a seleção do estabilizante mais adequado, importa referir que a plasticidade é um dos critérios mais adotados, porquanto encontra-se no solo com o tipo de aglomerante. Outro critério relaciona-se com a plasticidade, a granulometria e o tipo de aglomerante (Figura 2.5).

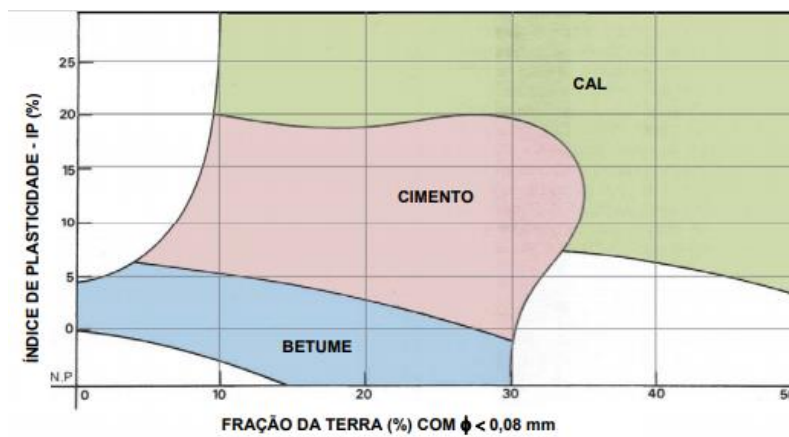


Figura 2.5 - Escolha do tipo de estabilizante em função do índice de plasticidade e da granulometria do solo (Houben e Guillaud,1995)

Após a escolha do estabilizante torna-se necessário definir uma quantidade ideal do mesmo na mistura. Segundo os autores citados na Tabela 2.3 as quantidades de estabilizantes a incorporar na mistura variam. No entanto, as proporções recomendadas para adição de cimento e cal rondam por 0,5-18% e 0,5-12%.

Tabela 2.3 - Quantidades de estabilizantes a incorporar na mistura para produção do BTC estabilizado.

Estabilizantes	Autores	Proporção (%)
Cimento	Namango (2006)	3,0-12
	Lourenço (2002)	6,0-12
	Adam (2001)	3,0-18
	Kerali (2001)	3,0-10
	Ngowi (1997)	3,0-12
	Osula (1996)	0,50- 4,0
	Walker (1995)	5,0-10
	Rigassi (1985)	4,0-10
Cal	Torgal <i>et al</i> , (2009)	3,0-10
	Lourenço (2002)	6,0-12
	Adam (2001)	> 6,0
	Osula (1996)	0,50- 4,0
	Rigassi (1985)	6,0-12

2.2.2 Blocos de terra compactada estabilizados com cimento

A estabilização do solo por adição de cimento consiste na preparação de uma mistura homogênea de solo, cimento e água, em proporções determinadas. A adição de cimento a um solo melhora significativamente a resistência a compressão dos BTC.

Em especial, nos solos siltosos, solos com argilas com baixa plasticidade, a presença do cimento limita o efeito da alteração da percentagem de água nos solos, utilizados para a produção dos BTC. Este estabilizante não se é adequado para solos com muita matéria orgânica (Torgal et al, 2009).

O aumento da resistência a compressão deve-se a ação aglutinante do aditivo, que cimenta as partículas de solo. Este efeito verifica-se quando os teores em cimento são mais elevados, nesta situação, ocorre a formação de núcleos interligados distribuídos pela massa de solo, Figura 2.6. No caso da mistura com teores de cimento mais baixo, verifica-se essencialmente, uma modificação da fração argilosa do solo, diminuindo a sua plasticidade, podendo ser ou não acompanhada pelo aumento da resistência a compressão, pois, o cimento nesta situação forma núcleos independentes na massa de solo, Figura 2.6, (Torgal *et al*, 2009).

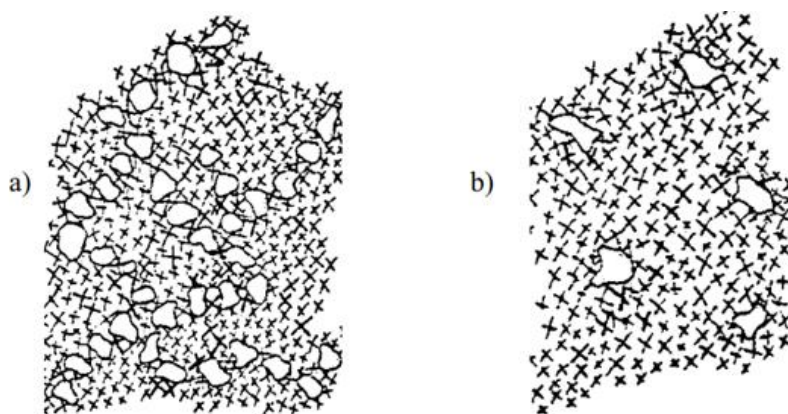


Figura 2.6 - Estabilização do solo com diferentes teores de cimento (Torgal et al, 2009.). Nota: a) Alto teor em cimento; b) Baixo teor em cimento; ○ Partícula de cimento; * Partícula de solo.

2.2.2.1 Cimento do tipo Portland

O cimento utilizado na presente dissertação para estabilização dos BTC é o do tipo Portland. Este cimento contém na sua composição cerca de 45% de silicato tricálcico ($\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$) e 27% de silicato bicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$).

A sua hidratação com o solo dá origem a um gel de silicato hidratado de bi e monocalcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiH}_2\text{O}$ e $\text{CaO} \cdot \text{SiH}_2\text{O}$), de acordo com as equações:



Nestas reações de hidratação ocorre a libertação de alguma cal, que conseqüentemente provocará uma aglutinação das partículas argilosas, porém, pouco significativa, principalmente se comparada com a proporção de partículas granulares que passarão a estar interligadas. A hidratação dos constituintes do cimento prolongar-se-á com o passar do tempo, o que conduz ao aumento de resistência do material, devido a criação de produtos ligantes amorfos, e a consolidação de endurecimento ao longo prazo devido aos produtos cristalinos. Assim, a cal libertada durante as reações de hidratação do cimento vai provocar o endurecimento dos agregados de partículas de argilas (Torgal, 2012).

A reatividade do cimento só é garantida e alcançada ao misturá-lo com a água. Na presença de humidade e do cimento do solo modifica, isto é, ocorre o agrupamento das partículas devido a interações físico-químicas entre o solo, o cimento e a água. Tendo em conta que isso ocorre ao nível de partículas, não é possível obter uma massa homogénea com a força desejada. Assim, a compactação é necessária para fazer as partículas do solo deslizarem umas sobre as outras e se moverem para um estado densamente compactado. Neste estado, as partículas do solo podem ser soldadas por ligações químicas (Torgal *et al*, 2009).

2.2.3 Vantagens e desvantagens

Os BTC apresentam inúmeras vantagens desde a composição do traço até a sua produção e utilização nas construções. Assim, é importante destacar algumas vantagens deste tipo de material (Gomes, 2012):

- A principal matéria-prima para produção do BTC pode ser extraída no local da construção do edifício, o que minimiza o custo associado ao transporte;
- Os BTC são produzidos maioritariamente por terra;
- Baixo custo de produção e de energia;
- A prensagem torna os blocos mais resistentes e duráveis em relação ao adobe;
- Apresenta menos desperdícios, quando comparado com o adobe;
- Os TBC podem ser empilhados durante o processo de cura necessitando de pouco espaço para todo o processo de secagem;
- Quando comparado com a taipa, estes apresentam uma maior simplicidade na sua produção e execução de paredes;

- Possuem uma elevada estabilidade dimensional, aumenta a eficiência da sua aplicação em obras;
- Os BTC perfurados, permitem o armamento de paredes e a passagem de tubos sem a abertura de roços;
- Os BTC são não tóxicos, fortemente resistentes ao fogo e aos insetos.

A produção de um determinado produto apresenta sempre vantagens e desvantagens, assim, a produção de BTC não é exceção. Esta técnica apresenta algumas desvantagens como (Gomes, 2012):

- A ignorância associada a produção deste tipo de técnica, representa uma grande desvantagem. Pois, a não aplicabilidade quando se refere a grandes, importantes e imponentes edifícios, sendo mais adequada, maioritariamente para edifícios de habitação e de pequenas dimensões, representa um entrave no avanço desta técnica;
- As dimensões dos BTC são limitadas pelos moldes das prensas disponíveis;
- As arestas dos BTC danificam-se facilmente com o impacto acidental, durante a produção e a cura.

2.2.4 Impacto ambiental dos blocos de terra compactada

A necessidade de utilização de materiais amigos do ambiente, tem sido uma das preocupações a ter em conta nas indústrias de produção de matérias. A produção dos BTC apresenta uma grande vantagem ambiental no que se refere a biodegradação e reciclagem, pois, nesta técnica não é produzido nenhum resíduo e contaminantes, assim os BTC são classificados como materiais ecológicos (Morton *et al*, 2005).

Segundo Morton *et al* (2005), existe uma grande diferença na redução de emissão de dióxido de carbono (CO₂) na produção dos BTC em comparação com outros materiais ilustrados na Figura 2.7.

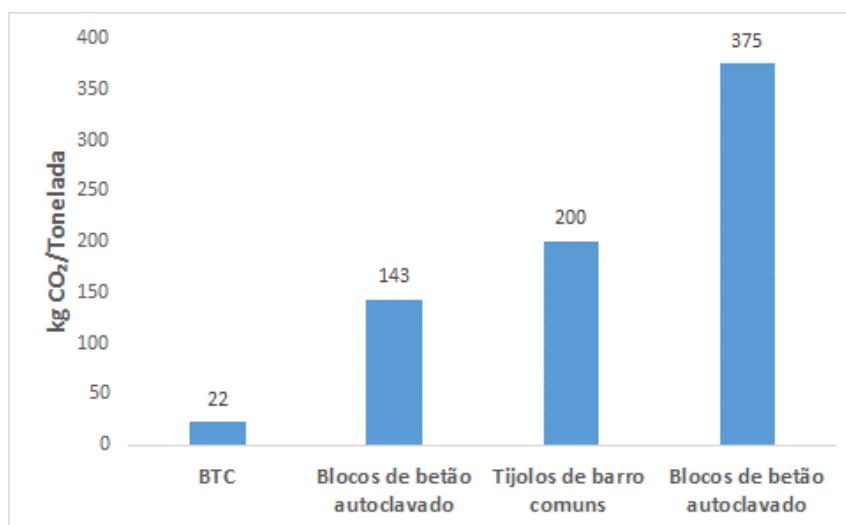


Figura 2.7 - Quantidade de dióxido de carbono presente em diferentes materiais (Morton *et al*, 2005)

Além da redução das emissões ambiental, a porosidade dos BTC faz com que as trocas de vapor de água com o ar provoquem um nível de humidade constante (40% e 60%), desta forma, diminui os riscos associados a este sujeito para a saúde humana. Assim, este material evita a formação de fungos formados em ambientes com níveis de humidade superiores a 60% (Morton *et al*, 2005).

Relativamente a energia incorporada na produção dos BTC, Quintino (2005), utilizando valores para o caso específico da produção de BTC em Portugal, a energia incorporada nos blocos fabricados em processo mecânico é de aproximadamente 100 kw/h por tonelada, valor muito inferior aos 1200 kW/h por tonelada dos tijolos normais cozidos em fornos.

2.2.5 Tipos de blocos de terra compactada

A prensa utilizada durante o processo de produção dos BTC permite obter diferentes tipos e dimensões de BTC. Assim, estes podem ser maciços, perfurados ou encaixe. Dentre os diferentes tipos de BTC produzidos em STP, estão:

- **BTC inteiro** - apresenta uma geometria que permite o encaixe, com dois furos com forma circular de 6 cm de diâmetro e dimensões de 25x25,5x6,25 cm, conforme ilustrado na Figura 2.8.
- **BTC Meio** - apresenta uma geometria que permite o encaixe, de um furo com forma circular de 6 cm e dimensões de 12,5 x 12,5 x 6,25 cm. Este

é muito utilizado no processo de assentamento dos BTC, pois, permite uma perfeita amarração da alvenaria, Figura 2.8.

- **Canaleta** - este tipo de BTC tem uma forma de “U”, com geometria que permite o encaixe da face inferior, com dois furos com forma circular de 6 cm de diâmetro e dimensões de 25 x 12,5 x 6,25 cm, conforme ilustrado na Figura 2.9.

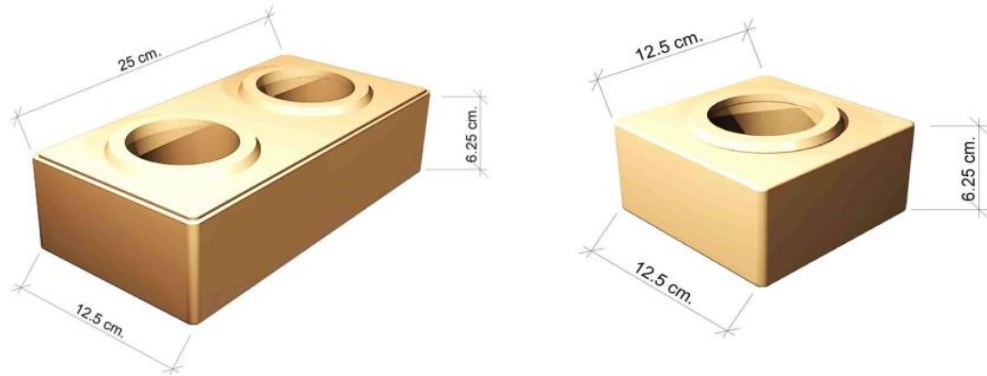


Figura 2.8 - BTC Inteiro e Meio (Manual para produção BTC em STP)

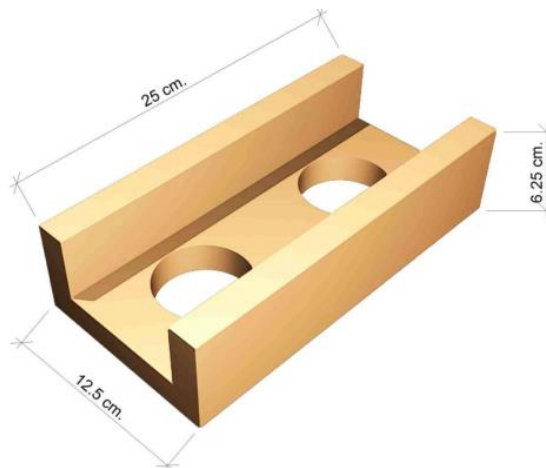


Figura 2.9 - BTC Canaleta (Manual para produção BTC em STP)

2.2.6 Equipamento para a produção dos de blocos de terra compactada

A qualidade do equipamento a utilizar na produção dos BTC é tão importante quanto a qualidade da terra. Existem equipamentos manuais e automáticos, de um modo geral, o equipamento manual apresenta uma maior facilidade e maior escolha. No entanto, o equipamento automático apresenta inúmeras vantagens, como a rapidez e controlo de qualidade durante a produção do bloco, a possibilidade de uma rápida troca nas diversas formas de bloco. Por outro lado, o equipamento automático apresenta algumas desvantagens, tais como, o maior custo de manutenção e na utilização do mesmo. Na Figura 2.10 está ilustrada o equipamento utilizado em STP para a produção de blocos com terra. Trata-se de uma prensa manual, calibrada a uma pressão adaptada ao tamanho do molde.



Figura 2.10 - Prensa utilizada em STP para a produção dos BTC

2.2.7 Formulação dos de blocos de terra compactada

A quantificação dos constituintes da mistura é fundamental na estabilização dos BTC. Antes de se proceder a produção dos BTC, é necessário estudar a melhor mistura de modo a obter um BTC de excelente qualidade. A Figura 2.11 representa as quantidades/ traço dos diferentes componentes da mistura (Neves e Cuna,2007).

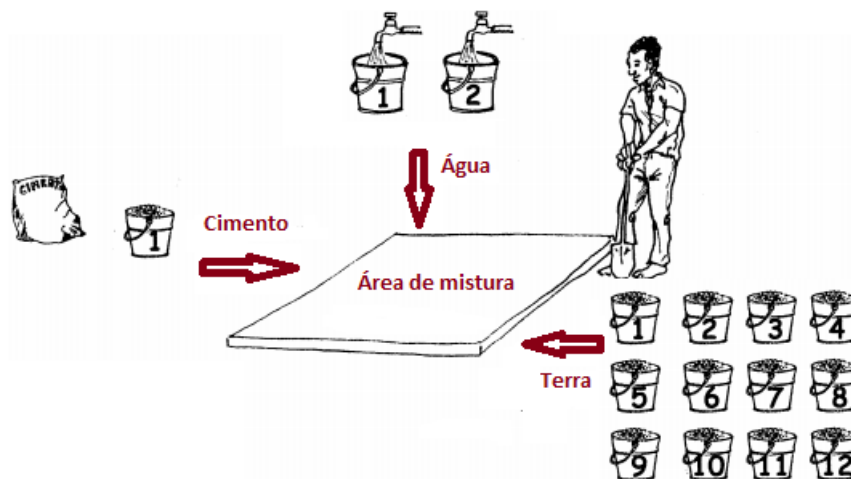


Figura 2.11 - Traço estudado por Neves e Cuna (2007)

O traço estudado por Neves e Cuna (2007) é normalmente o mais utilizado na produção deste tipo de produção, este traço não será aplicado nesta dissertação.

