

Análise do comportamento térmico de um banco de Taipa de Pilão

DOI: 10.20396/labore.v13i0.8654737

Submetido 20 fev. 2019.

Aceito 23 out 2019.

Publicado 08 dez. 2019.

José Ronaldo Brandão Junior

<<https://orcid.org/0000-0002-7297-5160>>

Universidade Federal de Campina Grande / Campina Grande [PB] Brasil

Luiz Ricardo Sales

<<https://orcid.org/0000-0001-8865-2078>>

Universidade Federal de Campina Grande / Campina Grande [PB] Brasil

José Pinheiro Lopes Neto

<<https://orcid.org/0000-0003-4960-5679>>

Universidade Federal de Campina Grande / Campina Grande [PB] Brasil

José Wallace Barbosa do Nascimento

<<https://orcid.org/0000-0002-8376-0173>>

Universidade Federal de Campina Grande / Campina Grande [PB] Brasil

RESUMO

A primeira abordagem ao trabalho consiste numa recolha e análise de informação relativa à construção em terra crua desde a sua origem ao seu uso atual, na qual se irá aprofundar com a técnica da Taipa de Pilão. Sua composição apresenta uma elevada inércia térmica que dadas características climáticas do nordeste do Brasil, poderá melhorar o comportamento térmico das construções que as integram. Neste trabalho procurou-se analisar o comportamento térmico de um banco de Taipa de Pilão. Para o seu desenvolvimento física, foram preparadas diversas composições de terra (areia, cal e cimento) com a incorporação em grande parte de argila natural sem comprometer a necessária resistência mecânica. Com a conclusão do banco, foram realizadas as análises do comportamento térmico, através da utilização de sensores de temperatura e umidade instalados em seu interior e na sua superfície. Após 80h de análise, os resultados foram tabulados e gerados gráficos representativos. Os resultados alcançados possibilitaram identificar qualitativamente e quantitativamente as características das variações térmicas no banco.

PALAVRAS-CHAVE

Construção em terra. Taipa de pilão. Comportamento térmico.

Analysis of the thermal behavior of a rammed earth bench

ABSTRACT

The first approach to the work consists of a collection and analysis of information about earth construction — from its origin to its current use, in which it will be deepened with the “Taipa de Pilão” (or rammed earth) technique. Its composition presents a high thermal inertia that given climatic characteristics of the northeast of Brazil, can improve the thermal behavior of the constructions that integrate them. In this work, the thermal behavior of a “Taipa de Pilão” bench was analyzed. For its physical development, several soil compositions (sand, lime and cement) were prepared with the incorporation in large part of natural clay without compromising the necessary mechanical resistance. With the completion of the bench, analyzes of the thermal behavior were carried out through the use of temperature and humidity sensors installed inside and on the surface. After 80h of analysis, the results were tabulated and representative graphs were generated. The obtained results allowed to identify qualitatively and quantitatively the characteristics of the thermal variations in the bench.

KEYWORDS

Construction with earth. Rammed. earth Thermal behavior.

1. Introdução

A construção civil é, hoje, o setor responsável pela maior parte da exploração dos recursos naturais e, portanto, o maior contribuinte da degradação ambiental. É necessário o surgimento de alternativas como a construção sustentável, que tem como princípios básicos, o desenvolvimento de matérias-primas e energias renováveis, redução da quantidade de materiais, água e energia utilizados, reaproveitamento das águas, entre outros. Desta forma, destaca-se o potencial da arquitetura de terra, considerando que apresenta vantagens significativas em relação aos métodos construtivos tradicionais, como a baixa condutibilidade térmica das paredes de barro.

Arquitetura e construção com terra é o termo que se usa para designar toda edificação ou parte dela feita usando solo como principal material da obra. Nessas construções, o solo deve ser estabilizado com materiais aglomerantes ou por meio de esforços físicos em que a estabilização significa melhorar os parâmetros, principalmente a resistência e durabilidade da construção.

