

CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS NA PROVÍNCIA DO HUAMBO – ANGOLA. CARACTERÍSTICAS DOS GEOMATERIAIS UTILIZADOS

ELSA D. PEDRO¹, ISABEL M. R. DUARTE^{2*}, HUMBERTO VARUM³, ANTÓNIO B. PINHO²,
JOSÉ P. MIRÃO⁴

1: Doutoranda Universidade de Évora, Docente do Instituto Superior Politécnico Tocoísta
Avenida Pedro de Castro Van Dúnem Loy - Luanda
elsapedr@gmail.com

2: Departamento de Geociências, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, GEOBIOTEC, Portugal
iduarte@uevora.pt

3: Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, CONSTRUCT-LESE, Portugal

2: Departamento de Geociências, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, GEOBIOTEC, Portugal

4: Departamento de Geociências, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, HÉRCULES, Portugal

Palavras-chave: Geomateriais, Características dos solos, Adobe, Ecoconstrução, Huambo.

Resumo *Na actualidade, as questões ambientais são discutidas com o objectivo fundamental de alertar as sociedades contemporâneas para a necessidade de se encontrarem soluções sustentáveis. Os problemas de sustentabilidade, nomeadamente, as alterações climáticas, são questões pertinentes no mundo de hoje. A sustentabilidade das construções em terra crua tem demonstrado a sua importância ao longo da história, reaparecendo em perfeita sintonia com a ambição de se reduzir os materiais fabricados com o recurso aos combustíveis fósseis e os consequentes impactos negativos para o ambiente. Por este motivo, a construção em terra continua a ser objecto de estudos, investigação e inovação técnica e tecnológica sobre as suas potencialidades e optimização. Na região do Huambo, Planalto Central de Angola, a maioria das habitações de famílias de baixa renda, são construídas em terra crua. A técnica mais usada é a do adobe, não obstante, a existência de algumas construções em pau-a-pique e taipa. Devido à falta de conhecimento das propriedades dos geomateriais utilizados e das técnicas que permitem a sua estabilização e conservação, aquelas estruturas são vulneráveis e apresentam degradação precoce, agravadas por um clima predominantemente subtropical quente e húmido.*

Não obstante os esforços que têm sido desenvolvidos no país, a falta de habitação digna, ainda constitui o maior drama pós-guerra para as populações mais carenciadas. Será desejável, por isso, encontrar soluções para melhorar a durabilidade e a resistência dos adobes na região em estudo, o que passa, necessariamente, pelo estudo das características geotécnicas dos materiais usados no seu fabrico e nos métodos construtivos. Neste trabalho, pretende-se avaliar as propriedades mineralógicas e físicas dos solos, bem como, as características mecânicas dos adobes construídos com os mesmos, utilizando as técnicas locais. Para o efeito, recorreu-se à realização de ensaios in-situ e laboratoriais para determinar as características mineralógicas (DRX), físicas (granulometria, peso específico, textura, consistência, expansibilidade) e mecânicas (resistência à tracção por flexão) dos adobes, a durabilidade pelo método de Geelong e o ensaio de avaliação do ciclo húmido/seco, aplicando as normas neozelandesas (4298:1998 e 4297:1998).

Os resultados obtidos permitirão identificar e caracterizar os geomateriais e os métodos mais utilizados na construção em terra crua na Província de Huambo, contribuindo para o conhecimento e melhoramento destas soluções sustentáveis, com forte implantação nesta região. Este estudo contribuirá ainda para a definição da estratégia a seguir no âmbito de um projecto de investigação mais abrangente, que visa a proposta de soluções construtivas com melhores características de desempenho, conforto, segurança, durabilidade e sustentabilidade ambiental, económica e social.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da consciência ecológica tem motivado a comunidade científica na busca de soluções construtivas que se mostrem em equilíbrio com o ambiente e com os ecossistemas. As construções em terra têm demonstrado a sua validade desde o neolítico. Os primeiros vestígios localizam-se no médio oriente e datam de cerca de 10 mil anos, [1], [2]. Estima-se que um terço da população mundial, espalhada pelos cinco continentes, habita em edifícios de terra construídos com recurso a tecnologias de terra diferenciadas [3]. Nos países em vias de desenvolvimento, estima-se que cerca de 50 % da população rural e 20 % da população urbana habite neste tipo de construções [4] e [5]. De facto, nos dias de hoje, nas mais diversas regiões do mundo, a construção em terra se constitui na identidade, história, cultura e, de algum modo, forma de vida dos povos.