Na Tabela 2.4, está ilustrado os diferentes traços aplicados em São Tomé, tendo como o traço de referência 1:10. Recomenda-se que seja utilizado dois traços a cima e abaixo do traço de referência. Apesar dos traços aqui apresentados, habitualmente em São Tomé, mistura-se uma determinada percentagem de areia durante a produção dos BTC.

Tabela 2.4 - Quantidades de misturas aplicadas em São Tomé (Manual para produção dos BTC em STP)

Quantidades iniciais	% De cimento em relação ao solo	Traço (Cimento/Solo) em massa
Mistura pobre	7,00	1:14
	8,00	1:12
Traço de referência	10,0	1:10
Mistura mais rica	12,5	1:8
	14,0	1:7

No que se refere a quantidade de água nas misturas, esta corresponde ao teor em água ótima para a compactação. A quantidade de água necessária para a compactação varia de acordo com a característica inicial do próprio solo.

2.3 Caracterização dos blocos de terra compactada

A Engenharia de fabricação, Controle de Qualidade e Engenharia de Qualidade encontram-se intimamente envolvidos no desenvolvimento de sistemas, os quais asseguram que os produtos são projetados e produzidos para ir ao encontro ou superar

as expectativas dos usuários. Assim, como qualquer produto fabricado por mais industrial que seja o seu processo produtivo, este terá consequências diretas na qualidade do produto final, neste caso os BTC. Dentre os parâmetros possíveis de controlar/otimizar neste tipo de produção estão, a resistência à compressão, a absorção de água a massa volúmica e a permeabilidade à água.

2.3.1 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão consiste na aplicação de uma força de compressão nos BTC e analisar a sua deformação até à rotura. A prensagem é realizada nas faces de maiores dimensões, que suportam a disposição dos blocos na parede.

De acordo com os resultados apresentados pelos diferentes autores ilustrados na Tabela 2.5, constata-se que de modo geral as percentagens do estabilizante utilizado encontra-se numa faixa de 4 a 10% de cimento. Relativamente aos resultados obtidos para a resistências à compressão média, ilustrados na mesma tabela, constatou-se que os BTC no estado seco apresentarão uma faixa de 3 a 6,3 MPa. No entanto, verificou-se que nos BTC saturados a resistência à compressão média foi relativamente mais baixo, variando entre 1,7 a 3 MPa, para as mesmas percentagens de cimento.

No que se refere a diferença entre a estabilização com o cimento e a estabilização com cal, os resultados obtidos por Ngowi (1997) provaram que os BTC produzidos pela estabilizados do solo com o cimento apresentam maiores resistências à compressão média com quando comparado com os estabilizados com cal.

Quanto aos BTC não estabilizados, estes apresentaram uma resistência média no estado seco de 2,2 a 2,8 MPa.

Verificou-se ainda que quanto mais tarde se efetuar o ensaio da resistência à compressão mais resistente será o material, pois os BTC ensaiados vinte e oito dias após a produção apresentaram melhores resultados em relação aos que foram ensaiados aos sete dias, após a produção.

De um modo geral, pode-se afirmar que os resultados apresentados por diferentes autores estão em conformidade uns com uns, pois os BTC estabilizados e secos apresentaram maiores resistência à compressão média.

Tabela 2.5 - Resistência média à compressão dos BTC reportada por diferentes autores

Autores	BTC	% Estabilizantes	Estado dos BTC	Resistência à compressão (MPa)	
				Tempo (dia)	
				7	28
Elenga (2011)	NE*		Sem informação	2,8 -3,3	3,3 -3,5
Krosnowski (2011)	EC	6,0	Saturado	3,1- 3,6	2,2 - 4,6
Namango (2006)	NE	5,0 – 9,0	Seco		4,8
	EC				3,5 - 5,9
Bahar <i>et al</i> (2004)	NE	6,0-10	Seco	1,2	1,6
	EC			2,5 - 3,1	3,1-4,1
Lourenço (2002)	EC	8,0	Seco		2,0 - 5,0
			Saturado		0,20
Kerali (2001)	EC*	7,0-9,0	Saturado		4,6-6,5
			Seco		7,3-9,7
Ngowi (1997)	NE	7,5	Seco		1,8
	EC				6,0
	ECal				3,1
Walker (1995)	EC	5,0-10	Saturado		2,1-3,6
			Seco		3,6-6,8

Nota: NE-BTC não estabilizados; EC- BTC estabilizado com cimento; ECal- BTC estabilizado com cal; *BTC produzidos com pressão de compactação de 6 MPa

Bahar *et al*, (2004) estudaram ainda o desempenho de provetes de terra estabilizados com diferentes teores de cimento, ensaiados a seco e depois imersos em água durante 48 horas (saturado), tendo observado uma diminuição de resistência bastante elevada, que não é compensada com o aumento do teor de cimento conforme ilustrado na Figura 2.12.

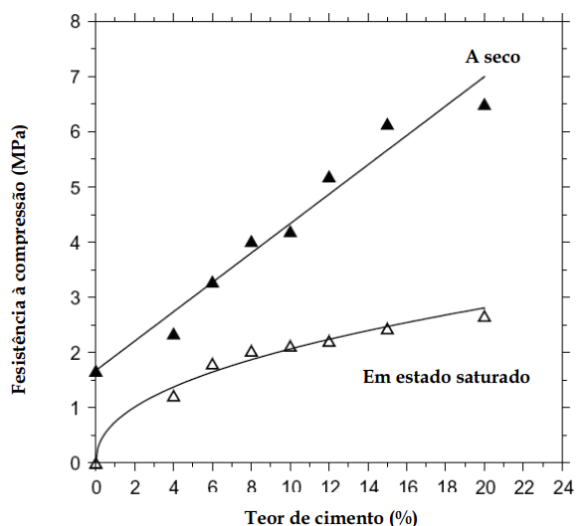


Figura 2.12 - Resistência à compressão: Estado seco versus estado saturado (Bahar *et al*, 2004)

2.3.2 Absorção de água

A absorção de água resulta na desagregação de aglomerados de argila e silte, não estabilizados e possivelmente na sua remoção (Kerali, 2001; Walker, 1995). A água é atraída para o interior dos poros vazios dos BTC por força capilar, devido a afinidade pela água das partículas de terra que compõem os mesmos BTC. A resistência dos BTC quando sujeitos a ação da água resulta do poder de ligação entre as suas partículas, sendo fundamental a estabilização dos mesmos. A Tabela 2.6 ilustra os resultados obtidos por diferentes autores para a absorção de água por imersão expresso em % e por capilaridade expresso em (g/cm²min^{1/2}).

Tabela 2.6 - Absorção de água (imersão e capilaridade) dos BTC reportado por diferentes autores

Autores	Solo (%)	Estabilizante	Ensaio		Resultado		
			Tipo	Tempo			
Taallah <i>et al</i> , (2014)	Arenoso Argiloso (28,0%)	EC (5,00-8,00%)	A	24 h	10,1- 9,30 %		
				48 h	10,3 - 9,50 %		
Hossain <i>et al</i> , (2007)	Argiloso (51,0%)	NE EC (4,00%) ECal (4,00%)	Cb	10 min	(g/cm ² min ^{1/2})	(%)	
					7 dias	14 dias	
					12,2	20,7	
					8,10	13,8	
Bahar <i>et al</i> , (2004)*	Argiloso (62,0%)	EC (5,00%) EC (8,00%) EC (10,0%)	Cb; A	10 min 24 h	12,70	28,9	13,7
					----	----	15,0
					11,2	29,0	16,6
Kerali,**(2001)	Argiloso Argiloso (23,0%)	EC (5,00-9,00%) EC (5,00-9,00%) + ECal (5%)	A	24h	----	9,90 – 7,00	
					----	12,4 - 9,40	
Rix, (1998)	Argiloso (82,0%)	NE ECal (4,00%) EC (4,00%) + ECal (6,00%)	A	24 h		D	
					--	D	
					--	9,90	

Nota: NE - BTC não estabilizados; EC - BTC estabilizado com cimento; ECal - BTC estabilizado com cal; A - Absorção de água por imersão; Cb - Absorção de água por capilaridade; *Pressão de compactação de 10 MPa; **Pressão de compactação de 6 MPa; D- Desagregaram.

Taallah *et al*, (2014), constaram que os BTC produzidos com solo arenoso e com solo argiloso (28%), não apresentaram diferenças significativo nas percentagens de absorção de água. De acordo com os resultados obtidos por Hossain *et al*, (2007), os BTC estabilizados com cimentos, apresentaram uma menor absorção de água, em relação aos estabilizados com cal e aos não estabilizados. Bahar *et al*, (2004), constataram que o aumento da percentagem de cimento refletiu num aumento da

absorção de água, nos BTC. Kerali, (2001) verificou, que a estabilização do solo com cal mais cimento, provocou um aumento a absorção de água, quando comparado com a estabilização com cimento. Por fim, Rix, (1998), constato que, a determinação da absorção de água, não é possível quando os BTC são produzidos com solo muito arenoso (82%), pois os resultados obtidos comprovaram que a determinação deste parâmetro só foi possível, pela estabilização do solo com cimento e cal.

2.3.3 Massa volúmica

A massa volúmica consiste na razão entre a massa do BTC e o volume do mesmo, podendo ser expressa de várias formas, dependendo do seu teor em água.

Este parâmetro depende ainda, do tipo do solo e da sua granulometria, da pressão aplicada, do tipo de compactação, do estabilizante utilizado bem como da sua quantidade adicionada à mistura, da quantidade da mistura compactada na moldagem do bloco e da tipologia do próprio BTC.

Segundo alguns autores (Chan *et al*, 2010; Galíndez, 2009; Morel *et al*, 2007; Namango, 2006; Adam, 2001) a massa volúmica dos BTC é proporcional à resistência e a durabilidade dos mesmos, devendo o valor mínimo de aproximadamente 1600kg/m³. Assim, a maior ou menor massa volúmica traduz a porosidade dos BTC que se relaciona diretamente com a resistência mecânica, absorção de água, porosidade, permeabilidade, resistência, entre outros. Na Tabela 2.7 está apresentada um resumo das massas volúmicas secas reportadas por diferentes autores.

Tabela 2.7 - Massa volúmica seca de BTC reportada por diferentes autores

Autores	Solo (%)	Estabilizante	TH	PC (MPa)	p 10 ³ (kg/m ³)
Galíndez (2009)	Arenoso (10%) Argiloso (23%)	NE	Sem informação	<1	1,6 – 1,7
Arabani <i>et al</i> (2007)	Arenoso (5,0%) Argiloso (36%)	ECal (6,0%)	95% TOA	Sem informação	2,1 – 2,2
Namango (2006)	Argiloso (48%)	NE	3,0%>TOA	2,0-4,0	1,8
		EC (9,0%)			1,7
Ngowi (1997)	Argiloso (37%)	EC (5,0-10%)	Drop test	2,0	1,8 – 1,9
		ECal (5,0-10%)			1,8 – 2,0
Walker (1995)	Arenoso (35%) Argiloso (50%)	EC (5,0-10%)	TOA	2,0-4,0	1,8 – 1,9

Nota: NE - BTC não estabilizados; EC - BTC estabilizado com cimento; ECal- BTC estabilizado com cal; TOA -Teor ótimo de água; TH - Teor em humidade; PC - pressão de compactação.

2.3.4 Permeabilidade à água

A permeabilidade à água dos BTC, depende do desenvolvimento da estrutura porosa do material (Kerali, 2001). Ou seja, com passar do tempo a permeabilidade à água pode variar, devido ao aparecimento de microfissuras resultante da variação higratérmica dos BTC.

A permeabilidade dos BTC, segundo Lourenço (2002), estabilizados com 8% de cimento e compactados a 4 MPa é de 1×10^{-8} m/s. Bahar *et al* (2004), estudaram o efeito deste parâmetro com a estabilização da terra com cimento, conforme ilustrado Tabela 2.8. Estes resultados foram determinados a partir de ensaios cilíndricos de terra (com 62% de argila e silte e índice de plasticidade de 15 %) estabilizados com diferentes quantidades de cimento.

Tabela 2.8 - Permeabilidade do BTC estabilizados com quantidades diferentes de cimento

Cimento (%)	Permeabilidade (m/s)
0,0	O provete desagregou
5,0	14×10^{-8}
10	$7,5 \times 10^{-8}$
15	$1,0 \times 10^{-8}$
20	$0,27 \times 10^{-8}$

2.3.5 Valores limites para caracterização dos blocos de terra compactada

Conforme indicado na Tabela 2.9, os BTC ensaiados de acordo com a NBR 10836 deverão apresentar valores médio e individual, para a resistência a compressão e da absorção de água. Para o cálculo das médias deverão ser realizados pelo menos três ensaios, por mistura/traço.

Tabela 2.9 - Valores de referência para a resistência a compressão e a absorção de água dos BTC de acordo com a NBR 10834

Ensaio	Valores limites após 28 dias de cura	
	Individual	Média
Resistência a compressão	$\geq 1,7$ MPa	$\geq 2,0$ MPa
Absorção de água	≤ 22 %	≤ 20 %

3 Metodologia experimental

Neste capítulo, descreve-se a metodologia experimental que se utilizou para a realização desta dissertação.

3.1 Amostra e amostragem

A matéria-prima para a produção dos BTC é a terra. Para a realização dessa dissertação recolheram-se quatro amostras de solo na cidade de São Tomé em STP.

3.1.1 Locais da amostragem

As amostras estudadas foram recolhidas nos quatro pontos indicados na Figura 3.1 (A - Riboque, B - Bobo Forro, C - Mesquita e D - Correia).

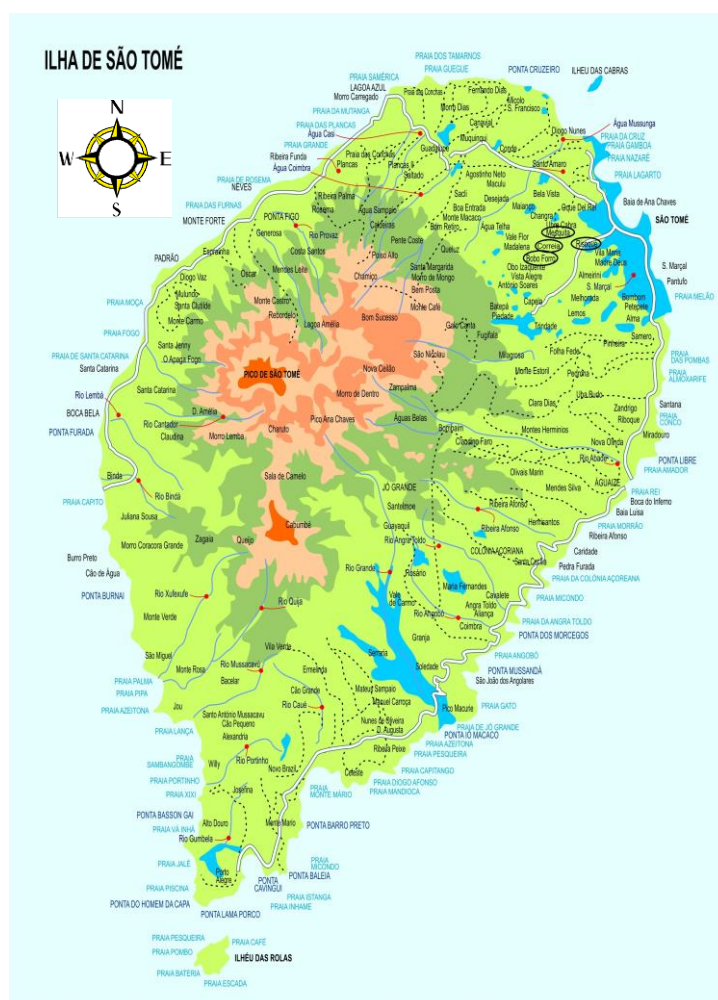


Figura 3.1 - Localização geográfica dos pontos da amostragem em STP, mapa sem escala (Parques Naturais de STP). Nota: Amostra A - Riboque; Amostra B - Bobo Forro; Amostra C - Mesquita; Amostra D – Correia.

3.1.2 Técnica da amostragem

Para a realização da amostragem procedeu-se da seguinte forma: escavou-se o ponto da amostragem a mais de 50 cm de profundidade, rejeitando-se essa primeira camada, recolheu-se a camada seguinte de forma garantir que a amostra continha pouca matéria orgânica (Figura 3.2), cada amostra era composta por diferentes tomas recolhidas em 20 pontos aleatórios, misturou-se bem, embalou-se em sacos de plásticos limpos e por fim enviou-se para o laboratório.



Figura 3.2 - Técnica da amostragem (SAHARA, 2018)

De acordo com o esboço da carta dos solos de STP (Figura A, em anexo), as amostras recolhidas têm origem em rochas eruptivas, denominados por solos ferralíticos tropicais. Estes solos têm argila fersialítica, podem ser vermelhos, amarelos ou castanhos e ter diferentes teores de matéria orgânica. A Figura 3.3 ilustra as amostras estudadas na presente dissertação.