O sistema construtivo de terra vem sendo empregado, há mais de 5.000 anos, na construção de edificações. Em várias partes do planeta, vestígios arqueológicos comprovam a existência de muitas cidades da Antiguidade construídas com esse material. Em civilizações como a do Egito, há registros de usos desde 5.000 a.C.. Esse sistema era usado também na Babilônia (atual Iraque), na Pérsia (atual Irã), na Turquia, na África, no Oriente e na Ásia, (China, Índia). Também na Europa, o uso desse material foi muito difundido (Ex.: França séc. XIX, Taipa de Pilão) e ainda hoje é utilizado (Santiago, 2001; Oliveira, 2006).

A terra crua é um material de construção amplamente utilizado no mundo, sendo difícil encontrar país que não tenha um acervo arquitetônico edificado nessa técnica.

No Brasil, os sistemas construtivos que mais utiliza o solo estabilizado da arquitetura e construção com terra, são: adobe, taipa de mão ou pau-a-pique, blocos de terra comprimida (BTC) e a Taipa de Pilão. O uso de cada sistema está diretamente ligado ao tipo de solo disponível e a cultura construtiva de cada região. Contudo, qualquer que seja a tipologia da edificação em terra, a característica comum é o uso do solo como o principal material de construção (Santos, 2014).

A Taipa de Pilão ou simplesmente taipa é um sistema em que o solo é estabilizado por compactação e, grande parte das vezes, com o uso de algum aglomerante que melhore as características do solo compactado (Colin, 2010). O processo consiste em peneirar a porção necessária de solo, secá-lo ao ar e misturar, se for o caso, com o aglomerante. Acrescenta-se água à mistura até o ponto ótimo de umidade, coloca-se dentro de uma forma reforçada e travada para finalmente, compactar até a densidade ideal, usando pilões manuais ou compactadores mecânicos.

A construção em taipa é utilizada em larga escala por dois grandes motivos: recorre a materiais locais, com baixa energia incorporada, e pode ser uma construção econômica. A simplicidade, o baixo custo e resistência (desde que bem isolada), faz com que a taipa seja aplicada ainda hoje em diversos tipos de edificações do Brasil, principalmente regiões de climas quentes e secos com baixos índices de pluviosidade.

O uso da terra como material de construção oferece ainda muitas vantagens em termos de sustentabilidade: é natural, provavelmente não tóxico, ecológico, reciclável e de baixo custo. É também não combustível e pode contribuir para aumentar o desempenho térmico e acústico (Gomes, 2017).

Outra vantagem é o controle da umidade relativa do ar interior por serem muito permeáveis ao vapor de água e muito higroscópicas (Pires, 2013).

Diante dessas considerações, a escolha do tema “Análise do comportamento térmico de um banco de Taipa de Pilão” deve-se ao facto de que a taipa, que é uma solução construtiva sustentável, carece de um estudo mais aprofundado, nomeadamente do ponto de vista térmico. A construção em terra é 100% reutilizável e aplicada aos edifícios que a integram oferecem, durante uma parte significativa do ano, conforto térmico sem recurso à utilização de energia auxiliar.

2. Contextualização teórica

2.1. A TAIPA DE PILÃO NA CONSTRUÇÃO EM TERRA

O termo taipa, genericamente empregado, significa a utilização de solo, argila ou terra crua como grande matéria-prima básica de construção. A Taipa de Pilão recebe esta denominação por ser compactada com o auxílio de uma mão de pilão. A taipa era executada com terra retirada do mesmo local de construção, ou

próximo a ele, devido às dificuldades de transporte e ao grande volume de material necessário. As argilas eram escolhidas pelo próprio taapeiro que selecionava o material através do tato e da visão, pois foi empiricamente que ele teve conhecimento de suas propriedades físicas (Pisani, 2007).

