

1 Introdução

1.1 Problema e relevância

A terra é um dos materiais mais abundantes do planeta. Sua utilização como material de construção remonta há aproximadamente 10 mil anos quando os homens começaram a construir suas casas (DETHIER, 1982). Desde então, foram criadas inúmeras técnicas construtivas de terra¹ que variam em função da região, do clima e do tipo de solo² disponível.

Sua utilização como material de construção abrange todos os continentes: de Jericó, construída há cerca de 10 mil anos, e sem dúvida a primeira cidade na história, à célebre Babilônia no Iraque; de Mohendjo-Daro no Paquistão às portas de Córdoba, na Espanha; de Kano, na Nigéria, ao Peru, na América do Sul. Romanos, muçumanos, monges budistas, indus, astecas e índios norte-americanos, todos utilizaram a terra para erguer suas casas e construir suas sociedades. “Nessas antigas bases desenvolveram-se, às vezes, cidades modernas em que a construção com terra é patente, como Lugdunum, capital da Gália Romana, hoje Lyon, terceira cidade da França”, conforme ressaltado em Dethier (1982).

Existem hoje 108 bens culturais do mundo, parcial ou totalmente construídos em terra, inscritos na Lista de Patrimônio Mundial da UNESCO, segundo a organização Centro da Terra (acesso em 10 de junho de 2010), o que representa 16% da categoria. Sete destes bens localizam-se no Brasil, sendo seis deles os centros históricos de cidades como Salvador, Ouro Preto, Diamantina e Olinda. Em muitos países, especialmente do Oriente Médio e da África, onde a construção com terra é abundante, verifica-se também uma crescente utilização do solo como base para revestimentos. Eles têm a finalidade de proteger as paredes das intempéries a que são expostas ao longo da sua vida útil (chuvas, ventos, variações na umidade relativa do ar etc.).

A partir do século XVIII, no entanto, foram introduzidos processos industriais que contribuíram para o desenvolvimento de diversos segmentos de manufaturados. Novas máquinas automatizadas, geralmente movidas pela tecnologia do motor a vapor, foram responsáveis pelo aumento da velocidade dos processos de transformação das matérias-primas. Além disso, as máquinas também transformaram as relações de trabalho no meio fabril. Os trabalhadores passaram por um processo de especialização de sua mão-de-obra, ganhando a responsabilidade e o domínio de uma única parte do processo industrial.

O intenso uso de tecnologia na construção civil fez com que os processos artesanais de construção fossem aos poucos desaparecendo, sendo substituídos por outras com o emprego de novos materiais que, em pouco tempo, devido à sua

¹ Terra refere-se ao solo apropriado para a construção, recebendo assim denominações diversas tais como terra crua, terra sem cozer e terra para construir. Tradução literal dos termos “earth construction” e “earth architecture”.

² Solo diz respeito à matéria-prima presente em determinada região, com características próprias, e que pode ser escavado e empregado na construção civil (Neves e Salmar, 2010).

grande utilização, seriam considerados materiais convencionais como, por exemplo, o concreto armado e o aço.

No entanto, a construção civil como conhecemos hoje provoca elevado impacto ambiental colaborando para o aumento do chamado efeito estufa. O cimento, uma das principais matérias-primas do setor, além de ser muito poluente, possui elementos que desencadeiam doenças crônicas (SERRA, 1999). "A emissão anual de gases de efeito estufa das indústrias de cimento é estimada em 1,35 bilhões de toneladas, o que corresponde a aproximadamente 7% do total de emissões desses gases" (KI-CHANG *et al.*, 2008). Estima-se que atualmente a construção civil consuma entre 20% e 50% do total de recursos naturais utilizados pela sociedade (SJÖSTRÖM, 1992). Segundo Pinto (2008), essa indústria também "consome o equivalente a 16% da água potável no mundo, bem como utiliza direta ou indiretamente 30% a 40% de toda a energia consumida, gerando entre 20% e 30% de todo o lixo do planeta".

Outra questão muito importante é a adequação destes materiais industrializados às realidades de certos países. Em países em desenvolvimento, por exemplo, não é possível suprir as necessidades de habitação com materiais como concreto e aço, devido ao custo atrelado a estas tecnologias de construção. No entanto, justamente nestes países há a maior necessidade de construção de novas habitações. De acordo com Sales (2006), "embora o déficit habitacional afete todos os países de alguma forma, sua ocorrência torna-se mais evidente em países em desenvolvimento ou países do hemisfério Sul." No Brasil, em 2009, estimou-se o déficit habitacional em 6,23 milhões de domicílios, segundo informações do Ministério das Cidades (2009). Assim, torna-se necessária a busca de novas alternativas para construção, com baixo custo e ecologicamente corretas. Esta prática é conhecida como desenvolvimento sustentável, descrito no Relatório Brundtland (publicado em 1987 pela Comissão Mundial das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento) como um desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações vindouras de satisfazer suas próprias necessidades (UN DOCUMENTS, 1987).

De acordo com Neves e Baca (2010), "a terra segue como umas das únicas alternativas de construção da população marginalizada do mercado formal de habitação, geralmente moradores da periferia das cidades e da área rural". A terra ressurge como material construtivo eficiente, pois atende a todos os interesses de baixo custo e baixo impacto ambiental, além de possuir grande disponibilidade. Ainda hoje, um terço da população mundial vive em casas onde a terra é a matéria-prima (BARBOSA, 2005).