Figura 3.3 - Amostras estudadas. Nota: Amostra A - Riboque; Amostra B - Bobo Forro; Amostra C - Mesquita; Amostra D - Correia

A amostra A é conhecida em STP como barro vermelho por possuir uma coloração avermelhada, a área de amostragem não possui plantação, aparentemente não deverá apresentar uma quantidade significativa de matéria orgânica. De um modo similar, a área da amostra B também não possui plantação, tem uma coloração bastante diferente da amostra A, castanho claro. A amostra C é conhecida como barro castanho, na área de amostragem também não possui plantação. Por fim, a amostra D tem uma coloração muito próxima a da amostra C. A área da amostra D é habitada e possui

plantação. É espectável que esta amostra apresente uma maior quantidade de matéria orgânica, quando comparado com as outras amostras.

3.1.3 Preparação das amostras no laboratório

Depois de recolhidas, as amostras foram preparadas no laboratório de acordo com a exigência da NBR 6457, tendo-se procedido da seguinte forma: retirou-se a amostra dos sacos de plástico e desmanchou-se os torrões; homogeneizou-se recorrendo ao quartejamento manual (Figura 3.4). Para tal, colocou-se a amostra em cima de uma base perfeitamente limpa, formando um cone; dividiu-se o cone em partes iguais; retirou-se metade das partes obtidas (uma sim, uma não) e misturou-se. Por fim peneirou-se as amostras num peneiro de 4,8 mm.

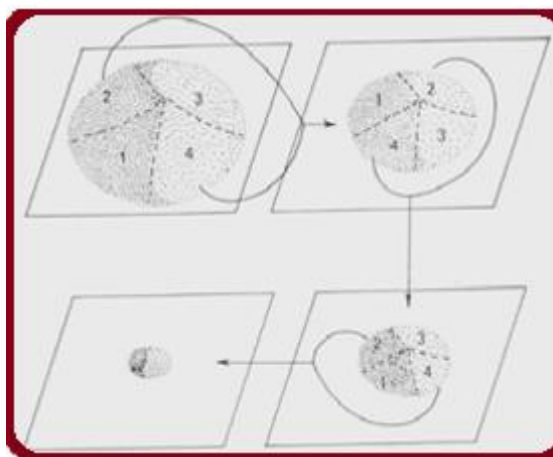


Figura 3.4 - Processos de quartejamento das amostras

3.2 Caracterização das amostras da terra

Após a preparação das amostras, procedeu-se a caracterização das mesmas, tendo realizados ensaios granulométricos, teor de humidade, limites de consistência, matéria orgânica, análise da composição química por espectrometria de Fluorescência de Raios X e a densidade das partículas do solo.

3.2.1 Análise granulométrica

Este parâmetro foi determinado através de dois ensaios, para as partículas de maiores dimensões e para as partículas de menores dimensões.

Para as partículas de maiores dimensões, que é o caso do pedregulho e areia utilizou-se uma serie de peneiros normalizados (2,00; 0,850; 0,600; 0,425; 0,250; 0,150; 0,106 e 0,0750 mm) e procedeu-se de acordo com norma NBR 7181. Pesou-se aproximadamente 1000 g da amostra (Tabela A em anexo), previamente preparada; peneirou-se e pesou-se o material retido em cada um dos peneiros. Calculou-se as

percentagens do material retido em cada peneiro de acordo com a equação 3.1. Por fim, traçou-se a curva granulométrica.

$$Nx = \frac{mx}{mt} * 100 \text{ Equação 3.1}$$

mx corresponde a massa do material retido no peneiro número x , mt é a massa total da amostra.

As quantidades das partículas de menores dimensões (silte e argila) foram determinadas por análise de sedimentação seguido a E196.

Para partículas de menores dimensões procedeu-se do seguinte modo: pesou-se 100,0 g do material passado pelo peneiro 2 mm; adicionou-se 100,00 cm³ de solução anti floculante de hexametáfosfato de sódio, com concentração 45,7 g/cm³; aqueceu-se suavemente durante 10 minutos; transferiu-se a mistura para o recipiente do agitador com a ajuda de um jato de água (esguicho) e agitou-se durante 15 minutos; transferir-se a suspensão para um peneiro de 0,074 mm; a parte que passou pelo peneiro transferiu-se para uma proveta de 1000 cm³, completou-se o volume com água destilada; procedeu-se a leitura a densidade (L_s) (0,001 kg/m³, $\pm 68^\circ\text{F}$) e da temperatura ($\pm 0,5^\circ\text{C}$), em função do tempo; Desprezou-se o material retido no peneiro 0,074 mm, por ter sido uma quantidade insignificativa, (Figura 3.5).

Em simultâneo com as leituras das amostras, leu-se a densidade da solução de hexametáfosfato de sódio: colocou-se 100,00 cm³ da solução numa proveta de 1000 ml, completou-se o volume com água destilada e efetuou-se a leitura (L_A).



Figura 3.5 - Ensaio de sedimentação

Após as leituras, procedeu-se a correção da densidade, a partir da seguinte equação:

$$C_A = L_A - 1,000 + C_T \text{ Equação 3.2}$$

onde, C_A corresponde a leitura corrigida da densidade do agente anti floculante, L_A corresponde a leitura sem correção, C_T correção da temperatura (Tabela B , em anexo).

Para a correção das leituras das densidades das suspensões de solo (L_c), aplicou-se a equação abaixo:

$$L_c = L_s + C_M - C_A + C_T \text{ Equação 3.3}$$

onde C_M correção do menisco.

A percentagem de material com partículas de diâmetros inferior é calculada pela seguinte equação:

$$nD = \frac{100000}{mb} * \frac{G}{(G-1)} * (L_c - 1) \text{ Equação 3.4}$$

onde, mb corresponde a massa da amostra seca utilizada no ensaio, G corresponde a densidade das partículas das amostras, e o L_c corresponde a leitura corrigida da densidade da dispersão.

Por fim, o diâmetro das partículas em mm, correspondentes às percentagens nD , é determinada pela Lei de Stokes, conforme a equação abaixo:

$$D = \sqrt{\frac{30 * \mu * Z}{980 * (G - G_1) * t}} \text{ Equação 3.5}$$

onde, G corresponde a densidade das partículas, G_1 densidade do meio da suspensão (igual a 1,000), μ corresponde a viscosidade da água em poises (Tabela C em anexo) e o Z corresponde ao nível da dispersão na proveta.

3.2.2 Teor em água

Este ensaio foi realizado seguindo a norma NBR 6457. Procedeu-se da seguinte forma: depois de passada por um peneiro de 4,8 mm de diâmetro, pesou-se uma toma da amostra, 35,00 g (teor em água inicial), 8,00 g (teor em água para a determinação do limite de liquidez) ou 1,50 g (teor em água para o limite de plasticidade); esmagou-

se num almofariz e colocou-se a secar a 105°C, durante 24 horas; deixou-se a arrefecer num exsicador e pesou-se. Calculou-se teor em água, H, (base seca) de acordo com equação 3.6:

$$H (\%) = \left[\frac{m_{liq} - m_{seca}}{m_{seca}} \right] * 100 \text{ Equação 3.6}$$

onde, m_{liq} representa a massa da amostra húmida, m_{seco} massa da amostra seca.

3.2.3 Limites de Atterberg ou limites de consistência

Teste parâmetros foi determinado com a aplicabilidade das normas NBR 6459 para o LL e a norma NBR 7180 para LP.

No caso do LL, procedeu-se da seguinte forma: pesou-se 100,00 g da amostra previamente preparada como descrito em 3.1.3; numa cápsula metálica, adicionou-se à amostra água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo, vigorosa e continuamente com auxílio da espátula, de forma a obter uma pasta homogênea, com consistência tal que fosse necessários cerca de 35 golpes para fechar a divisão; transferiu-se parte da mistura para a concha, moldando-a de forma que na parte central a espessura fosse de 10 mm; evitou-se a formação de bolha de ar no interior da mistura, durante a moldagem; dividiu-se a mistura em duas partes iguais, passando o cinzel da mistura de forma a abrir um rasgo de 13 mm na parte central; golpeou-se a concha, até que esse rasgo desaparece-se e registou-se o número de golpes (pancadas) necessário; transferiu-se uma pequena quantidade da mistura (na zona de união) para um cadinho, pesou-se e colocou-se a secar na estufa a 105°C, durante 24 horas, arrefeceu-se e pesou-se novamente; transferiu-se o restante da mistura para a cápsula metálica, alterou-se o teor de água na mistura com a adição de mais água ou por secagem e repetiu-se os passos anteriores, até se obter 3 ensaios (Figura 3.6) com números de golpes entre 35 a 15. Por interpolação linear (para 25 pancadas) da representação do logaritmo do número de pancadas em função do teor em água da amostra determinou-se o LL.

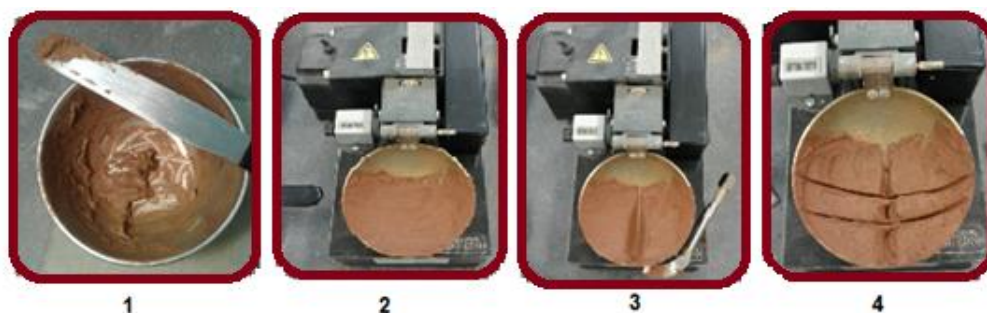


Figura 3.6 - Ensaio do limite de liquidez: Nota: 1 - Espátulação; 2 - Moldagem; 3 - Divisão da amostra; 4 - União da mistura com a aplicação dos golpes

Relativamente ao ensaio de LP, procedeu-se da seguinte forma: pesou-se 20,00 g da amostra previamente preparada como descrito em 3.1.3, numa cápsula metálica, adicionou-se à amostra água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo vigorosa e continuamente com auxílio da espátula, até que obteve-se uma pasta homogênea de consistência plástica; pesou-se 10,00 g da mistura e formou-se uma pequena bola, rolou-se a mesma numa placa de vidro formando um cilindro; verificou-se se a amostra se fragmenta-se antes de se atingir o diâmetro de 3 mm, pois caso isso se verifica-se, dever-se-ia colocar a mistura na capsula, adicionar mais água e repete-se o procedimento; formou-se 4 provete com 3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento (Figura 3.7), em cima da placa de vidro, efetuou-se 3 cortes de dimensões aproximadamente iguais, e colocou-se a secar à 105°C, durante 24 horas. O LP determinou-se de acordo com a equação 3.7.

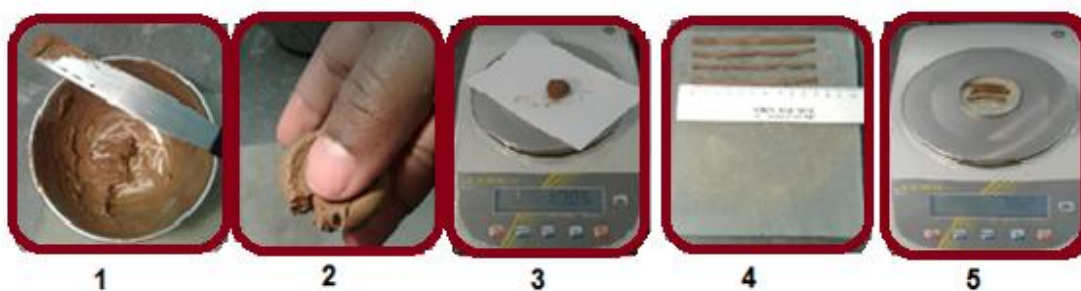


Figura 3.7 - Ensaio do limite de plasticidade. Nota: 1- Espátulação; 2 - Verificação da humidade; 3 - Pesagem de amostra; 4 - Provetes; 5- Pesagem.

$$LP (\%) = \left[\frac{m(\text{liq}) - m(\text{seca})}{m(\text{seca})} \right] * 100 - H(\text{inicial}) \quad \text{Equação 3.7}$$

onde m_{liq} representa a massa do proveito húmido, m_{seco} massa do proveito seco e o H_{inicial} corresponde ao teor em água existente na amostra inicialmente.

Por fim, determinou-se então a IP, pela Equação 3.8:

$$IP = LL - LP \text{ Equação 3.8}$$

3.2.4 Matéria orgânica

Para a determinação da matéria orgânica presente nas amostras recorreu-se a norma D 2974-00. Para esta determinação é necessário determinar o teor em água e de cinzas.

3.2.4.1 Determinação do teor em água

O teor em água foi determinado a partir da secagem de 100,00 g de amostra de solo seco a 105 °C na estufa, durante aproximadamente 13 horas. Determinou-se o teor de humidade conforme indicado na Equação 3.6.

3.2.4.2 Determinação do teor em cinza

O teor de cinzas de uma amostra de solo é determinado por ignição numa mufla a 750 ° C da amostra utilizada para determinação do teor de humidade. A massa remanescente após a ignição corresponde ao teor cinza. O teor de cinza é expresso em percentagem da massa da amostra seca em estufa. Procedeu-se da seguinte forma: colocou-se a amostra seca ($m(\text{seca})$) em 3.2.4.1 numa mufla; gradualmente levou-se a temperatura no forno a 750°C durante 5 horas; deixou-se arrefecer e pesou-se ($m(\text{cinzas})$); calculou-se a quantidade de cinza presente na amostra a partir da Equação 3.9.

$$\text{Teor em cinzas (\%)} = \left[\frac{m(\text{cinza}) * 100}{m(\text{seca})} \right] \text{ Equação 3.9}$$

3.2.4.3 Determinação da matéria orgânica

Determinou-se a matéria orgânica por aplicação da seguinte equação:

$$\text{Matéria orgânica (\%)} = 100 - \text{Teor em cinzas} \text{ Equação 3.10}$$

3.2.5 Espectrometria de Fluorescência de Raios X

Para a análise química por EFRX procedeu-se da seguinte forma: peneirou-se uma pequena quantidade de amostra, numa serie de peneiros normalizados com dimensões de 0,0787, 0,0098 e 0,0049 mm de diâmetros Figura 3.8; colocou-se um círculo de filme de polipropileno no topo contendor da amostra e prendeu-se devidamente; colocou-se uma quantidade adequada de amostra, passada pela serie de peneiro; certificou-se a inexistência de espaços vazios ou camadas irregulares, pois, estes afetam a leitura; completou-se o contendor com fibras de recheio de poliéster para evitar o movimento da amostra (Figura 3.8); efetuou-se as leituras da concertação dos elementos químicos presentes na amostra (Figura 3.9).



Figura 3.8 – Preparação da amostra para EFRX. Nota: 1 - Serie de peneiro; 2 - Provete

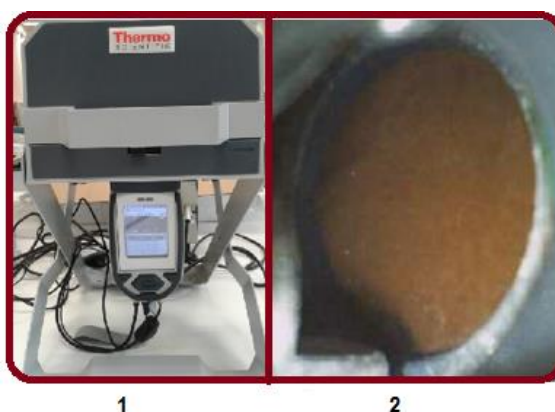


Figura 3.9 - Leitura da amostra. Nota: 1 - Ecrã Táctil de LCD; 2 - Foto da amostra tirada pelo equipamento

3.2.6 Densidade das partículas do solo

A densidade das partículas do solo foi determinada por picnometria de acordo com a norma NP 83. Inicialmente calibrou-se o picnómetro da seguinte forma: lavou-se

o picnómetro com água, secou-se e pesou-se; encheu-se de água destilada até ao traço de referência e pesou-se; determinou-se a temperatura da água (T_1). Calculou-se a massa do picnómetro cheio de água, á temperatura T_{20} , a parte da seguinte equação, m_3 :

$$m_3 = \frac{d(T_1)}{d(T_{20})} * (m_2 - m_1) + m_1 \quad \text{Equação 3.11}$$

sendo, m_1 massa do picnómetro vazio, m_2 massa do picnómetro cheio com água destilada, $d(T_1)$ densidade da água à temperatura de ensaio, $d(T_{20})$ densidade da água a 20 °C (Tabela D em anexo).

Pesou-se 25 g de amostras de solo, colocou-se no picnómetro com 75 cm³ de água destilada; misturou-se e deixou-se estabilizar por 12 horas, completou-se o volume com água destilada, pesou-se e leu-se a temperatura da mistura; verteu-se o conteúdo do picnómetro numa cápsula e secou-se à 106 °C; deixou-se arrefecer e pesou-se (Figura 3.10). Por fim determinou-se a densidade da partícula a partir da equação a baixo:

$$d = \frac{m_4}{m_3 - (m_5 - m_4)} * K \quad \text{Equação 3.12}$$

onde, m_3 é a massa do picnómetro cheio com água, m_4 corresponde ao peso do solo seco a 106 °C, m_5 massa do picnómetro com água e solo, K é o quociente entre a densidade da água a T_1 e a 20°C, (Tabela D).