Das cinco técnicas de construção monolíticas em terra conhecidas (Guillaud, 1993, p. 48) a taipa é um sistema relativamente recente na história da construção e que se julga, ter evoluído tecnologicamente a partir do simples sistema de terra em cofragem (Font, 2006, p. 114).

De um sistema construtivo confinado ao sítio e historicamente delimitado, a taipa passou a técnica construtiva contemporânea, produzida inclusivamente em paredes pré-moldadas e transportáveis.

As construções que possuem terra como matéria-prima básica apresentam grandes vantagens se comparadas a outros materiais de construção, pois elas se utilizam de materiais naturais e biologicamente saudáveis. São também, consideradas ecológicas devido à maior utilização de recursos renováveis do planeta.

As construções em terra crua representam a harmonia do homem com o meio que vive, pois em cada lugar elas possuem características próprias, conforme as exigências do clima e da vegetação local (Silva, 2008).

Desta maneira é possível perceber que, uma lição da história é que, o que restringe o desenvolvimento sustentável é raramente a escassez do recurso, mas sim a poluição. A sustentabilidade oferecer uma possibilidade grandiosa de desenvolver projetos relacionados ao que há de muito específico dos lugares. E como afirma Vosgueritchian (2006), a arquitetura sustentável deverá emergir com uma força significativa para realçar o valor da vida, das tradições locais.

Coelho (2007), afirma que as técnicas de construção com terra têm todas as características que atendem as condições de sustentabilidade, pois possui custo de montagem e manutenção que permite o seu consumo pela população local, o material utilizado pode ser reciclado, ou seja, não geram resíduos, e por fim privilegia a mão de obra local.

Acrescenta Silva (2000), mas um fator no aspecto ecológico das construções em terra crua: o uso não predatório da natureza, no sentido de não transformar de maneira definitiva, uma material que representa um recurso não renovável do planeta, em respeito às futuras gerações.

A Taipa de Pilão, quando utilizada de forma adaptada às necessidades e demandas atuais, demonstra a importância do papel social do profissional em garantir a redução dos impactos ambientais e do gasto de energia causados pelas atuais construções.

2.2. O COMPORTAMENTO TÉRMICO DA CONSTRUÇÃO EM TERRA – ESTADO DA ARTE

A relevância do estudo do comportamento térmico das construções em terra advém do ainda escasso conhecimento e número de estudos de investigação realizados neste domínio. Apesar da extensa bibliografia e atual interesse sobre o tema da arquitetura em terra em geral, os dados relativos às características do comportamento térmico de paredes em terra são reduzidos quer a nível mundial, quer a nível nacional.

Apesar do presente estudo se cingir na análise térmica de um banco em taipa, a recolha bibliográfica é mais abrangente, incidindo não só em estudos efetuados utilizando a técnica construtiva da taipa mas também em abobe. Tendo em conta estas variantes, em que a mistura de palha nos adobes e a utilização de outros materiais mais recentes em alvenarias de terra, como por exemplo, aglomerados de cortiça, alteram ainda mais as propriedades térmicas da terra, os valores da condutibilidade térmica do material diminuem devido às propriedades isolantes em comparação com o uso de terra pura.

Nos últimos anos, têm sido realizados alguns estudos experimentais de monitorização *in situ*, ou em células de teste exteriores (sujeitas às solicitações climáticas exteriores) sobre o comportamento térmico de soluções de construção em terra, destacando-se os trabalhos de Meneses et al. (2011), Soebarto (2009), Allinson e Hall (2010) e Taylor e Luther (2004).