Apesar das suas diversas vantagens econômicas, sociais e ambientais, a terra como material construtivo ainda enfrenta um enorme preconceito por parte dos diversos setores da sociedade que a consideram um material popular e de baixa resistência. A popularização do material e a redução do preconceito podem ser alcançadas com sistematização de processos construtivos e especificação da matéria-prima. As normas e subsídios técnicos podem então viabilizar a construção de moradias, principalmente em países em desenvolvimento, sem agravar os problemas ambientais que vêm preocupando tanto a sociedade no último século. Igualmente, é preciso conhecer o material para preservar e restaurar de maneira eficiente as muitas estruturas de terra construídas no passado.

1.2 Objetivos

Esta pesquisa teve como objetivo principal realizar uma análise macro-mecânica do comportamento da terra como revestimento externo. Não foram encontradas referências a estudos semelhantes a este, tratando-se, portanto, de um estudo pioneiro, no Brasil e no exterior.

Todos os ensaios foram realizados no laboratório de Geomateriais, da École Nationale des Travaux Publics de l'État (ENTPE) e em um substrato de terra localizado na fazenda de Allivoz, no Grand Park Miribel Jonage, também em Lyon, na França, pois durante a realização deste trabalho de mestrado, está ocorrendo no país um esforço para a criação de Regras Profissionais de Alvenaria. Com a ajuda de universidades e centros de pesquisa, o governo francês busca padronizar a construção com terra no país. Após a elaboração das Regras Profissionais, os construtores terão onde buscar métodos construtivos de revestimentos de terra normatizados, com a garantia de bons resultados. No interior do país, as técnicas construtivas variam em função da região e do responsável pela obra, pois os construtores de terra de hoje em dia receberam esses conhecimentos de gerações anteriores, o que é conhecido como “transferência de tecnologia”, e continuam ainda hoje empregando os métodos que lhes foram transmitidos. Estima-se que na França as construções com terra representem pelo menos 15% do patrimônio rural (DETHIER, 1982). Assim, os resultados apresentados nesta dissertação de mestrado provenientes dos ensaios realizados em Lyon, colaboraram também para a elaboração das Regras Profissionais de Alvenaria na França.

Nesta pesquisa foram analisados revestimentos fabricados com diferentes teores de argila (17,5%, 12%, 9% e 6%) para dois solos de origens distintas, cada um com um tipo de argilomineral dominante: o solo de Tassin (com illita em maior quantidade) e o de Rochechinard (com caulinita em maior quantidade). Como material de referência, foi fabricada uma argamassa de cal e areia, comumente empregada como revestimento na prática. Tais revestimentos eram aplicados sobre um substrato de terra batida, localizado na fazenda de Allivoz, com 50 cm de altura e 30 cm de largura.

O estudo possui os seguintes objetivos específicos:

- Analisar o comportamento dos diferentes argilominerais em relação à retração, *in situ* e em laboratório, para os mesmos teores de argila;
- Analisar a influência do teor de argila, para um mesmo argilomineral, na retração, *in situ* e em laboratório;
- Analisar o desempenho da argila presente na terra quando submetida aos esforços de cisalhamento e flexão;
- Verificar a contribuição do teor de argila na resistência ao cisalhamento e na resistência à flexão, para um mesmo argilomineral;
- Verificar a influência do modo de fabricação e da espessura dos revestimentos no comportamento dos mesmos quando submetidos ao cisalhamento;
- Comparar os resultados dos revestimentos de terra e do revestimento de referência, fabricado somente com cal e areia.

Para examinar a influência de fibras existentes no mercado no comportamento de argamassas de terra, foram fabricados corpos-de-prova de Rochechinard estabilizados com fibras curtas de sisal (*Agave sisalana*) e com

resíduos de fabricação de fibras curtas de cânhamo (*Cannabis sativa*), para dois teores de argila empregados nos revestimentos não estabilizados. As fibras foram adicionadas ao solo em uma porcentagem de 0,5% do peso do solo seco, com as mãos. As fibras de sisal têm possui seção circular com valores médios de 0,15 mm de diâmetro e 40 mm de comprimento; as de cânhamo são consideradas como seção retangular de 2 mm de altura, 5 mm de largura e 20 mm de comprimento. Com isso buscou-se estudar a influência da adição dessas fibras nos revestimentos, comparando cada um deles separadamente com os revestimentos de Rochechinard não estabilizados.

1.3 Desenvolvimento da pesquisa

A presente pesquisa foi executada em cinco etapas, descritas a seguir: (1) identificação do problema e objetivos da pesquisa; (2) revisão da literatura existente sobre o assunto; (3) descrição dos materiais utilizados e do programa experimental da pesquisa; (4) análise dos resultados e (5) conclusões finais.

No Capítulo 1, é descrita a necessidade do estudo em questão, a importância do material terra para a construção civil, bem como os desafios encontrados e que devem ser ultrapassados.

No Capítulo 2, é realizada a revisão da literatura sobre as propriedades da terra para uso na construção civil e as técnicas construtivas existentes. O capítulo também inclui detalhes sobre os revestimentos de terra, contribuindo para o desenvolvimento do programa experimental.

No Capítulo 3, são apresentadas as propriedades dos materiais utilizados na pesquisa e apontados os métodos de concepção dos corpos-de-prova. Neste mesmo capítulo, encontra-se a descrição detalhada dos procedimentos experimentais empregados para cada um dos ensaios realizados com as amostras.

O Capítulo 4 é dividido em subseções. Em cada uma delas são apresentados os resultados obtidos para cada ensaio realizado, por intermédio de gráficos, figuras e tabelas explicativas.

Finalmente, no Capítulo 5, é feita a correspondência entre os resultados encontrados na literatura e aqueles obtidos no programa experimental. Neste capítulo também são citadas as sugestões para futuros trabalhos.