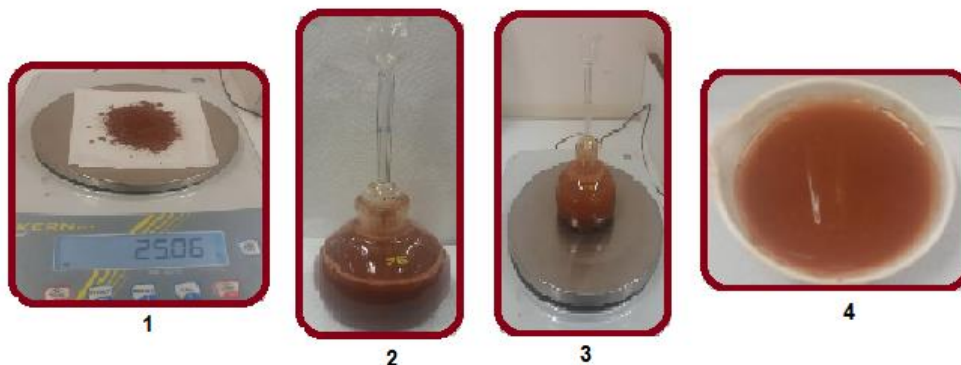


Figura 3.10 - Determinação da densidade das partículas do solo. Nota: 1 - Pesagem da amostra; 2 - Estabilização da mistura com água; 3 - Pesagem da mistura dentro do picnómetro; 4 - Mistura pronta para secagem na estufa.

3.3 Produção dos blocos de terra compactada

Neste subcapítulo, será descrita a dimensão e a formulação dos BTC.

3.3.1 Dimensão dos blocos de terra compactada

A dimensão dos BTC varia de acordo com molde e com a prensa utilizada. Inicialmente, pretendeu-se produzir BTC do tipo Inteiros com dimensões ilustradas no ponto 2.2.5, Figura 2.8. Porém, não se obteve sucesso com o molde utilizado, pois, este dobrou com a aplicação da pressão de prensagem. Para seleccionar este problema, procedeu-se a produção dos BTC na Empresa SKREI, numa prensa manual com um molde incorporado, com dois cilindros de 6 cm de diâmetros, Figura 3.11.

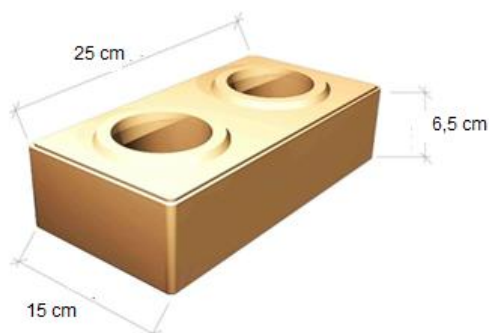


Figura 3.11 - A dimensão e o tipo dos BTC produzidos

O equipamento utilizado, encontra-se ilustrado na Figura 3.12. Consiste numa prensa que dispõe de um manómetro para controlar a pressão aplicada.

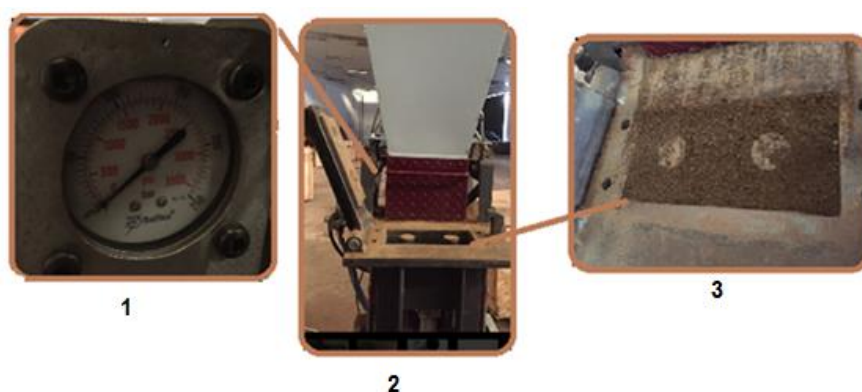


Figura 3.12 - Prensa utilizada na produção dos BTC. Nota: 1 - Manómetro; 2 - Prensa; 3 - Molde preenchido com o material

3.3.2 Formulação dos Blocos de Terra Compactada

As formulações testadas estão indicadas na Tabela 3.1. O ponto partido foi o traço de referência utilizado em STP indicado na Tabela 2.4 (Manual para produção dos BTC em STP). Produziram-se ainda as outras formulações indicadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Percentagens de cimento e areia, em relação a quantidade mássica do solo.

Quantidade de solo kg	Quantidade de cimento		Quantidade de areia	
	kg	%	kg	%
12,0	1,20	10,0	--	--
12,0	1,80	15,0	--	--
12,0	1,20	10,0	2,40	20,0

É de realçar que devido à quantidade de solo disponível não foi possível produzir as mesmas quantidades de BTC para todas formulações.

A produção dos BTC foi realizada da seguinte forma: peneirou-se os solos num peneiro normalizado com um diâmetro de 4,8 mm; pesaram-se as quantidades de solo, cimento e areia; homogeneizou-se a mistura seca com auxílio de um agitador mecânico; adicionou-se água até a humidade ótima para a prensagem Figura 3.13.



Figura 3.13 - Preparação da mistura para a prensagem. Nota: 1- Pesagem; 2- Homogeneização; 3- Adição de água a mistura; Verificação da humidade ótima por compressão da mistura com a mão

Na Tabela 3.2 encontra-se as quantidades de água, utilizada nas diferentes misturas, para humidade ótima de prensagem.

Tabela 3.2 - Quantidade de água adicionada para a produção dos BTC com diferentes formulações.

Amostra	Quantidades dos componentes adicionados á da mistura (kg)			
	Solo	Cimento	Areia	Água
A	12,0	1,20	--	4,00
		1,80	--	4,00
		1,20	2,40	3,60
B	12,0	1,20	--	3,60
		1,80	--	3,45
		1,20	2,40	4,00
C	12,0	1,20	--	4,00
		1,80	--	4,00
		1,20	2,40	4,00
D	12,0	1,20	--	3,40
		1,80	--	2,65

As quantidades de água adicionadas nas diferentes formulações variam. Apesar destas variações não serem muito significativas podem refletir-se nas propriedades dos BTC. Em média, pode-se dizer que para produção de cada BTC, gastou-se aproximadamente um litro de água.

Por fim, colocou-se a mistura na prensa, encheu-se o molde e aplicou-se uma pressão de 6,5 MPa; retirou-se o BTC do molde, identificou-se, tapou-se com saco de plástico e iniciou-se a cura húmida e seca. Os BTC foram regados com água durante 7 dias e secos por 21 dias, ao ar ambiente Figura 3.14.

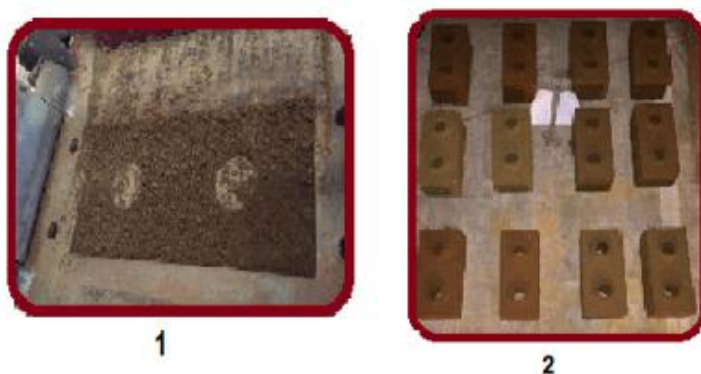


Figura 3.14 - Produção dos BTC. Nota: 1 - Enchimento da mistura no molde; 2 - Exposição dos BTC; 3 - Cura

Para garantir a o teor de humidade adequado as reações de estabilização, da mistura, efetuou-se a cura húmida, durante os 7 primeiros dias, após a produção dos BTC. Realizou-se a cura seca, com o intuito de garantir a evaporação lenta da humidade, de forma que a secagem da argila fosse lentamente, e ocorresse um aumento na coesão dos BTC.

3.4 Controlo de qualidade dos Blocos Terra Compactada

Após a produção dos BTC, procedeu-se ao controlo de qualidade dos mesmos. Os parâmetros avaliados foram: a resistência à compressão, a absorção de água e a massa volúmica.

3.4.1 Resistência à compressão

Este parâmetro foi determinado por aplicação da norma NBR 10836, com o auxílio de uma prensa de ensaios a compressão, da marca CONTROLS, Figura 3.15.



Figura 3.15 - Prensa de ensaios de compressão e o disco da prensa

Começou-se por lixar os BTC para eliminar os cones dos ensaios e se obteve uma superfície uniforme, colocou-se o BTC na prensa (Figura 3.15), ajustou-se a posição do BTC no disco da prensa, efetuou-se o ensaio de compressão por aplicação de uma velocidade constante de 1 MPa/s, sobre a área externa do BTC. Leu-se o valor da força (kN) e a pressão (MPa) para o qual o BTC se rompeu. A área externa é dada pela multiplicação do comprimento (25 cm) do BTC pela largura (15 cm) do mesmo (sem se considerando os cilindros internos).

3.4.2 Absorção de água

A absorção de água foi determinada seguindo a norma NBR 10836, tendo procedido da seguinte forma: colocou-se o BTC a secar na estufa a 106°C, durante 24 horas; arrefeceu-se e pesou-se até peso constante (m_1); colocou-se os BTC num tanque com água a temperatura ambiente durante 24 horas; retirou-se o excesso de água e pesou-se (m_2), Figura 3.16.



Figura 3.16 - Ensaio de absorção de água por imersão. Nota: 1 - Secagem das amostras; 2 - Pesagem a seco; 3 - Imersão das amostras no tanque; 4 - Pesagem húmida

Determinou-se a percentagem de água absorvida pelos BTC da seguinte forma:

$$AI(\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100 \text{ Equação 3.13}$$

4 Análise de Resultados

No presente capítulo, será apresentado e discutidos os resultados experimentais obtidos.

4.1 Caracterização das amostras do solo

Os resultados obtidos na caracterização das amostras do solo, serão discutidos neste subcapítulo.

4.1.1 Limites de liquidez

A partir da equação da reta que relaciona o logaritmo do número de pancadas em função do teor em água, determinou-se o LL, que corresponde ao teor de humidade para 25 pancada, Figura 4.1.

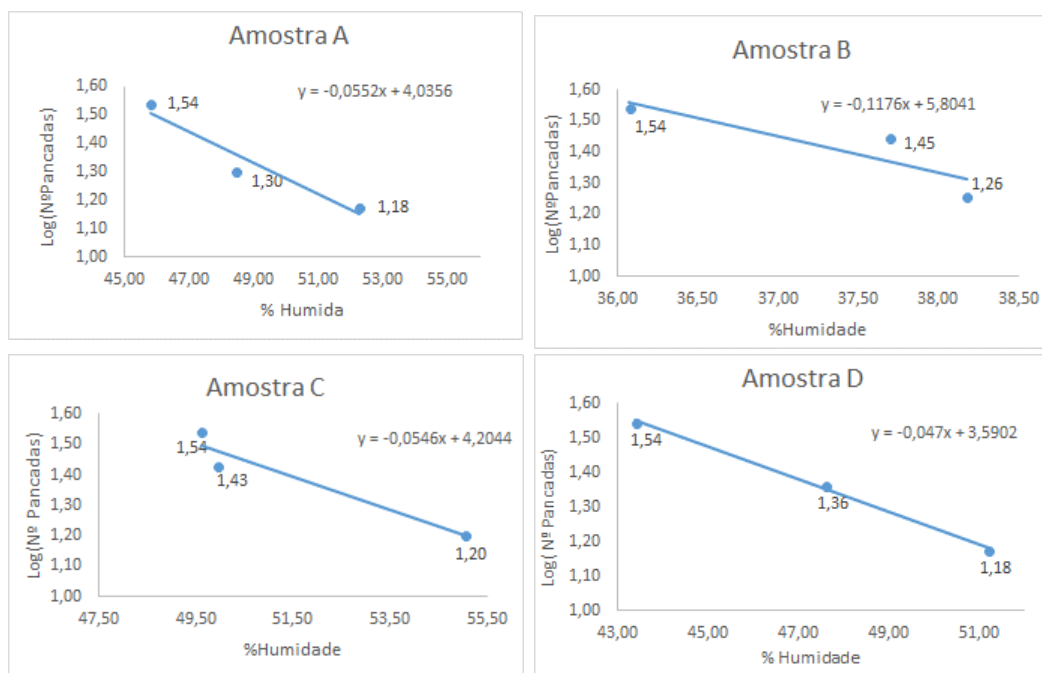


Figura 4.1- Representação gráfica do logaritmo de número de pancada em função do teor de humidade para os 4 solos

O aumento do teor de água faz diminuir o número de pancada necessário para juntar rasgo de 13 mm, efetuado na mistura. Os resultados dos LL para os 4 solos estão na Tabela 4.3 (apresentada em 4.1.4 Síntese dos resultados das análises aos solos) e resultados mais detalhados encontram-se nas Tabela E.1, E.2 e E.3 (em anexo).

4.1.2 Ensaio de granulometria

As curvas granulométricas traçadas para os solos encontram-se na Figura 4.2. Comparando as 4 curvas granulométricas pode-se afirmar que todos os solos são arenoso, uma vez que grande quantidade de material ficou retido acima do peneiro com 0,075 mm (Tabela 4.3). A amostra da localidade de Mesquita (amostra C) apresentou uma maior quantidade de material retido com dimensões superiores a 0,075 mm, enquanto, a amostra da localidade de Riboque (amostra A), apresentou uma menor quantidade de material retido com a mesma dimensão. As percentagens de areia e conjunto silte e argila encontram-se indicadas na Tabela 4.3 (apresentada em 4.1.4 Síntese dos resultados das análises aos solos). Não foi possível, a quantificação das partículas mais finas, a silte e a argila, de forma individual, pela análise granulométrica, assim sendo, recorreu-se a análise de sedimentação. Mais detalhes nesta determinação encontram-se na Tabela F.1 a Tabela F.4 (em anexo).

A análise de sedimentação foi determinada atendendo a E 196. Após a lavagem da suspensão desprezou-se o material retido (no peneiro com 0,075 mm), por se tratar de quantidades muito pequenas. A curva que relaciona a densidade da suspensão com o tempo encontra-se na Figura 4.3. A diminuição lenta da densidade é justificada pelas quantidades mínimas de argila e silte, que constituem as amostras. Pois, quanto maior o diâmetro das partículas, mais rápida as mesmas se sedimentam, ou seja, mais rápida será a diminuição da densidade ao longo do tempo. Os resultados mais detalhados encontram-se Tabela G.1 a Tabela G.5 (em anexo). A partir da equação que relaciona a densidade das partículas das amostras com a densidade da suspensão e com a massa da amostra seca utilizada nos ensaios (equação 3.4), calculou-se as quantidades de silte e argila, individualmente presentes nos solos Tabela 4.3 (apresentada em 4.1.4 Síntese dos resultados das análises aos solos).

Na Figura 4.4, estão representadas as curvas granulométricas que relacionam a quantidade do material retido de diâmetro inferior com o diâmetro equivalente das partículas do solo. À medida que os diâmetros das partículas aumentaram, a percentagem do material retidos também aumentam. Este facto deve-se a elevada percentagem de areia nas amostras, e por consequência, a pequenas percentagens em areia e silte, conforme ilustrado na Tabela 4.3 (apresentada em 4.1.4 Síntese dos resultados das análises aos solos).