Meneses et al. (2011) realizaram uma campanha experimental de monitorização de células de teste, à escala 1:4, sujeitas às solicitações climáticas exteriores. Construíram-se três células de igual dimensão com adobes de 15cm à escala real (3,75cm à escala 1:4) de espessura e com características diferentes na sua composição. Desses três diferentes tipos de adobes, num deles foi utilizado aglomerado de cortiça. Pretendia-se avaliar a inércia térmica e a condutibilidade da terra das paredes de adobe, comparando-se com os requisitos regulamentares mínimos. Os valores da condutibilidade térmica ($W/m^{\circ}C$) obtidos através da monitorização das três células estavam compreendidos entre 0,59 (com aglomerado de cortiça) e 0,95 (cal hidratada, terra

ligeiramente argilosa e areia). É de destacar o especial interesse desta pesquisa pelo facto de contemplar o estudo da introdução de materiais com propriedades isolantes na fabricação da alvenaria tendo como objetivo alcançar valores mínimos estipulados pela regulamentação térmica portuguesa para as soluções construtivas de paredes exteriores.

Soebarto (2009) apresentam os resultados obtidos através da monitorização de três casos de estudo com construção em taipa. Destes, um dos casos de estudo apresenta uma solução construtiva em dois panos com isolamento entre eles. Neste trabalho é assumido o valor de 1,25 W/m.K para a condutibilidade térmica da taipa (valor regulamentado pelo Australian Institute of Refrigeration, Air Conditioning and Heating) para uma taipa com massa volêmica de 1540 kg/m³). Com este estudo, conclui-se que, na situação de Inverno, a diferença das temperaturas interiores das casas sem isolamento para a casa com isolamento podia variar em 5°C, enquanto na situação de Verão os valores eram similares nas três soluções.

Allinson e Hall (2009), por sua vez, analisaram o comportamento hidrotérmico de taipa estabilizada através da simulação de um caso de estudo, previamente monitorizado in situ, utilizando o software WUFI Plus v1.2. Posteriormente, compararam o comportamento da parede de taipa estabilizada com outras soluções de revestimento (placa de gesso e folha metálica) e puderam concluir que a terra diminui significativamente a amplitude das flutuações da humidade relativa no interior dos espaços e reduz a frequência de períodos com grande humidade à superfície da parede. Sendo assim, a utilização da terra diminui a quantidade de energia utilizada nos processos de humidificação/desumidificação dos espaços interiores comparativamente com os outros materiais testados.

Taylor e Luther (2004) realizaram uma campanha experimental de um caso de estudo localizado na Austrália, tendo por fim, chegado à conclusão que a elevada massa, e logo inércia térmica das paredes de terra, neste caso com 300 mm de espessura, melhorava consideravelmente as suas propriedades térmicas, apesar da resistência térmica deste material ser bastante reduzido.

Posteriormente, Hall (2007) utilizou duas câmaras climáticas por forma a compreender o comportamento hidrotérmico da taipa estabilizada, em paredes com 300 mm de espessura. Foi possível avaliar, após submeter a parede a condições de precipitação e humidade, que a quantidade de humidade que penetra no interior da parede é bastante reduzida e que a percentagem de humidade relativa no interior da parede tem um aumento muito pouco significativo.

Apesar dos estudos realizados e o crescente desenvolvimento de investigação nesta área, são ainda escassos os trabalhos que envolvem a caracterização detalhada do comportamento térmico da taipa. Assim, justifica-se o maior desenvolvimento de estudos neste domínio, contribuindo para a consolidação do conhecimento na utilização de construções em terra.

3. Métodos

Para a realização deste trabalho foi utilizado o solo da zona rural do município de Areia, microrregião do Brejo Paraibano, o qual pode-se encontrar em abundância e de excelente qualidade para a prática da construção em taipa. O solo local foi classificado pelo Ministério da Agricultura do Brasil (1972) como Podzólico Vermelho-Amarelo, que na classificação da Embrapa (2006) passa a ser Argissolo Vermelho-Amarelo. O clima é do tipo As' de Köppen (quente e úmido, com chuvas no período de março a julho).

O desenvolvimento, no que concerne à parte experimental, foi maioritariamente realizado no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente do departamento de Pós-Graduação de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Inicialmente foi construído um molde em madeira no formato de uma grande caixa retangular, paralelamente em outro local eram misturados a argila, a areia, o cal e o cimento compondo assim um único material, transportados até o molde eram compactados manualmente com recurso a um pilão de madeira.