Em Angola a construção em terra constitui-se num “saber fazer” presente na cultura das populações, sendo numerosas estas edificações por toda a extensão do país. Na região do Huambo, esta técnica construtiva é amplamente utilizada principalmente por famílias de baixos rendimentos que representam a maioria da população. Grande parte das edificações naquela província é feita com adobe. O adobe é a técnica vernacular mais simples no fabrico e na edificação. Consiste na colocação de pequenos blocos moldados ainda frescos, feitos de uma mistura de solo, água e capim ou outras fibras naturais, sendo posteriormente secos ao ar livre, formando uma alvenaria. Segundo [6], esta técnica construtiva requer um solo algo argiloso e plástico. O capim é usado para diminuir a retracção da argila durante a secagem.

A região do Huambo situa-se no Planalto Central de Angola, sensivelmente, no centro de Angola com um ligeiro deslocamento para oeste do centro geográfico do país. Tem, grosseiramente, uma forma rectangular, com os lados maiores orientados na direcção norte-sul e é limitado pelos paralelos 11° 30' e 13° 30' de latitude Sul e pelos meridianos 14° 30' e 16° 30' de longitude Este de Greenwich. Cerca de 86% da área da Província do Huambo situa-se à altitude compreendida entre 1500 m e 2000 m e só muito excepcionalmente o terreno desce abaixo dos 1300 m. A geologia predominante é caracterizada por rochas granitóides, cuja alteração "*in situ*" originou solos residuais graníticos avermelhados ou alaranjados, ricos em quartzo e óxidos de ferro, típicos nas regiões tropicais e subtropicais.

A falta de conhecimento das propriedades físicas e mecânicas dos geomateriais utilizados na construção em terra crua e das técnicas que permitem a sua estabilização e conservação tem contribuído para que as edificações naquela região se tornem vulneráveis e apresentem degradação precoce, agravadas por um clima predominantemente subtropical quente e húmido.

Com o objetivo de propor um conjunto de soluções que contribuam para o melhoramento das construções em terra em Angola, de incentivar a utilização de materiais construtivos amigos do ambiente e contribuir para o desenvolvimento sustentável à escala local, desenvolveu-se uma metodologia assente nos seguintes pontos-chave: i) levantamento histórico das técnicas construtivas e dos materiais utilizados, através de revisão bibliográfica e de entrevistas às populações locais; ii) identificação, localização e selecção das principais jazidas de solos que podem ser utilizadas como material de construção; iii) caracterização física, química, mineralógica e mecânica dos solos de forma a identificar as suas potencialidades e limitações como material de construção; iv) avaliação da resistência, durabilidade e erodibilidade dos adobes fabricados por métodos tradicionais.

2. DESCRIÇÃO

Situada no planalto central do território angolano, a província do Huambo possui uma área de 35.771 km² e está a uma distância de cerca 600 km de Luanda, a capital do país. Esta região insere-se na principal unidade morfoestrutural de Angola, com cotas absolutas que podem atingir os 2600 m [7]. A Oeste, o planalto é limitado pela Cadeia Marginal de Montanhas, com relevos de desniveis muito acentuados, onde se situam as zonas de maior altitude de Angola. Nos interflúvios e no sopé das montanhas desenvolvem-se solos lateríticos. Nesta região abundam rochas granitóides, cuja alteração *in-situ* originou os denominados solos residuais. As propriedades texturais, geoquímicas e mineralógicas destes solos dependem não só da composição química da rocha mãe, mas principalmente das características geomorfológicas e climatéricas locais [8], [9]. Estes são os solos utilizados em grande parte das construções em terra existentes na área de estudo.