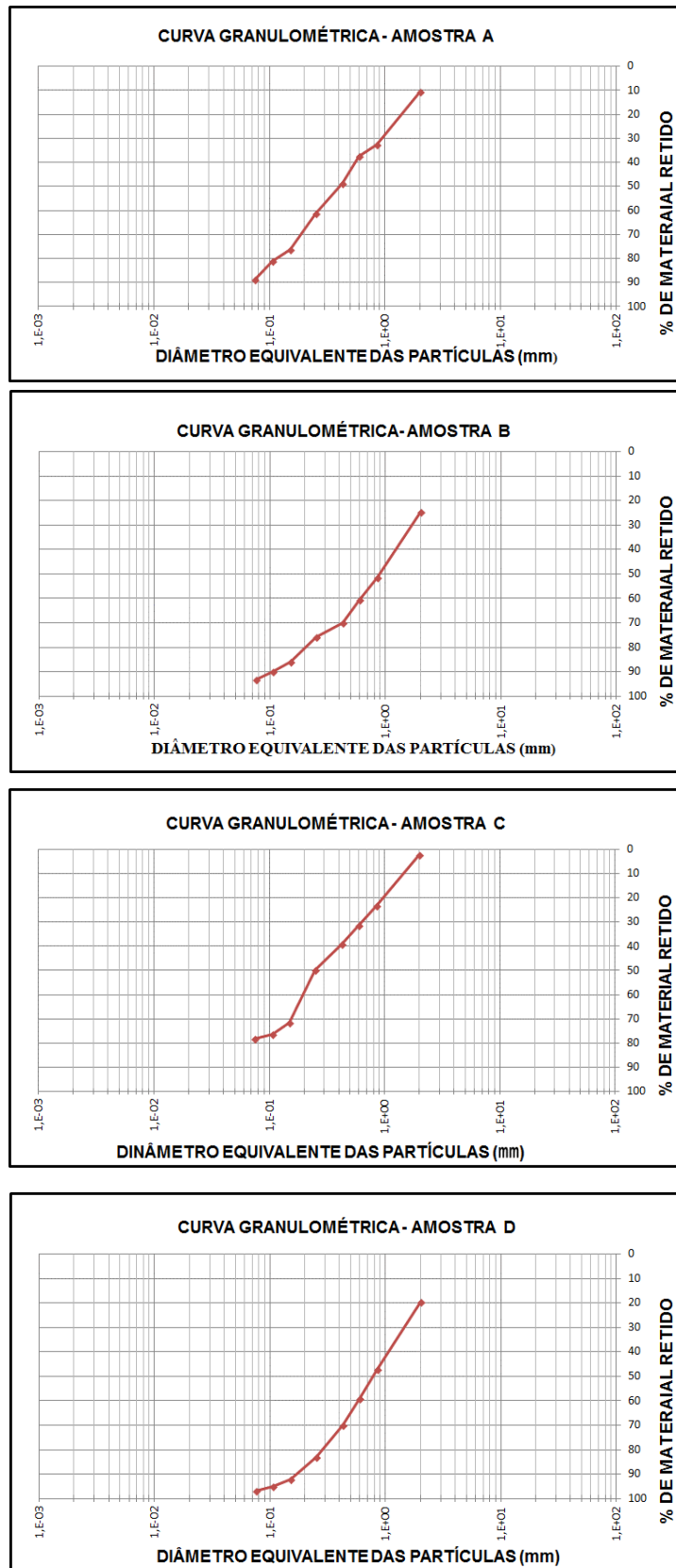


Figura 4.2 - Curvas granulométrica obtidas por peneiração para os solos A, B, C e D.

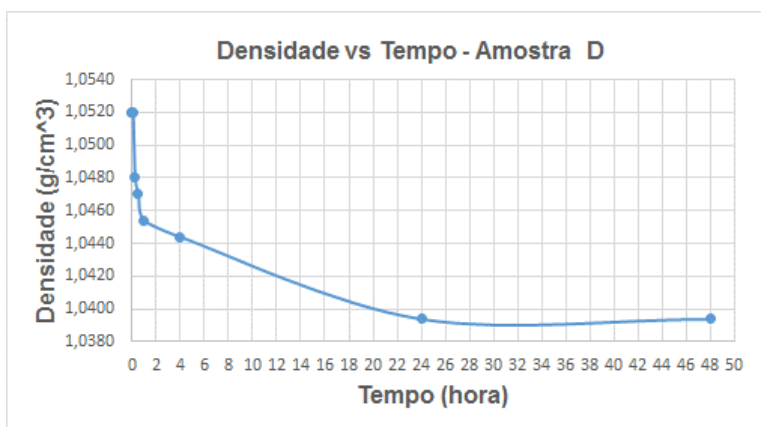
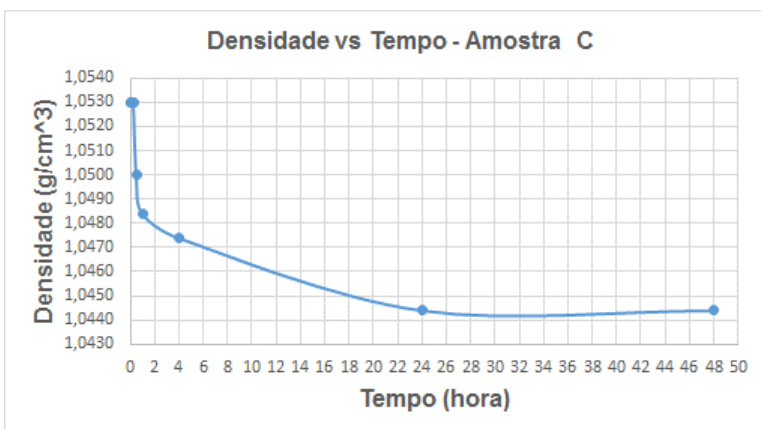
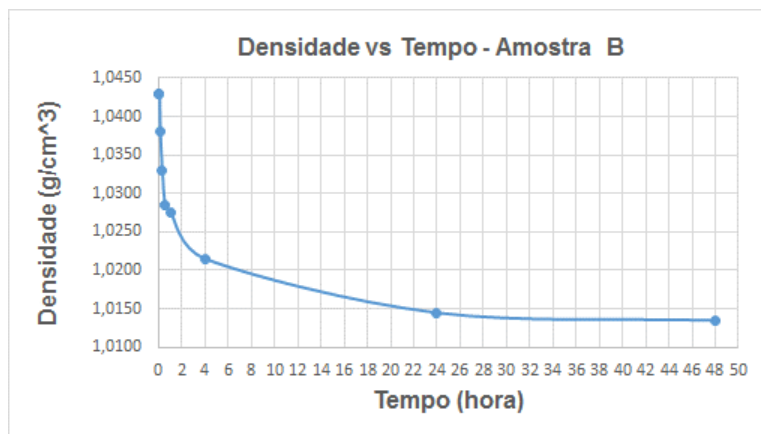
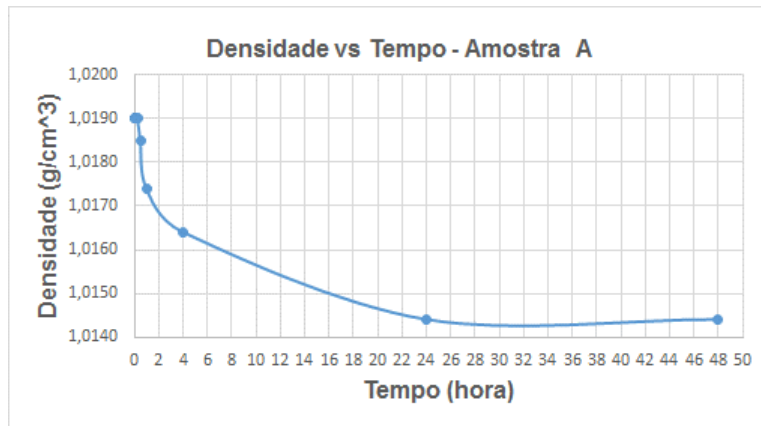


Figura 4.3 - Representação gráfica da evolução densidade corrigida da suspensão dos solos em função do tempo.

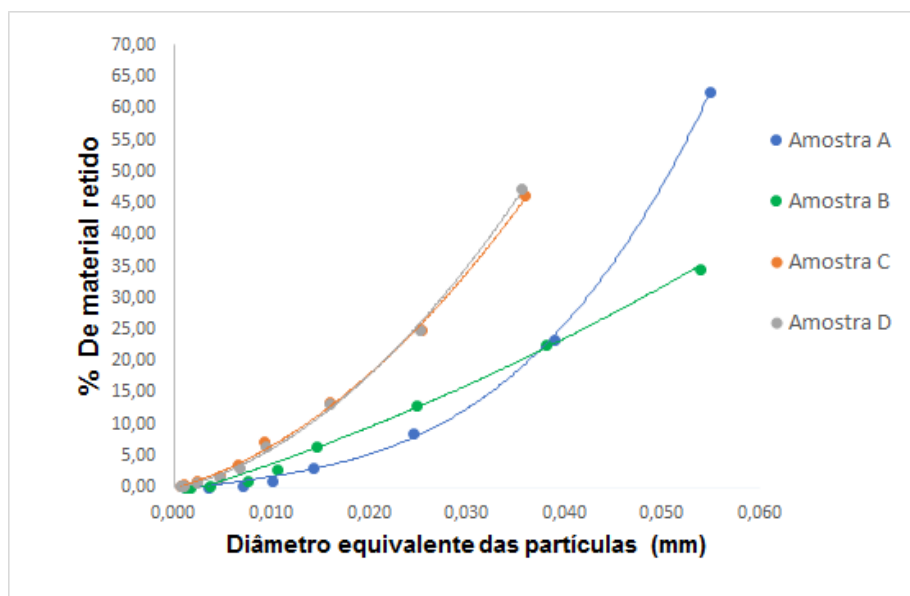


Figura 4.4 - Curvas granulométrica obtidas por sedimentação para os solos A, B, C e D

4.1.3 Caracterização química dos solos por Espectrometria de Fluorescência de Raios

A análise dos elementos químicos reportados na forma de óxidos foi determinada por EFRX, os resultados obtidos encontram-se na Tabela 4.1 e na Tabela 4.2.

Analisando o resultado obtido nesta determinação, verificou-se que dos elementos químicos analisados, o mais predominante em todas as amostras foi o ferro. Relacionando esta análise com a análise granulométrico (Tabela 4.3), constatou-se que a amostra com maior teor em areia (amostra C) foi a que apresentou uma menor percentagem em óxido de ferro. De um modo semelhante, amostra com menor percentagem em argila (amostra B) foi a que apresentou uma maior percentagem em óxido de ferro, por fim a amostra com menor percentagem em silte (amostra C), apresentou menor percentagem em óxido de ferro.

Tabela 4.1 - Caracterização dos solos por EFRX (elementar).

Elementos	Amostras de Solos							
	A (%)		B (%)		C (%)		D (%)	
	Quant	DP	Quant.	DP	Quant.	DP	Quant.	DP
Mo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zr	0,069	0,001	0,077	0,000	0,071	0,000	0,060	0,000
Sr	0,029	0,000	0,024	0,000	0,040	0,000	0,032	0,000
U	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rb	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
As	0,005	0,000	0,002	0,000	0,006	0,000	0,005	0,000
Hg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,000	0,000	0,007	0,001	0,000	0,000	0,017	0,000
w	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,008	0,000	0,002	0,000	0,006	0,000	0,011	0,000
Ni	0,023	0,001	0,000	0,002	0,037	0,000	0,023	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	20,444	0,003	5,151	0,022	25,963	0,000	17,990	0,000
Mn	0,119	0,001	0,095	0,001	0,126	0,000	0,132	0,000
Cr	0,090	0,005	0,000	0,000	0,065	0,000	0,077	0,000
V	0,048	0,003	0,016	0,002	0,050	0,000	0,044	0,000
Ti	3,773	0,005	1,326	0,000	4,841	0,000	3,434	0,000
Sc	0,008	0,001	0,000	0,000	0,007	0,000	0,014	0,000
Ca	0,117	0,010	0,055	0,004	0,000	0,000	1,957	0,000
K	0,068	0,002	2,100	0,005	0,064	0,000	0,209	0,000
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	0,037	0,001	0,024	0,001	0,059	0,000	0,037	0,000
Cs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Te	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ag	0,004	0,001	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000
Pd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	24,84		8,880		31,34		24,04	

Tabela 4.2 - Caracterização dos solos por EFRX (óxidos)

Óxidos	Quantidades presentes nas amostras de Solos (%)			
	A	B	C	D
MoO3	0,000	0,000	0,000	0,000
ZrO2	0,093	2,575	0,096	0,081
SrO	0,034	0,028	0,047	0,038
UO2	0,000	0,000	0,000	0,000
Rb2O	0,000	0,007	0,000	0,000
ThO2	0,000	0,000	0,000	0,000
PbO	0,000	0,000	0,000	0,000
SeO3	0,000	0,000	0,002	0,000
As2O3	0,007	0,003	0,008	0,007
HgO	0,000	0,000	0,000	0,000
Au2O	0,000	0,000	0,000	0,000
ZnO	0,000	0,008	0,000	0,021
WO3	0,000	0,000	0,000	0,000
CuO	0,010	0,003	0,008	0,014
NiO	0,029	0,000	0,047	0,029
CoO	0,000	0,000	0,000	0,000
FeO	26,301	6,627	33,401	23,144
MnO	0,154	0,122	0,163	0,170
Cr2O3	0,131	0,000	0,095	0,113
V2O5	0,085	0,028	0,089	0,079
TiO2	6,293	2,212	8,075	5,728
Sc2O3	0,012	0,000	0,011	0,021
CaO	0,163	0,077	0,000	2,738
K2O	0,082	2,530	0,077	0,252
SO3	0,000	0,000	0,000	0,000
BaO	0,041	0,026	0,066	0,041
Cs2O	0,000	0,000	0,000	0,000
TeO3	0,000	0,000	0,000	0,000
Sb2O3	0,000	0,000	0,000	0,000
SnO2	0,000	0,000	0,000	0,000
CdO	0,000	0,000	0,000	0,000
Ag2O	0,004	0,000	0,003	0,000
PdO	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	33,44	14,24	42,19	32,48

4.1.4 Síntese dos resultados das análises aos solos

Os resultados obtidos para a análise granulométrica, o limite de consistência, o teor de humidade, a matéria orgânica (MO) e a densidade das partículas (G), estão resumidas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Resultados obtidos dos parâmetros analisados nos solos

Amostra	Análise Granulométrica (%)		Sedimentação (%)		H (%)	Limite de consistência (%)			MO (%)	G
	Argila Silte	Areia	Argila	Silte		LL	LP	IP		
A	18,0	82,0	0,200	17,8	3,32	47,7	34,2	13,5	12,6	2,04
B	9,00	91,0	0,110	9,57	3,22	37,5	26,9	10,6	6,58	2,93
C	3,00	97,0	1,43	0,0700	3,83	51,4	42,0	9,36	11,7	2,96
D	4,00	96,0	0,990	0,980	3,67	46,6	33,3	13,4	15,3	3,02

Nota: H - humidade em água; LL - limite de liquidez; LP - Limite de plasticidade; IP - Índice de plasticidade; MO – Matéria orgânica; G - Densidade das partículas

A partir da análise granulométrica, verificou-se que solos testados apresentam resultados diferentes para percentagens de argila, silte e areia. As percentagens de areia encontram-se dentro dos valores limites especificados pela norma NBR 10834, uma vez que estas estão acima de 50%, que é o valor aceitável para que solo sejam utilizados como matéria-prima para produção dos BTC estabilizados. Por apresentarem uma elevada percentagem de areia, pode-se afirmar que estes solos são permeáveis, apresentam uma ligeira coesão no estado húmido, devido a tensão superficial das partículas de água que ocupa o espaço entre as partículas do solo. Por peneiração não foi possível quantificar as partículas de argila e silte separadamente, pois estas encontram-se abaixo do peneiro com 0,075 mm de dimensão. Assim recorreu-se a análise de sedimentação.

Relativamente às percentagens de areia e silte, as amostras encontram-se abaixo dos limites especificados pela NBR 10834. Para serem utilizadas como matéria-prima para a produção dos BTC será, eventualmente, necessário proceder a correção da composição. Os resultados mais detalhados encontram-se na Tabela G.5I (em anexo).

As amostras apresentaram as percentagens de teor em água da mesma ordem de grandeza. Não existe valores limites para o teor em água do solo inicial, porém é

importante conhecer a percentagem de humidade presente no solo, uma vez que este reflete no limite de consistência do solo. Os resultados mais detalhados encontram-se na Tabela G.5I (em anexo).

Os ensaios dos limites consistência revelaram que as amostras se encontram dentro do índice de plasticidade especificado pela NBR 10834. Estas apresentam um comportamento pouco plástico, o que é justificado pela elevada percentagem de areia que as compõem. Comparando os resultados obtidos com a classificação do solo ilustrada pela CraTerra (1979), pode-se afirmar que se trata de solos arenosos, pois o IP é próximo de 15 %, para todas as amostras. Os resultados mais detalhados encontram-se nas Tabelas G.5J.1 e Tabela G.5J.2 (em anexo).

Apesar de não existirem valores limites para o teor em matéria orgânica aplicáveis aos solos de STP, para o efeito pretendido, os ensaios realizados, mostraram que as amostras ensaiadas não possuem elevadas percentagens em matéria orgânica. As diferenças existentes nas percentagens da matéria orgânica nas amostras, são justificadas pela origem das mesmas. A amostra da localidade de Correia (amostra D), apresentou maior percentagem em matéria orgânica, por se tratar de uma localidade com elevadas plantações de bananeira. De seguida, a amostra da localidade de Riboque (amostra A) e a amostra da localidade de Mesquita (amostra C), por se tratar de localidades habitadas, o que aumenta a possibilidade da existência de plantação nestas localidades. Por fim, a amostra da localidade de Bobo Forro (amostra B), contém um teor em matéria orgânica muito inferior, por se tratar de uma localidade não habitada e sem qualquer tipo de plantação. Os resultados mais detalhados encontram-se na Tabela G.5K (em anexo).

As densidades das partículas, variaram de amostra para amostras, pois este parâmetro varia muito com as características granulométricas do solo. Espera-se que quanto maior a densidade da partícula menor seria as percentagens do material fino, na amostra (areia e silte). Porém, este comportamento não se verificou em todas as amostras, devida a possibilidade de erros analíticos.

4.2 Caracterização dos blocos de terra compactada

Para caracterização dos BTC, após a cura humidade e seca, determinou-se a massa volúmica, a resistência à compressão e a absorção de água, dos mesmos.