Com a conclusão da construção do banco, foi iniciada a análise dos dados térmicos, através de 3 sensores de temperatura digital imersível (DS18B20) e 1 sensor de umidade e temperatura (DHT22), ambos posicionados internamente e externamente ao objeto de análise. Foram utilizados 1 protoboard (830 furos HK-P50) módulo para acoplar as peças 1 node (MCU ESP8266), 1 módulo SD Card, 1 cartão SanDisk 4 GB, 1 cabo de rede (6 metros) e 1 carregador Samsung para que seja conectado a energia.

O início da coleta de dados se deu às 08:30h do dia 23 de novembro de 2018, utilizando um intervalo de coleta de 10 minutos, ao todo foram totalizadas 80h. Após decorrido esse período os dados obtidos foram tabulados e gerados gráficos representativos.

4. Resultados e discussão

A partir dos resultados obtidos através dos sensores, observamos importantes variações entre a umidade relativa do ar e a temperatura ambiente.

Os dados foram obtidos durante 80 horas de coleta, o qual foram obtidos picos de umidade superiores a 90% e a 40° na temperatura (Figura 1). Constatou-se que as respostas térmicas das superfícies variam segundo a alteração das condições ambientais, ou seja, o resfriamento e o aquecimento da superfície e a variação da umidade relativa do ar.

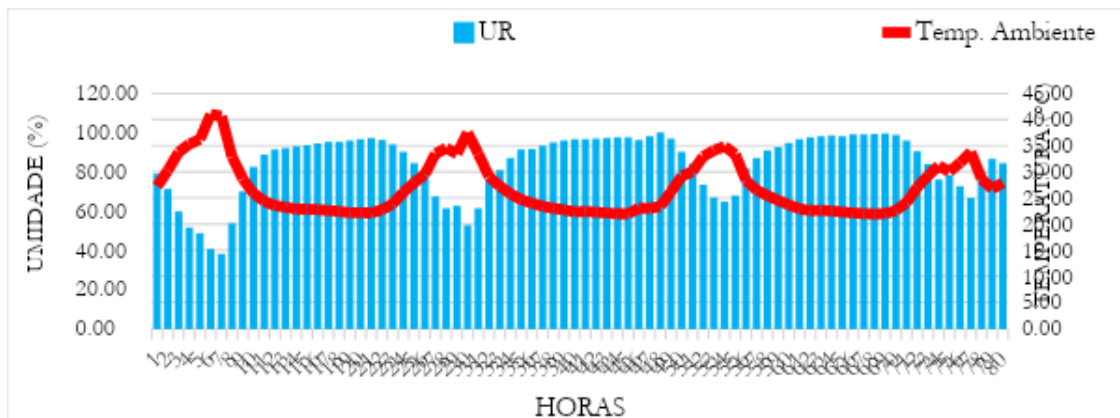


Figura 1. Umidade relativa e temperatura ambiente.

A superfície externa exposta à excitação térmica (radiação solar) apresenta resolução visual melhor no período de resfriamento, enquanto a superfície interna não exposta diretamente a excitação térmica (radiação solar) apresenta resolução visual melhor exatamente no período de aquecimento.

Fica evidenciado nas duas linhas de tempo que a melhor resolução ocorre, na superfície interna quando os valores da temperatura do ambiente aumentam e caem os valores da umidade relativa do ar, já na superfície externa a melhor resolução ocorre quando os valores da temperatura do ambiente diminuem e a umidade relativa do ar permanece constante em torno de 90%.

Posteriormente, foram comparados os dados obtidos pela temperatura dos sensores posicionados no banco, onde nota-se o equilíbrio entre as temperaturas no momento em que se aproxima as 24 horas de coleta de dados, significando o equilíbrio térmico entre os sensores (Figura 2).