As informações recolhidas através de conversas, inquéritos e entrevistas aos Mestres (designação dada, localmente, aos responsáveis da obra em construção, que normalmente são indivíduos com maior experiência na prática de construção em adobe) e aos Akulu (designação local das entidades idóneas e líderes da comunidade - Anciãos e Chefes tradicionais), permitem inferir, de modo geral, que, os materiais e os métodos de execução, tanto dos adobes como da argamassa, são semelhantes nas diversas localidades da região. As equipas de trabalho são sempre integradas por um mestre e pelo menos um ajudante. É importante referir que a construção em terra na região do planalto central de Angola tem a particularidade de ser desenvolvida pela comunidade. Perante a necessidade de construir, são os próprios elementos da família e os vizinhos, orientados por alguém mais experiente que executam as obras. Homens, mulheres e crianças participam na construção. As crianças ajudam na preparação das misturas para o adobe e argamassa, as mulheres transportam a água e os materiais (as ripas, por exemplo) para junto da obra e os homens executam os restantes trabalhos de apoio à construção. O mestre e os ajudantes são responsáveis pelo controle e desenvolvimento da obra. Outro aspecto que é salientado é a forma e as dimensões dos adobes. Em geral estes apresentam secção quadrada com 20 cm de largura e altura, e um comprimento de 40 cm. As paredes são assentes a $\frac{1}{2}$ vez ou a 1 vez. Estes tipos de aparelho são designados vulgarmente pela população local como paredes simples e paredes duplas, respectivamente [10], [11].

Com base nos resultados obtidos através da realização de ensaios *in situ* e de laboratório nos solos selecionados, verificou-se que estes apresentam considerável variabilidade textural, mineralógica e geoquímica. No geral, são constituídos por alguma matéria orgânica e por fases resultantes da degradação das rochas, devido a ação dos agentes de meteorização física, química e biológica. Desta acção resultam as areias, siltes e argilas em proporções diferentes. O comportamento mecânico do solo, nas construções em terra, é função da percentagem de partículas de areia, silte e argila, bem como, da água presente na mistura [6]. Os ensaios de caracterização dos solos permitiram quantificar as suas propriedades físicas e mecânicas, bem como, a sua identificação e classificação. Existem solos que poderão não cumprir especificações recomendadas para a construção dos adobes. Por isso, foram realizados os seguintes ensaios no laboratório: análise granulométrica por peneiração húmida, determinação do teor em água natural, determinação dos limites de consistência, ensaio de expansibilidade, determinação do equivalente de areia e do peso específico das partículas do solo.

Durante a campanha de campo, nos locais onde foram colhidos os solos para os ensaios em laboratório, foram também realizados ensaios *in situ* expeditos, tais como: teste da cor, odor, toque, brilho, bola, sedimentação, retracção [18], etc., cujos resultados foram comparados com os valores obtidos no laboratório [12].

Nos adobes, construídos pelos métodos tradicionais, foram feitos testes de durabilidade e erodibilidade pelo método de Geelong ("*Geelong Test*"). O *Geelong Test* é de entre os ensaios de erosão para provetes de terra, o ensaio concebido especialmente para provetes de adobe [13]. O ensaio consiste em fazer cair sobre o adobe inclinado a 30°, uma quantidade de água (100 ml), gota a gota, de uma altura de 40 cm. O tempo de gotejamento ideal deve situar-se entre 20 a 60 minutos. De acordo com [6], o grau de erosão é dado pela profundidade do desgaste provocado pela queda da água no bloco de terra, sendo que, para profundidades superiores a 15 mm, considera-se que os provetes devem ser rejeitados. Ainda segundo este autor, os ensaios de durabilidade permitem estimar a profundidade de erosão sofrida pela parede de adobe durante uma vida útil de pelo menos 50 anos, que será o dobro da obtida a partir do ensaio. Nos ensaios efectuados sobre os adobes verificou-se que a profundidade do sulco foi sempre inferior ou igual a 6 mm.