4.2.1 Variação na massa após os 28 dias de cura e massa volúmica, dos BTC

Após a cura húmida e seca, determinou-se a perda de água e a massa volúmica dos BTC produzidos com a uma pressão de prensagem de 6,5 MPa (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 – Resultados da massa de água perdida e a massa volúmica dos BTC, após a cura.

Misturas	Amostra A		Amostra B		Amostra C		Amostra D	
	ρ 10^3 (g/cm ³)	mp kg	ρ 10^3 (g/cm ³)	mp kg	ρ 10^3 (g/cm ³)	mp kg	ρ 10^3 (g/cm ³)	mp kg
90% S 10% C	1,6	-0,22	1,7	-0,19	1,6	-0,29	1,7	-0,19
85% S 15% C	1,6	-0,28	1,9	-0,15	1,6	-0,30	1,7	-0,18
70% S 10% C 20% A	1,6	-0,30	2,0	-0,15	1,8	-0,18	na	na

Nota: mp - Massa de água perdida pelos BTC após a cura; ρ - Massa volúmica; na - Não analisado; S - solo; C - cimento; A - areia.

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 4.4), a perda de água dos BTC produzidos durante o processo de cura mostrou algumas diferenças. Os blocos que perderam mais águas apresentam valores mais baixos de massa volúmica.

De um modo geral, as massas volúmicas dos BTC variariam com a mistura e com o próprio solo utilizado, com o estabilizante e com a pressão de prensagem aplicada na produção dos BTC. O valor mínimo para a este parâmetro no estado seco é 1,6 g/cm³ (Chan *et al*, 2010; Galíndez, 2009; Morel *et al*, 2007; Namango, 2006; Adam, 2001). A massa volúmica foi determinada, a partir da relação entre a massa dos BTC após a cura com o volume dos BTC (ao volume do paralelepípedo foi retirado o volume dos dois cilindros que são espaços vazios do bloco).

Não se observam diferenças significativas nas massas volúmicas dos BTC produzidos, com diferentes formulações. Os BTC produzidos com solo B parecem ser mais densos, mas a número de blocos produzidos não permite obter uma evidência estatística e pode ser um mero acaso. A alteração da percentagem de cimento e a introdução de areia também não têm nenhuma clara contribuição para a alteração da massa volúmica dos BTC. A insuficiência do solo D não permitiu a formulação de BTC, a realização de blocos com areia. Todos os BTC ensaiados apresentam massas volúmicas superiores pelos autores citados.

4.2.2 Absorção de água e a resistência à compressão dos BTC

A absorção de água por imersão dos BTC foi avaliada de acordo com a norma NBR 10836. Na Tabela 4.5 - Percentagem de absorção de água por imersão dos vários BTC produzidos estão apresentados os resultados obtidos para o ensaio de absorção de água para os vários BTC produzidos.

Tabela 4.5 - Percentagem de absorção de água por imersão dos vários BTC produzidos

Mistura/Traço	Absorção de água (%)			
	Amostras			
	A	B	C	D
90% S 10% C	27,9	22,1	31,3	27,5
85% S 15% C	25,7	19,0	30,4	26,4
70% S 10% C 20% A	26,1	17,4	25,2	na

Nota: na - Não analisado; S - solo; C - cimento; A - areia

As percentagens de água absorvidas pelos BTC produzidos a partir dos solos A, C e D são todas superiores a 22%, estando acima valor máximo permitido pela NBR 10836, para um BTC individual. Estes valores elevados podem ter várias justificações, destacando-se:

- A possível degradação de argila e silte que não foram totalmente estabilizados durante a homogeneização da mistura;
- A baixa percentagem de argila e silte nos solos;
- A pressão aplicada durante a produção dos BTC poder não ter eliminado convenientemente a existência de vazios.

A quantidade de solos disponível não permitiu estudar outras formulações e/ou testar pressões de prensagem mais elevadas durante a produção dos BTC.

Os BTC produzidos a partir do solo B foram os que apresentaram menores absorção de água, estando dentro do limite especificado. Os BTC produzidos com as misturas em que se adicionou areia parecem absorver menos água. Esse efeito é mais evidente para os BTC produzidos a partir dos solos B e C. O aumento da percentagem de cimento também parece contribuir para uma menor absorção de água pelos BTC.

4.2.3 Resistência à compressão dos BTC

A resistência à compressão dos BTC foi avaliada de acordo com a norma NBR 10836. Os resultados obtidos para a força e resistência à compressão dos BTC estão apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Resultados para força (F) e resistência à compressão (R), dos BTC

Misturas	Amostra A		Amostra B		Amostra C		Amostra D	
	F 10 ² (kN)	R (MPa)	F 10 ² (kN)	R (MPa)	F 10 ² (kN)	R (MPa)	F 10 ² (kN)	R (MPa)
90% S 10% C	1,8 2,0 2,1	4,7 5,3 5,4	1,5 1,7 2,1	3,9 4,6 5,5	1,6 1,7 2,6	4,2 4,5 7,0	1,6 1,7 2,0	4,1 4,4 5,2
85% S 15% C	1,7 1,8 2,4	4,5 4,8 6,3	2,0 2,0 2,2	5,3 5,0 5,8	2,5 2,6 2,7	6,9 7,0 7,1	2,5 2,7	6,9 7,1
70% S 10% C 20% A	1,8 2,1	4,9 6,5	1,8	4,9	1,4 1,7	3,8 4,6	-	-

Nota: F - força aplicada; R - resistência mecânica; na - Não analisado; S - solo; C - cimento; A - areia.

Apesar do déficit de siltes e argilas nos solos, a resistência à compressão para todos os BTC encontram-se acima do valor mínimo recomendado.

A resistência à compressão obtida para os BTC produzidos com a amostra A, não variou muito com o aumento da percentagem de cimento e com a adição da areia, pois rondou por volta de 5,4 MPa, nas três misturas.

Aparentemente a adição de areia provocou uma pequena diminuição da sua resistência mecânica dos BTC produzidos com os solos B e C. Esta diminuição pode ser justificada, pelas diferenças granulométricas existentes nos solos B e C, e na areia utilizadas, pois estes solos têm nas suas constituições elevadas variações de tamanhos das partículas, o que aumenta a possibilidade da existência de vazios quando misturada com areia de menores dimensões. Por outro lado, com o pequeno número de BTC testados com areia na formulação, não permitiu uma análise conclusiva do efeito da areia na resistência mecânica dos BTC, seria necessário a caracterização de mais blocos, produzidos com esta formulação.

Os melhores resultados foram observados para os blocos produzidos com os solos C e D, com 15% de cimento. Para essas formulações a resistência à compressão atingiu valores que se aproximam dos 7 MPa. No caso dos BTC produzidos pelos solos A e B já não é tão claro o efeito positivo de aumentar a percentagem de cimento de 10 para 15%, na resistência mecânica dos BTC. Não foi possível a adição da areia na amostra D, devido a insuficiência da mesma.

Era de se esperar que o aumento do cimento na mistura, provoca-se um aumento significativo na resistência à compressão dos BTC, uma vez que nas misturas com baixo teor em cimento, ocorre a formação de núcleos independentes na massa de solo. Porém, apesar das variações nas resistências à compressão, verificadas nos três blocos produzidos por cada amostra, pode-se afirmar que estes apresentaram uma faixa de resistência à compressão de 4,5 a 5,8 MPa, independente do tipo de mistura. É possível produzir BTC com uma resistência superior a 1,8 MPa (que é o valor limite pela NBR 10834) com apenas 10% em cimento e 90%, com as amostras estudadas. Desta forma, o custo da produção do BTC por estas amostras, poderá ser minimizado quando se utiliza uma mistura com 10% em cimento, pois a resistência é a mesma.

Estes resultados da resistência à compressão poderiam ser ainda melhores se tivessem sido descontadas as áreas dos cilindros interno do BTC, mas assim a margem de segurança aumenta.

Em média, os BTC produzidos a partir do solo com menor percentagem em óxido e com maior percentagem em areia, amostra C, apresentaram uma maior resistência à compressão, para a mistura com 85 em solo e 15% em cimento.

5 Conclusão e perspectivas de estudo e desenvolvimento

5.1 Conclusão

Sabe-se que a terra foi muito utilizada como matéria-prima nas construções primordiais, porém a substituição deste material por outros alternativos, provocou para desvalorização do mesmo como material de construção.

É notório, que a utilização dos recursos naturais como areia e madeira, de forma não sustentável, nos últimos anos, tem provocado graves problemas de desflorestação e a destruição das praias de STP. Nessa perspectiva, o estudo de um material alternativo que equilibre o uso destes recursos naturais, tornou-se necessário.

O objeto de estudo da presente dissertação incidiu, sobre a caracterização de quatro amostras de solo provenientes de STP, a fim de avaliar a sua fiabilidade como material de construção.

Os ensaios laboratórios, mostraram que as amostras estudadas, têm características arenosas, pouco plásticas e com percentagens baixa em argila e silte, em relação aos valores estipulados pela norma NBR10834. Uma das soluções para este problema, seria a correção das amostras, para que as percentagens de argila e silte se ajustassem, aos limites desejados. Porém, a tal correção não foi possível, devido à quantidades de solo disponível.

Os BTC produzidos, apresentaram, na sua maioria uma elevada absorção de água. Este problema poderia ter sido selecionado, alterando a pressão de prensagem, na produção dos mesmos. O aumento da pressão de prensagem, provocaria um deslizamento das partículas do solo, o que por sua vez, diminuiria, os possíveis vazios existentes nos BTC.

As resistências à compressão dos BTC foram superiores aos valores limites impostos pela norma NBR 10834. Apesar da não correção dos solos, estes apresentaram bons resultados como material construtivo, para os parâmetros avaliados. Os melhores resultados da resistência mecânica foram observados para os blocos produzidos com os solos C e D, com 15% de cimento. Para essas formulações a resistência à compressão atingiu valores que se aproximam dos 7 MPa. No caso dos BTC produzidos pelos solos A e B já não foi tão claro o efeito positivo de aumentar a percentagem de cimento de 10 para 15%. Aparentemente adição de areia na formulação não melhorou a resistência à compressão dos BTC. Não foi possível tirar conclusão clara do efeito da adição da areia na resistência à compressão dos BTC, pois a quantidade dos blocos ensaiados não o permitiu.

De acordo com os parâmetros avaliados, conclui-se que as amostras dos solos estudadas, poderão ser utilizadas como material alternativo para a construção em STP, diminuindo os possíveis impactos ambientais e económicos demandado em STP, melhorando assim a qualidade de vida dos habitantes.

5.2 Perspectivas de estudo e desenvolvimento

Durante o desenvolvimento da presente dissertação surgiram várias ideias para enriquecer trabalho futuro, na presente área:

- Para um melhor conhecimento do potencial dos solos de STP, com vista à produção dos BTC, seria conveniente elaborar uma carta geográfico-geológica actualizada dos solos de STP;
- Proceder a caracterização do solo e dos BTC, com um maior número de replicas. Para tal, deve-se recolher maiores quantidades de solo e com características diferentes, de forma a se realizar mais ensaios laboratoriais e com formulações diferentes;
- Alterar a pressão de prensagem dos BTC e estudar a sua implicação na resistência mecânica deste material.

Bibliografia

Adam, E, 2001. *Compressed stabilized earth block manufacturing in sudan*, UNESCO, Technical Note No, 12, Organization, 101.

Arabani, M and Karami, M, 2007. *Geomechanical properties of lime stabilized clayey sands*. Arabian Journal for Science and Engineering, 32 (1): 11–25.

Aubert, JE, Fabbri, A, Morel, JC and Maillard, P, 2013. *An earth block with a compressive strength higher than 45 MPa*. Construction and Building Materials, 47: 366–36.

Bahar, R, Benazzoug, M and Kenai, B, 2004. *Performance of compacted cement strabilised soil*. Cement and Concrete Composite, 7 (26):811-820.

Bardou, P and Arzoumanian, V, 1979. *Arquitecturas de adobe*. Barcelona, Editorial Gustavo Gili,165pp.

Berge, B, 2009. *The Ecology of Building Materials*. 2º Edition, Architectural Press, Elsevier Science, 19pp.

CAPUTO, HP, 1978. *Mecânica dos solos e suas aplicações*. 3ªEdição, Rio de Janeiro, V.1, 242 pp.

CRATerre, Centre Internacional de la Construction en Terre. *Construire en terre*. Paris: CRATerre. 270 pp.

Cid-Falceto, J, Fernando, RM and Cañas, I, 2012. *Assessment of compressed earth blocks made in spain*. Construction and BuildingMaterials, 37: 738-745.

Delgado. MCJ and Gerrero, IC, 2016. *Earth building in spain*. Construction and Building Material, 20:670-690.

Egenti, C, Mkhotib, J and Negim, ES, 2014. *Compressive strength testing of compressed earth blocks*. Internacional Journal of Sustainable Built Environment, 3:72-86.

Elenga, RG, Mabiala, B, Ahouet, L, Maniongui, JG and Dirras, GF 2011. *Charactization of clayey solis from Congo and physical properties of their compressed earth blocks reinforced with post*. Scientific Research, 1, 88-94.

Galíndez, F, 2009. *Compressed earth blocks with no added cement*. Seguridad y Medio Ambiente, 115,15.

Gaviria, ON. *El bloque de suelo cemento al bloque de suelo geopolimerizado*. Tese de Mestrado em Construcción Moldalidad Profundización. Universidade nacional de Colombia.

Gomes, MI, 2013. *Conservação de construções de taipa argamassa de reparação*. Tese de Doutorado. Faculdade Técnica de Lisboa.20-25pp.

Gomes, DD 2012. Construção sustentável em blocos de terra compactada. Universidade do Minho. 25-27pp.

Guedes, MC, 2015. Arquitectura sustentável em São Tomé e Príncipe. IST, Press, 90-95 pp.

Hossain, KM, Lachemi, M and Easa, S 2007. Stabilized soils for construction applications incorporating natural resources of Papua New Guinea. Resources, Conservation and Recycling, 51, 711–731.

Houben, H and Guillaud, H, 1995. *Traité de construction en Parenthèses*, CRATerre, 2ªEdição, Marseille, 355 pp.

Kerali, AG, 2001. *Durability of compressed and cement*. University of Warwick, School of Engineering.

Krosnowski, AD, 2011. A proposed best practice method of defining a standard or care for stabilized compressed earthen block production. Master of Science. Environmental and Architectural, Engineering 33-78pp.

Lourenço, P, 2002. *Construções em terra*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Técnica de Lisboa.

Manual prático de orientação para a produção dos BTC em STP

Mansour, MB et al, 2016. Optimizing thermal and mechanical performance of compressed earth blocks. Construction and BuildingMaterial,104:44-51.

Medina, KTA, Óscar, HM and Óscar, JGJ, 2011. *Bloque de tierra comprimida como material constructiv*. Revista Facultad de Ingeniería, UPTC, 31 (20):55-68.

Minke, G, 2006. Building with earth, design and technology of a sustainable architecture. Publishers for Architecture, Basel-Berlin-Boston.

Morel, JM, Pkka, A and Walker, P, 2007. *Compressive strength testing of compressed earth blocks*. Construction and BuildingMaterials,21:303-309

Moreno, MMT, 2012. *Composição mineralógica, distribuição granulométrica e consistência de pastas da Argila*. Livre-Doente em Argila para cerâmica. Universidade Estadual Paulista.

Morton, T, Stevenson, F, Taylor, B and Smith, C, 2005. *Low cost earth brick construction: Monitoring and Evaluation*. Arc. Architects. ISBN 0-9550580-0-7.

Namango, SS 2006. *Development of cost-effective earthen building material for using Wall construction: Investigations into the Properties of Compressed Earth Blocks Stabilized with Sisal Vegetable Fibres, Cassava Powder and Cement Compositions*. Doctoral Dissertation. Faculty of Environmental Science and Process Engineering of the Brandenburg Technical University Cottbus.17-82pp

Neves, D and Cuna, 2007. *Projeto de investigação de materiais de construção em terra estabilizada*. 2007, <http://mctestp.gov.mz> (acedido em 16 de Março de 2018).

Ngowi, AB, 1997. Improving the traditional earth construction, a case study of Botswana Construction and Building. Institute for Research in Construction, Ottawa ON, 11: 2089-2098

Ossula, DOA, 1996. A comparative evaluation of cement and lime modification of laterite. *Engineering Geology*. 1 (42):71-81.

Préneron, AL, Aubert, JE, Magniont, C, Tribout, C and Berton, A, 2016. *Plant aggregates and fibers in earth construction materials*. *Construction and Building Material*, 111: 719-734.

Parques naturais em São Tomé e Príncipe, <https://arleciosoares13.wordpress.com/sao-tome-e-principe> (acedido em 5 de julho de 2018)

Pollock, S, 1999. *Ancient mesopotamia*. Cambridge University Press, 22-25pp.

Queirós, I, 2011. *Contribuição da fluorescência de raios X na avaliação e modelação de georrecurso*s. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 182p.

Quintino, G, 2005. *Blocos de terra compactada*. Arquitectura de terra em Portugal. Editora Argumentum ISBN: 972-8479-36-0, pp.53-56.