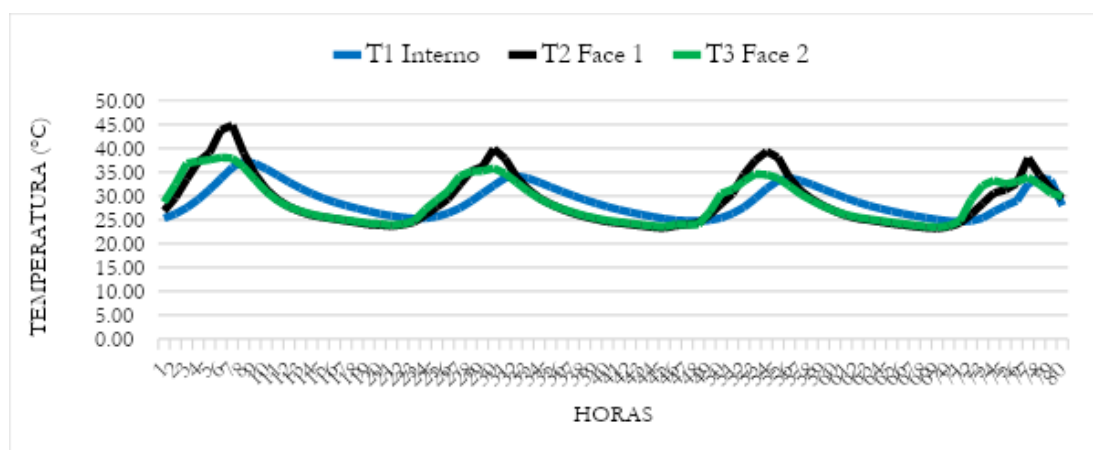


Figura 2. Temperatura dos sensores.

Conforme apresentado anteriormente, a Figura 3 demonstra o ponto de equilíbrio entre a temperatura ambiente e o sensor interno, mas demonstra também o atraso térmico devido a maior linearidade do sensor interno, o mesmo pode ser observado nas figuras 4 e 5 com menor linearidade, o que evidência um maior equilíbrio entre os sensores.

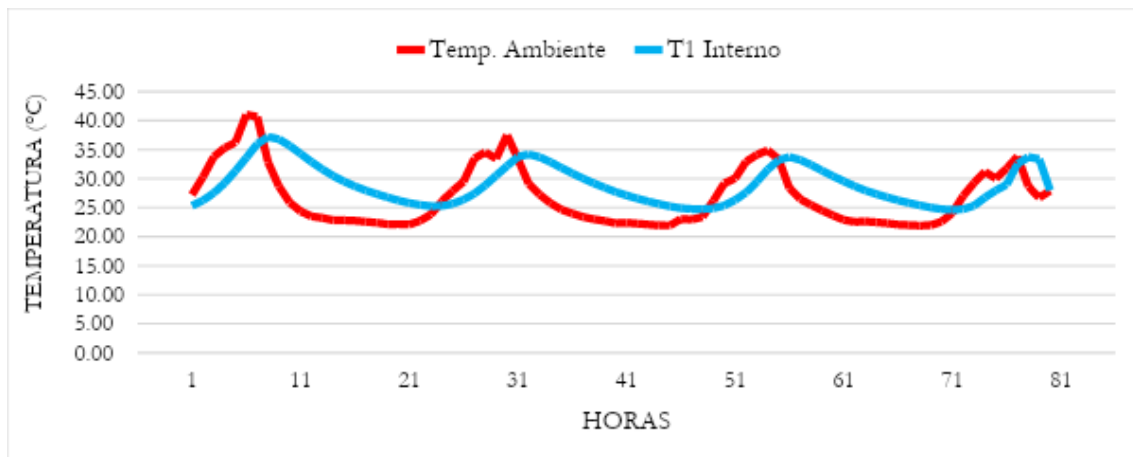


Figura 3. Temperatura ambiente x temperatura interna.