Os ensaios de caracterização mecânica foram realizados *in-situ* em adobes fabricados com procedimentos tradicionais. Nos ensaios de caracterização da resistência à tracção realizada através do teste de flexão, foi aplicada gradualmente uma carga até a rotura do provete, com o auxílio de bidão colocado sobre uma tábua plana assente sobre um pau cilíndrico colocado sobre o centro do bloco de adobe a ensaiar, o qual por sua vez estava assente sobre dois paus de apoio, cilíndricos, colocados na extremidade do bloco. O bidão foi gradualmente enchido até a rotura do adobe. Os resultados obtidos por [14], permitem inferir que aqueles adobes possuem características mecânicas que podem ser consideradas aceitáveis para os níveis de tensão que regra geral, surgem na construção de habitações

de um piso, desde que, segundo [15], sejam tidos cuidados na produção dos adobes para se limitar a retração e se protejam devidamente as paredes das construções para evitar a sua degradação.

3. CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos nos ensaios realizados, verifica-se que os geomateriais (solos) são essencialmente constituídos por areias siltosas ou areias argilosas de baixa a média plasticidade, por vezes com cascalho, demonstrando expansibilidade baixa a moderada.

O teor em matéria orgânica é variável, mas podendo ser suficiente para mascarar a plasticidade destes solos. De referir, também, que a cor avermelhada que alguns solos têm, deve-se à presença de óxidos de ferro, cuja quantificação, através da determinação da composição mineralógica, foi realizada por [16]. Os óxidos de ferro também podem inibir a plasticidade dos solos.

Por outro lado, os solos revelaram um índice de retração considerável, geralmente acima dos 3%, pelo que se justifica a utilização de capim (erva seca ou fresca) no fabrico dos adobes, dado que a presença daquele contraria a tendência para a retração ou friabilidade do solo, contribuindo assim para a melhoria da resistência e durabilidade dos adobes, como revelaram os resultados obtidos no “*Geelong Test*”.

Pode-se concluir, de acordo com as indicações da norma [17], para o “*Geelong Test*”, que os adobes ensaiados possuem características aceitáveis para a construção em terra (isto é, profundidade do sulco inferior a 15 mm). A profundidade de absorção de água observada é, em regra, 10 vezes a profundidade do respetivo sulco.

Não obstante os resultados do ensaio Geelong serem aceitáveis, julga-se importante proteger convenientemente as paredes de alvenaria de adobe do contacto com a água, quer proveniente das fundações, quer proveniente da pluviosidade, pois é reconhecido o efeito que pode ter na redução da resistência mecânica dos adobes, e no aumento da sua erodibilidade e diminuição da durabilidade.

Também de acordo com os critérios identificados por [6] e pelo centro de investigação CRAterre é possível concluir que as características físicas dos solos analisados seriam as recomendadas para o fabrico de adobes.

Este trabalho insere-se num projecto mais abrangente que visa gerar conhecimento e incentivar a utilização de materiais de construção amigos do ambiente, dado que estão disponíveis na natureza junto dos locais onde são necessários, evitando assim o transporte e o fabrico industrial, contribuindo para soluções construtivas com melhores características de desempenho, conforto, segurança, durabilidade e sustentabilidade, bem como para o reconhecimento institucional da importância social deste tipo de construção.

REFERÊNCIAS

- [1] Filemio, V., 2009. “The Architecture and Mechanics of Earthen Structures”, Proceedings of the Third International Congress on Construction History 2009, May, Cottbus, Germany.
- [2] Galán-Marín C.; Rivera-Gómez C.; Petric J., 2010. “Clay Based Composite Stabilized With Natural Polymer and Fibre”, Construction and Building Materials 24, 462 – 468.
- [3] Minke, G., 2006. “Building with Earth, Design and Technology of a Sustainable Architecture”, Birkhäuser, Publishers of Architecture, Basel-Berlin-Boston.
- [4] Houben, H.; Guillaud, H., 1996. “Earthen architecture: Materials, techniques and knowledge at the service of new architectural applications”, The Courier, 159 Dossier Investing in People Country Reports: Mali; Western Samoa (Sept-Oct).
- [5] Guillaud, H., 2009. “Arquitectura de terra para um desarrollo cultural e sostenible”, VIII Seminario Iberoamericano de Construcción com Tierra (VIII SIACOT), II Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción com Tierra (II SAACT), Editor: CRIATIAAC – FAU –UNT. Junho, Tucumán, Argentina.