Ribeiro, D, Silva, V and Faria, P, 2016. *Caracterização de blocos de terra comprimida*. TEST & E.

Rigassi, V, 1985. Compressed earth blocks. Manual of Production. CRAterre-EAG, GATE (I).

Rix, CG, 1998. Stabilisation of a highly plastic clay soil for the production of compressed earthblocks. University of the Witwatersrand.

SAHARA -*Tecnologia máquinas e equipamentos*. www.sahara.com.br (acedido em 15 de junho de 2018).

Sandoval, FJ and Gerra, JLS, 2011. *Construcción com tierra -Tecnología y arquitectura*. Valladolid, Espanha: Congresos de Arquitectura de Tierra em Cuenca de Campos 2010. <http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones.html>(acedido em 20 de Abril de 2018).

Seffens, F, Steffensa, H and Oliveiraa FR, 2017. *Applications of natural fibers on architecture*. *Procedia Engineering*, 200: 317-324.

Silva, MFCG, 2015. *Blocos de terra compactada com e sem materiais cimentos*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Técnico Lisboa.87-89pp.

Spínola, S, 2015. *Caracterização Térmica de Pedras Naturais*. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geociências, pela Universidade de Aveiro.

Taallah, B, Guettala, A, Guettala, S and Kirker, A, 2014. *Mechanical properties and hygroscopicity behavior of compressed earth block filled by date palm fibers*. *Construction and Building Material*, 59: 161-168.

Torgal, FP, Eires, RMG and Jalali, S, 2009. *Construção em terra*. Técnica do Minho, Publidisa, 18pp.

Walker, P, 1995. Strength, durability and shrinkage characteristics of cement stabilised soil blocks. *Cement and Concrete Composites*, 4 (17): 301–310.

Documentos Normativos

D 2974 – Standard test methods for Moisture ash and Organic Matter for Peat and Other Organic Soils.

E 196 – Análise granulométrica

NBR 6457 – Preparação das amostras de solo, para ensaios de caracterização e compactação.

NBR 6459 – Determinação do limite de liquidez do solo.

NBR 7180 – Determinação do limite de plasticidade do solo.

NBR 7181 – Análise da granulométrica do solo.

NBR 10834 – Bloco de terra compactado sem função estrutural.

NBR 10836 – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água.

NP 83 – Determinação do diâmetro das partículas

Anexos

Carta dos solos de São Tomé e Príncipe

Figura A - Carta de solos, adaptado de Hélder Lains e Silna, 1957

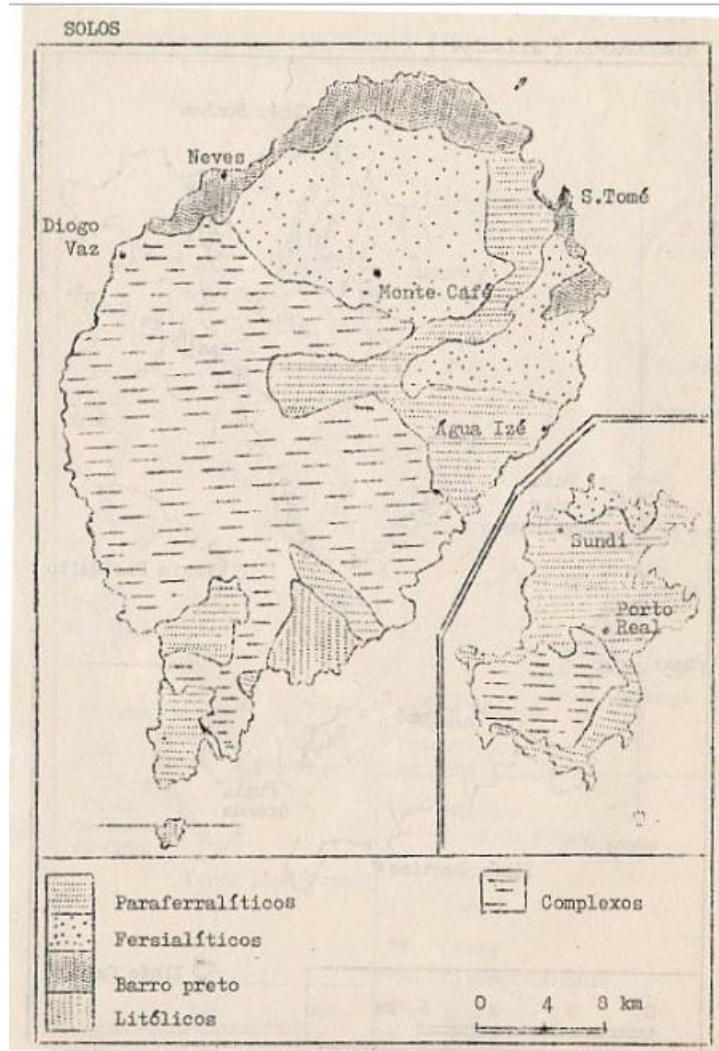


Tabela de quantidade de amostra de solo submetida a serie de peneiros na análise granulométrica e de sedimentação.

Tabela A - Massa pesada submetida ao ensaio granulométrico e sedimentação

Analises	Massa da amostra pesada			
	A	B	C	D
AG	1723,19	1008,18	1002,92	1023,40
AS*	0,00	6,70	0,00	20,42
AS**	0,00	10,70	0,00	2,10

Nota: AG – Análise granulométrica; AS* – Análise de sedimentação pela NBR 7181; AS** – Análise de sedimentação pela E 196

Tabela de correção de temperatura

Tabela B - Correção de temperatura, para densímetros calibrados para 20°C (E 196)

Temperatura °C	Correção C_T	Temperatura °C	Correção C_T
7	- 0,0013	20	0,0000
8	- 0,0013	21	+ 0,0002
9	- 0,0013	22	+ 0,0004
10	- 0,0012	23	+ 0,0006
11	- 0,0012	24	+ 0,0008
12	- 0,0011	25	+ 0,0010
13	- 0,0010	26	+ 0,0013
14	- 0,0009	27	+ 0,0015
15	- 0,0008	28	+ 0,0018
16	- 0,0006	29	+ 0,0020
17	- 0,0005	30	+ 0,0023
18	- 0,0003	31	+ 0,0026
19	- 0,0002	32	+ 0,0030

Tabela da viscosidade da água em função da temperatura, expresso em poises (E 196)

Tabela C - Viscosidade da água em função da temperatura da suspensão

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	17.94	17.32	16.74	16.19	15.68	15.19	14.73	14.29	13.87	13.48
10	13.10	12.74	12.39	12.06	11.75	11.45	11.16	10.88	10.60	10.34
20	10.09	9.84	9.61	9.38	9.16	8.95	8.75	8.55	8.36	8.18
30	8.00	7.83	7.67	7.51	7.36	7.21	7.06	6.92	6.79	6.66
40	6.54	6.42	6.30	6.18	6.08	5.97	5.87	5.77	5.68	5.58
50	5.49	5.40	5.32	5.24	5.15	5.07	4.99	4.92	4.84	4.77
60	4.70	4.63	4.56	4.50	4.43	4.37	4.31	4.24	4.19	4.13
70	4.07	4.02	3.96	3.91	3.86	3.81	3.76	3.71	3.66	3.62
80	3.57	3.53	3.48	3.44	3.40	3.36	3.32	3.28	3.24	3.20
90	3.17	3.13	3.10	3.06	3.03	2.99	2.96	2.93	2.90	2.87
100	2.84	2.82	2.79	2.76	2.73	2.70	2.67	2.64	2.62	2.59

Teores da densidade da água e o quociente entre a densidade da água à T1 e a 20°C (NP 83)

Tabela D - Densidade da água e o quociente (K) entre a densidade da água à T1 e a 20°C

Temperatura °C	Densidade	K
10	0,99973	1,002
11	0,99963	1,001
12	0,99953	1,001
13	0,99941	1,001
14	0,99927	1,001
15	0,99913	1,001
16	0,99897	1,001
17	0,99880	1,001
18	0,99862	1,000
19	0,99843	1,000
20	0,99823	1,000
21	0,99802	1,000
22	0,99780	1,000
23	0,99757	0,999
24	0,99733	0,999
25	0,99708	0,999
26	0,99681	0,999
27	0,99654	0,998
28	0,99626	0,998
29	0,99598	0,998
30	0,99568	0,997

Resultados experimentais obtidos na determinação do limite de liquidez

Tabela E.1 - Teor de humidade inicial do solo para limites de liquidez

Amostra	m (C) (g)	m (C + S) (g) húmido	m (C + S) (g) seco	% H	Média
A	5,64	13,65	13,42	2,96	2,82
	5,53	13,55	13,33	2,82	
	5,51	13,51	13,30	2,70	
B	5,41	13,45	13,32	1,64	1,52
	5,28	13,32	13,20	1,52	
	5,46	13,47	13,37	1,26	
C	18,66	26,74	26,54	2,54	2,29
	10,81	18,84	18,66	2,29	
	11,01	19,09	18,91	2,28	
D	10,79	18,86	18,43	5,63	5,50
	5,57	13,61	13,25	4,69	
	18,59	26,65	26,23	5,50	

Nota: C - Cadinho; S - Solo; H - Teor de humidade adicional

Tabela E.2 - Massas pesadas na determinação do limite de liquidez e o respetivo teor de humidade adicional

Amostra	m (C) (g)	m (C+S) húmido	m (C+ S) seco	Nº Pancadas	H (%) adicional
A	5,64	21,20	16,11	35	48,62
	5,53	19,46	14,74	20	51,25
	5,51	17,73	13,39	15	55,08
B	5,52	24,04	18,98	35	37,59
	5,57	22,61	17,81	28	39,22
	5,33	23,88	18,61	18	39,68
C	5,46	17,87	13,63	35	51,90
	5,48	19,50	14,69	27	52,23
	5,52	19,13	14,17	16	57,34
D	5,44	17,62	13,62	35	48,90
	5,36	19,46	14,57	23	53,09
	5,55	17,35	13,08	15	56,71

Nota: C - Cadinho; S - Solo; H - Teor de humidade adicional

Tabela E.3 - Teor de humidade (H final) e logaritmo de número de pancada no ensaio de limite de liquidez

Amostra A		Amostra B	
log (Nº Pancadas)	H (%) final	log (Nº Pancadas)	H (%) final
1,54	45,80	1,54	36,07
1,30	48,43	1,45	37,70
1,18	52,26	1,26	38,17
Amostra C		Amostra D	
log (Nº Pancadas)	H (%) final	log (Nº Pancadas)	H (%) final
1,54	49,61	1,54	43,40
1,43	49,94	1,36	47,59
1,20	55,05	1,18	51,21

Resultados experimentais obtidos na análise gramométrica

Tabela F.1 - Quantidades do material retidos e passados pela serie de peneiro utilizados, para amostra A

A.S.T.M	D (mm)	Peso (g)	% Retidos	% Passados	% Acu. Retidos
¾"	19,05	0,00	0,00	100,00	0,00
3/8"	9,53	0,00	0,00	100,00	0,00
Nº 4	4,76	0,98	3,51	96,49	3,51
Nº10	2,00	9,42	33,76	62,72	37,28
Nº20	0,85	11,24	40,29	22,44	77,56
Nº40	0,43	2,50	8,96	13,48	86,52
Nº60	0,25	1,25	4,48	8,99	91,00
Nº140	0,1	1,45	5,20	3,79	96,20
Nº200	0,078	0,48	1,72	2,08	97,92
Base	Resto	0,93	3,33		
	Total	28,25	101,25		

Nota: D – Diâmetro das partículas

Tabela F.2 - Quantidades do material retidos e passados pela serie de peneiro utilizados, para amostra B

A.S.T.M	D (mm)	Peso (g)	% Retidos	% Passados	% Acu. Retidos
¾"	19,05	40,57	4,29	95,71	4,30
3/8"	9,53	225,89	23,90	71,80	28,20
Nº 4	4,76	373,25	39,50	32,40	67,60
Nº10	2,00	274,52	29,00	3,30	96,70
Nº20	0,85	12,95	1,40	2,00	98,00
Nº40	0,43	3,03	0,30	1,70	98,30
Nº60	0,25	4,40	0,50	1,20	98,80
Nº140	0,11	5,20	0,50	0,60	99,40
Nº200	0,08	0,76	0,10	0,60	99,40
Base	Resto	2,16	0,20		
	Total	902,16	99,70		

Nota: D – Diâmetro das partículas

Tabela F.3 - Quantidades do material retidos e passados pela serie de peneiro utilizados, para amostra C

A.S.T.M	D (mm)	Peso (g)	% Retidos	% Passados	% Acu. retidos
¾"	19,05	10,65	0,90	99,10	0,90
3/8"	9,53	255,70	21,80	77,30	22,70
Nº 4	4,76	452,95	38,60	38,60	61,40
Nº10	2,00	402,12	34,30	4,30	95,70
Nº20	0,85	39,69	3,40	0,90	99,10
Nº40	0,43	1,51	0,10	0,80	99,20
Nº60	0,25	0,89	0,10	0,70	99,30
Nº140	0,11	2,90	0,20	0,50	99,50
Nº200	0,08	1,46	0,10	0,40	99,60
Base	Resto	2,85	0,20	0,10	
	Total	1160,07	99,90		

Nota: D – Diâmetro das partículas

Tabela F.4 - Quantidades do material retidos e passados pela serie de peneiro utilizados, para amostra D

A.S.T.M	D (mm)	Peso (g)	% Retidos	% Passados	% Acu. retidos
3/4"	19,05	0,00	0,00	100,00	0,00
3/8"	9,53	6,85	1,60	98,40	1,60
Nº 4	4,76	61,96	14,30	84,10	15,90
Nº10	2,00	283,63	65,50	18,60	81,40
Nº20	0,85	54,44	12,60	6,00	94,00
Nº40	0,43	11,31	2,60	3,40	96,60
Nº60	0,25	5,19	1,20	2,20	97,80
Nº140	0,11	5,14	1,20	1,00	99,00
Nº200	0,08	1,75	0,40	0,60	99,40
Base	Resto	3,23	0,70		
	Total	433,50	100,2		

Nota: D – Diâmetro das partículas

Resultados experimentais obtidos na análise de sedimentação.

Tabela G.1 - Leituras da densidade (Ls), nível (Z) da dispersão, temperatura (T) e a viscosidade (μ), em função do tempo da sedimentação, para as amostras A e B, a correção do menisco (CM é 0,0010).

t (min)	Amostra A				Amostra B			
	T (°C)	Z (mm)	Ls (g/cm ³)	μ (poises*10 ⁻³)	T (°C)	Z (mm)	Ls (g/cm ³)	μ (poises*10 ⁻³)
1	24,0	11,2	1,0210	0,0092	25,5	10,8	1,0450	0,0088
2	24,0	11,2	1,0210	0,0092	25,5	10,8	1,0450	0,0088
5	24,0	11,2	1,0210	0,0092	25,5	11,5	1,0400	0,0088
15	24,0	11,2	1,0210	0,0092	25,5	12,0	1,0350	0,0088
30	24,0	11,3	1,0205	0,0092	25,5	12,4	1,0305	0,0088
60	24,5	11,5	1,0200	0,0090	25,5	12,5	1,0300	0,0088
250	25,5	11,8	1,0190	0,0088	25,5	13,1	1,0240	0,0088
1440	25,0	12,2	1,0170	0,0090	25,0	14,0	1,0170	0,0090
2880	24,0	12,5	1,0160	0,0092	24,0	14,2	1,0150	0,0092

Tabela G.2 - Leituras da densidade (Ls), nível (Z) da dispersão, temperatura (T) e a viscosidade (μ), em função do tempo da sedimentação, para as amostras C e D, a correção do menisco (CM é 0,001)

t (min)	Amostra C				Amostra D			
	T (°C)	Z (mm)	Ls (g/cm ³)	μ (poises*10 ⁻³)	T (°C)	Z (mm)	Ls (g/cm ³)	μ (poises*10 ⁻³)
1	26,5	9,7	1,0550	0,0086	26,5	9,80	1,0540	0,0086
2	26,5	9,7	1,0550	0,0086	26,5	9,80	1,0540	0,0086
5	26,5	9,7	1,0550	0,0086	26,5	9,80	1,0540	0,0086
15	26,5	9,7	1,0550	0,0086	26,5	10,4	1,0500	0,0086
30	26,5	10,0	1,0520	0,0086	26,5	10,5	1,0490	0,0086
60	26,5	10,2	1,0510	0,0086	26,5	10,6	1,0480	0,0086
250	25,5	10,4	1,0500	0,0088	25,5	11,2	1,0470	0,0088
1440	25,0	10,6	1,0470	0,0090	25,0	11,3	1,0420	0,0090
2880	24,0	10,7	1,0460	0,0092	24,0	11,4	1,0410	0,0092

Tabela G.3 - Correção da densidade do agente antifloculante e da dispersão.

t (mim)	L _A (g/cm ³)	C _T	C _A
1	1,001	0,001	0,002
2	1,001	0,001	0,002
5	1,001	0,001	0,002
15	1,001	0,001	0,002
30	1,001	0,001	0,002
60	1,001	0,0013	0,0023
250	1,001	0,0013	0,0023
1440	1,001	0,0013	0,0023
2880	1,001	0,0008	0,0018

Tabela G.4 - Correção da densidade da suspensão (Lc).