- [6] Torgal, F. P.; Eires, R. M. G.; Jalali, S., 2009. "Construções em terra". Universidade do Minho, ed. TecMinho, Gráfica Vilaverdense - Artes Gráficas Lda., 110 – 112.
- [7] Araújo, A. G.; Guimarães, F., 1992. "Geologia de Angola", Notícia Explicativa da Carta geológica à escala 1:1 000 000, Serviço Geológico de Angola, Luanda.
- [8] Duarte, I. R.; Rodrigues, C.; Bonito, F.; Pinho, A., 2011. "Caracterização do Comportamento Geomecânico de um Laterito do Huambo – Angola", A Engenharia como Alavanca para o Desenvolvimento e Sustentabilidade, Actas do 6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, CLME´2011, Edições INEGI, 3109A, 29 de Agosto a 2 de Setembro de 2011, Maputo, Moçambique.
- [9] Duarte, I. M. R.; Queta, F. M.; Bonito, F.; Pinho, A. B., 2015. "Avaliação de algumas propriedades geotécnicas de solos residuais granitóides da Região Central de Angola". Desenvolvimento Sustentável da Terra: Novas Fronteiras, Comunicações Geológicas, Revista científica do LNEG, Tomo 101, Fasc. 3, Tema 10.
- [10] Pedro, E. D. C.; Duarte, I. M. R.; Varum H., 2014. "Características dos solos utilizados na produção de adobes na Província de Huambo – Angola", A Engenharia como Motor para a Inovação e o Desenvolvimento, Actas do 7º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, CLME´2011, Lusolmpress S. A., A103565, Inhambane, Moçambique.
- [11] Pedro, E.; Duarte, I.; Varum, H.; Pinho, A., 2015. "Characterization of adobes in the Central Plateau of Angola", Engineering Geology for Society and Territory, G. Lollino, D. Giordan, C. Marunteanu, B. Christaras, I. Yoshinori & C. Margottini (Eds), Preservation of Cultural Heritage, Vol. 8, 54, 311 – 316, Springer International Publishing Switzerland.
- [12] Pedro, E. D. C.; Duarte, I. M. R.; Varum, H.; Pinho, A. B.; Norman, A., 2016. "Characterization of traditional raw materials used in housing construction in Huambo region – Angola", Geophysical Research Abstracts. Vol. 18, EGU2016-9443-1, European Geosciences Union, 17-22 April, Vienna, Austria.
- [13] Walker, P., 2000. "Review and experimental comparison of erosion tests for earth blocks", In: Terra 2000, 8th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture, ICOMOS, 2000, 176 – 181, May 2000, Torquay, Devon, UK.
- [14] Pedro, E. D. C.; Duarte, I. M. R.; Varum, H.; Pinho, A. B.; Norman, A., 2016. "Mechanical properties of Adobe Blocks used in building construction in Huambo Province – Angola", Paper 2339, Proceedings 35th International Geological Congress, from 27 August to 2 September 2016, Cape Town, South Africa, (<http://www.americangeosciences.org/information/igc>).
- [15] Varum, H.; Costa, A.; Silveira, D.; Carvalho, G.; Silva, L., 2007. "Caracterização dos solos e adobes usados na construção em Camabatela, Angola", Actas do V Seminário de Arquitectura de Terra em Portugal, 2007, 10 a 13 de Outubro, Aveiro, Portugal.
- [16] Duarte, I. M. R.; Pedro, E. D. C.; Varum, H.; Mirão, J.; Pinho, A., 2017. "Soil mineralogical composition effects on the durability of adobe blocks from the Huambo region, Angola". Bulletin of Engineering Geology and the Environment 76, 125 – 132, Springer.
- [17] NZS 4298, 1998. "New Zealand Standard: Materials and Workmanship for Earth Buildings", Standards New Zealand.
- [18] NZS 4297, 1998. "New Zealand Standard: Engineering Design of Earth Buildings", Standards New Zealand.