t (mim)	Densidade da suspensão corrigida (Lc) (g/cm ³)			
	Amostra A	Amostra B	Amostra C	Amostra D
1	1,0190	1,0430	1,0530	1,0520
2	1,0190	1,0430	1,0530	1,0520
5	1,0190	1,0380	1,0530	1,0520
15	1,0190	1,0330	1,0530	1,0480
30	1,0185	1,0285	1,0500	1,0470
60	1,0174	1,0274	1,0484	1,0454
250	1,0164	1,0214	1,0474	1,0444
1440	1,0144	1,0144	1,0444	1,0394
2880	1,0144	1,0134	1,0444	1,0394

Tabela G.5 - Diâmetro das partículas (D) e o material retido de diâmetro inferior (nD)

t (mim)	Amostra A		Amostra B		Amostra C		Amostra D	
	D (mm)	% nD	D (mm)	% nD	D (mm)	% nD	D (mm)	% nD
1	0,0550	62,7	0,054	34,7	0,0360	46,2	0,0360	47,2
2	0,0390	23,4	0,038	22,7	0,0250	24,9	0,0250	24,9
5	0,0250	8,71	0,025	13,1	0,0160	13,4	0,0160	13,2
15	0,0140	3,25	0,015	6,55	0,00900	7,19	0,00900	6,4
30	0,0100	1,18	0,011	2,84	0,00700	3,65	0,00700	3,06
60	0,00700	0,400	0,007	1,19	0,00500	1,79	0,00500	1,41
250	0,00300	0,130	0,004	0,390	0,00200	0,860	0,00200	0,630
1440	0,00100	0,0400	0,002	0,0900	0,00100	0,390	0,00100	0,250
2880	0,00100	0,0100	0,001	0,0200	0,00100	0,180	0,00100	0,100
TOTAL		99,8		81,5		98,5		97,2

Resultados experimentais obtidos na espectrometria de fluorescência de raios x

Tabela H.1 - Resultados os elementos químicos e dos respetivos óxidos analisados, amostra A

Elementos	Toma I (%)	Toma II (%)	Toma III (%)	Média (%)	DP (%)	Óxido	Relação entre a massa molar do elemento e o óxido	% De óxido
Mo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	MoO ₃	1,500	0,000
Zr	0,069	0,068	0,069	0,069	0,001	ZrO ₂	1,351	0,093
Sr	0,029	0,029	0,029	0,029	0,000	SrO	1,183	0,034
U	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	UO ₂	1,134	0,000
Rb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Rb ₂ O	1,094	0,000
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	ThO ₂	1,069	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	PbO	1,154	0,000
Se	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	SeO ₃	1,608	0,000
As	0,005	0,005	0,005	0,005	0,000	As ₂ O ₃	1,320	0,007
Hg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	HgO	1,080	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Au ₂ O	1,041	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	ZnO	1,245	0,000
w	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	WO ₃	1,261	0,000
Cu	0,008	0,008	0,008	0,008	0,000	CuO	1,252	0,010
Ni	0,024	0,022	0,023	0,023	0,001	NiO	1,273	0,029
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	CoO	1,272	0,000
Fe	20,447	20,441	20,444	20,444	0,003	FeO	1,287	26,301
Mn	0,118	0,120	0,119	0,119	0,001	MnO	1,291	0,154
Cr	0,085	0,094	0,090	0,090	0,005	Cr ₂ O ₃	1,462	0,131
V	0,050	0,045	0,048	0,048	0,003	V ₂ O ₅	1,785	0,085
Ti	3,777	3,768	3,773	3,773	0,005	TiO ₂	1,668	6,293
Sc	0,008	0,007	0,008	0,008	0,001	Sc ₂ O ₃	1,534	0,012
Ca	0,107	0,126	0,117	0,117	0,010	CaO	1,399	0,163
K	0,070	0,066	0,068	0,068	0,002	K ₂ O	1,205	0,082
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	SO ₃	2,497	0,000
Ba	0,037	0,036	0,037	0,037	0,001	BaO	1,117	0,041
Cs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Cs ₂ O	1,060	0,000
Te	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	TeO ₃	1,376	0,000
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Sb ₂ O ₃	1,197	0,000
Sn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	SnO ₂	1,270	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	CdO	1,142	0,000
Ag	0,004	0,003	0,004	0,004	0,001	Ag ₂ O	1,074	0,004
Pd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	PdO	1,150	0,000
Total				24,84		Total		33,44

Nota: DP – Desvio padrão

Tabela H.2 - Resultados os elementos químicos e dos respetivos óxidos analisados, amostra B

Elementos	Toma I (%)	Toma II (%)	Toma III (%)	Média (%)	DP (%)	Óxido	Relação entre a massa molar do elemento e o óxido	% De óxido
Mo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	MoO ₃	1,500	0,000
Zr	0,077	0,077	0,077	0,077	0,000	ZrO ₂	33,437	2,575
Sr	0,024	0,024	0,024	0,024	0,000	SrO	1,183	0,028
U	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	UO ₂	1,134	0,000
Rb	0,006	0,006	0,006	0,006	0,000	Rb ₂ O	1,094	0,007
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	ThO ₂	1,069	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	PbO	1,154	0,000
Se	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	SeO ₃	1,608	0,000
As	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000	As ₂ O ₃	1,320	0,003
Hg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	HgO	1,080	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Au ₂ O	1,041	0,000
Zn	0,006	0,007	0,007	0,007	0,001	ZnO	1,245	0,008
w	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	WO ₃	1,261	0,000
Cu	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000	CuO	1,252	0,003
Ni	0,000	0,003	0,000	0,000	0,002	NiO	1,273	0,000
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	CoO	1,272	0,000
Fe	5,129	5,173	5,151	5,151	0,022	FeO	1,287	6,627
Mn	0,095	0,094	0,095	0,095	0,001	MnO	1,291	0,122
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Cr ₂ O ₃	1,462	0,000
V	0,017	0,014	0,016	0,016	0,002	V ₂ O ₅	1,785	0,028
Ti	1,326	1,326	1,326	1,326	0,000	TiO ₂	1,668	2,212
Sc	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Sc ₂ O ₃	1,534	0,000
Ca	0,059	0,051	0,055	0,055	0,004	CaO	1,399	0,077
K	2,095	2,105	2,100	2,100	0,005	K ₂ O	1,205	2,530
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	SO ₃	2,497	0,000
Ba	0,024	0,023	0,024	0,024	0,001	BaO	1,117	0,026
Cs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Cs ₂ O	1,060	0,000
Te	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	TeO ₃	1,376	0,000
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Sb ₂ O ₃	1,197	0,000
Sn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	SnO ₂	1,270	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	CdO	1,142	0,000
Ag	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Ag ₂ O	1,074	0,000
Pd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	PdO	1,150	0,000
Total				8,88		Total		14,24

Nota: DP – Desvio padrão

Tabela H.3 - Resultados os elementos químicos e dos respectivos óxidos analisados, amostra C

Elementos	Toma I (%)	Toma II (%)	Toma III (%)	Média (%)	DP (%)	Óxido	Relação entre a massa molar do elemento e o óxido	% De óxido
Mo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	MoO ₃	1,500	0,000
Zr	0,071	0,071	0,071	0,071	0,000	ZrO ₂	1,351	0,096
Sr	0,040	0,040	0,040	0,040	0,000	SrO	1,183	0,047
U	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	UO ₂	1,134	0,000
Rb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Rb ₂ O	1,094	0,000
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	ThO ₂	1,069	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	PbO	1,154	0,000
Se	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	SeO ₃	1,608	0,002
As	0,006	0,006	0,006	0,006	0,000	As ₂ O ₃	1,320	0,008
Hg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	HgO	1,080	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Au ₂ O	1,041	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	ZnO	1,245	0,000
w	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	WO ₃	1,261	0,000
Cu	0,006	0,006	0,006	0,006	0,000	CuO	1,252	0,008
Ni	0,037	0,037	0,037	0,037	0,000	NiO	1,273	0,047
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	CoO	1,272	0,000
Fe	25,963	25,963	25,963	25,963	0,000	FeO	1,287	33,401
Mn	0,126	0,126	0,126	0,126	0,000	MnO	1,291	0,163
Cr	0,065	0,065	0,065	0,065	0,000	Cr ₂ O ₃	1,462	0,095
V	0,050	0,050	0,050	0,050	0,000	V ₂ O ₅	1,785	0,089
Ti	4,841	4,841	4,841	4,841	0,000	TiO ₂	1,668	8,075
Sc	0,007	0,007	0,007	0,007	0,000	Sc ₂ O ₃	1,534	0,011
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	CaO	1,399	0,000
K	0,064	0,064	0,064	0,064	0,000	K ₂ O	1,205	0,077
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	SO ₃	2,497	0,000
Ba	0,059	0,059	0,059	0,059	0,000	BaO	1,117	0,066
Cs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Cs ₂ O	1,060	0,000
Te	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	TeO ₃	1,376	0,000
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Sb ₂ O ₃	1,197	0,000
Sn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	SnO ₂	1,270	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	CdO	1,142	0,000
Ag	0,003	0,003	0,003	0,003	0,000	Ag ₂ O	1,074	0,003
Pd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	PdO	1,150	0,000
Total				31,34		Total		42,19

Nota: DP – Desvio padrão

Tabela H.4 - Resultados os elementos químicos e dos respectivos óxidos analisados, amostra D

Elementos	Toma I (%)	Toma II (%)	Toma III (%)	Média (%)	DP (%)	Óxido	Relação entre a massa molar do elemento e o óxido	% De óxido
Mo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	MoO ₃	1,500	0,000
Zr	0,060	0,060	0,060	0,060	0,000	ZrO ₂	1,351	0,081
Sr	0,032	0,032	0,032	0,032	0,000	SrO	1,183	0,038
U	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	UO ₂	1,134	0,000
Rb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Rb ₂ O	1,094	0,000
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	ThO ₂	1,069	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	PbO	1,154	0,000
Se	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	SeO ₃	1,608	0,000
As	0,005	0,005	0,005	0,005	0,000	As ₂ O ₃	1,320	0,007
Hg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	HgO	1,080	0,000
Au	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Au ₂ O	1,041	0,000
Zn	0,017	0,017	0,017	0,017	0,000	ZnO	1,245	0,021
w	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	WO ₃	1,261	0,000
Cu	0,011	0,011	0,011	0,011	0,000	CuO	1,252	0,014
Ni	0,023	0,023	0,023	0,023	0,000	NiO	1,273	0,029
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	CoO	1,272	0,000
Fe	17,990	17,990	17,990	17,990	0,000	FeO	1,287	23,144
Mn	0,132	0,132	0,132	0,132	0,000	MnO	1,291	0,170
Cr	0,077	0,077	0,077	0,077	0,000	Cr ₂ O ₃	1,462	0,113
V	0,044	0,044	0,044	0,044	0,000	V ₂ O ₅	1,785	0,079
Ti	3,434	3,434	3,434	3,434	0,000	TiO ₂	1,668	5,728
Sc	0,014	0,014	0,014	0,014	0,000	Sc ₂ O ₃	1,534	0,021
Ca	1,957	1,957	1,957	1,957	0,000	CaO	1,399	2,738
K	0,209	0,209	0,209	0,209	0,000	K ₂ O	1,205	0,252
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	SO ₃	2,497	0,000
Ba	0,037	0,037	0,037	0,037	0,000	BaO	1,117	0,041
Cs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Cs ₂ O	1,060	0,000
Te	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	TeO ₃	1,376	0,000
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Sb ₂ O ₃	1,197	0,000
Sn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	SnO ₂	1,270	0,000
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	CdO	1,142	0,000
Ag	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Ag ₂ O	1,074	0,000
Pd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	PdO	1,150	0,000
Total				24,04		Total		32,48

Nota: DP – Desvio padrão

Resultados experimentais obtidos na determinação do teor de humidade inicial do solo

Tabela I - Teor de humidade inicial do solo seco ao ar livre

Amostra	m (C) (g)	m (C+ S) seco ao ar	m (C+ S) seco na estufa	% H	Média
A	45,13	95,15	93,54	3,33	3,32
	41,07	91,36	89,75	3,31	
B	58,85	108,17	106,63	3,22	3,22
	42,85	92,23	90,69	3,22	
C	48,39	98,21	96,38	3,83	3,83
	62,33	122,01	119,81	3,84	
D	59,32	99,08	97,66	3,69	3,67
	52,07	92,05	90,64	3,65	

Nota: C - Cadinho; S - Solo; H - Teor de humidade

Resultados experimentais obtidos na determinação do limite de plasticidade

Tabela J.1 - Teor de humidade inicial do solo para limites de plasticidade

Amostra	m (C) (g)	m (C+ S) húmido	m (C+ S) seco	% H	Média
A	5,48	6,99	6,94	3,42	3,42
	5,45	6,96	6,93	2,03	
	5,52	7,02	6,97	3,45	
B	5,36	6,86	6,82	2,74	2,03
	5,55	7,06	7,03	2,03	
	5,52	7,04	7,01	2,01	
C	5,57	7,09	7,05	2,70	3,45
	5,48	6,98	6,91	4,90	
	5,53	7,03	6,98	3,45	
D	5,56	7,10	7,02	5,48	5,48
	5,44	6,98	6,91	4,76	
	5,52	7,06	6,97	6,21	

Tabela J.2 - Determinação do limite de plasticidade.

Amostra	m (C) (g)	m (C+ S) húmido	m (C+ S) seco	LP (%)	Média (%)
A	5,48	7,42	6,89	37,59	34,17
	5,45	7,51	6,96	36,42	
	5,52	7,66	7,07	38,06	
B	5,36	7,82	7,27	28,80	26,87
	5,55	7,78	7,28	28,90	
	5,52	8,13	7,54	29,21	
C	5,60	7,28	6,76	44,83	42,00
	5,51	7,92	7,16	46,06	
	5,50	7,42	6,82	45,45	
D	5,56	8,06	7,35	39,66	33,25
	5,44	7,84	7,17	38,73	
	5,52	8,25	7,49	38,58	

Nota: C - Cadinho; S - Solo; H - Teor de humidade

Resultados experimentais obtidos na determinação da matéria orgânica

Tabela K - Resultados experimental obtidos na determinação da matéria orgânica

Amostra	m(C) (g)	m (cinzas + C) g	m (cinzas) g	% (cinzas)	MO (%)	Média (%)
A	45,13	87,45	42,32	87,40	12,60	12,58
	41,07	83,63	42,56	87,40	12,60	
B	58,85	103,44	44,59	93,30	6,70	6,58
	42,85	87,59	44,74	93,50	6,50	
C	48,39	90,75	42,36	88,30	11,70	11,69
	62,33	113,11	50,78	88,30	11,70	
D	59,32	91,75	32,43	84,60	15,40	15,32
	52,07	84,76	32,70	84,80	15,20	

Nota: C - Cadinho; MO - Teor de humidade

Resultados experimentais obtidos na determinação da densidade das partículas por picnometria

Tabela L.1 - Resultados obtidos na calibração do picnómetro

Número Picnómetro	m (P) g	m (P + A) g	m ₃ g
75	37,00	138,01	138,13
78	41,00	143,06	143,18

Nota: m (P) - massa picnómetro; m (P + A) - massa picnómetro + água

Tabela L.2 - Resultados obtidos na determinação da densidade das partículas

Amostra	m (inicial)g	m_5 (S + Cad + A) g	m (cad)	m (SS + Cad) g	m_4 (SS)	G
A	25,06	150,06	87,84	111,28	23,44	2,04
B	25,12	157,99	54,91	77,40	22,49	2,93
C	25,10	158,01	62,33	86,09	23,76	2,96
D	25,11	150,11	59,34	82,71	23,37	3,02

Nota: m (Cad) - massa cadinho; m (S + Cad + A) - massa sólido + cadinho + água; m (ss + Cad) - massa sólido seco + cadinho; m (SS) - massa sólido seco

Resultados experimentais obtidos na caracterização dos BTC

Tabela M.1 - Massa dos BTC antes e depois da cura

Misturas	A		B		C		D	
	mi (kg)	mf (kg)	mi (kg)	mf (kg)	mi (kg)	mf (kg)	mi (kg)	mf (kg)
90% Solo + 10% Cimento	4,24	3,31	4,46	3,62	4,28	3,04	4,28	3,46
85% Solo + 15% Cimento	4,26	3,06	4,55	3,86	4,35	3,04	4,20	3,43
70% Solo + 10% Cimento + 20% Areia	4,75	3,32	4,75	4,05	4,54	3,71	na	na

Nota: mi - massa do BTC antes da cura; mf - massa BTC depois da cura

Tabela M.2 - Massa dos BTC depois da cura e da imersão no banho

Mistura	Amostras							
	A		B		C		D	
	m _s (kg)	m _h (kg)	m _s (kg)	m _h (kg)	m _s (kg)	m _h (kg)	m _s (kg)	m _h (kg)
90% Solo + 10% Cimento	3,29	4,19	3,58	4,38	3,29	4,32	3,42	4,36
85% Solo + 15% Cimento	3,30	4,15	3,82	4,55	3,29	4,29	3,43	4,34
70% Solo + 10% Cimento + 20% Areia	3,29	4,15	4,01	4,71	3,67	4,60		

Nota: m_S - massa do BTC seco; m_h - massa BTC húmido