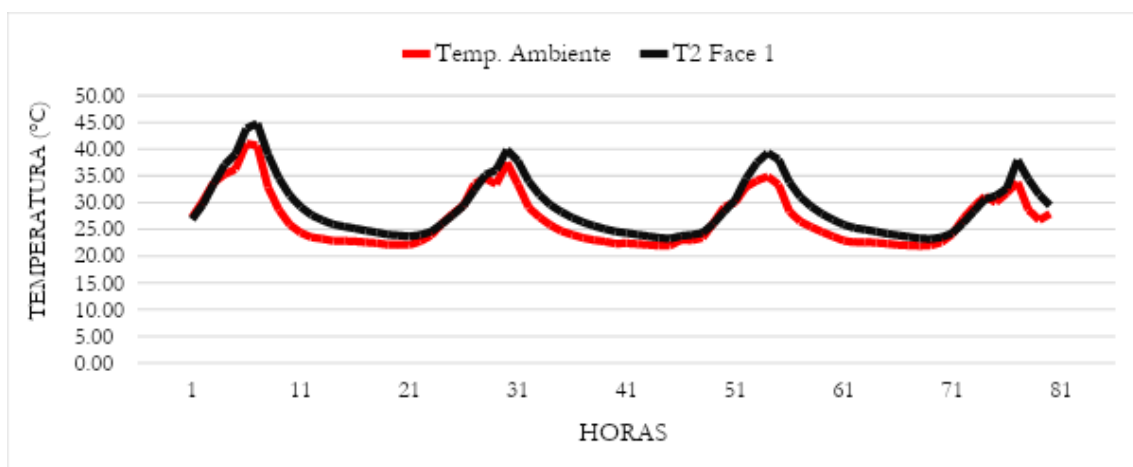


Figura 4. Temperatura ambiente x temperatura da face 1.

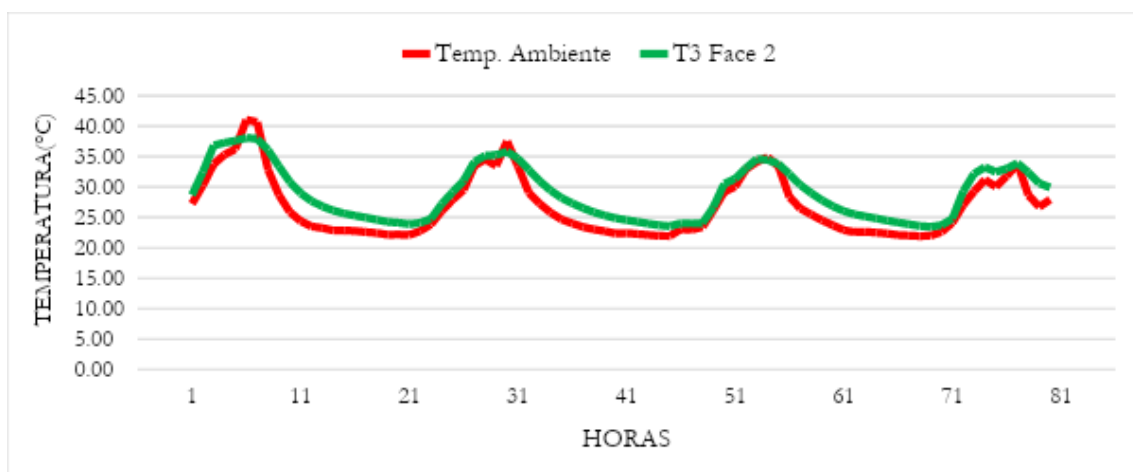


Figura 5. Temperatura ambiente x temperatura da face 2.

Na primeira análise, através das médias a cada 10 min das temperaturas dos ambientes exterior e interior, foram identificados os horários em que as condições meteorológicas se apresentaram mais desfavoráveis.

Observou-se a evolução da temperatura ambiente exterior e interior em relação à incidência de radiação solar; da evolução dos fluxos de calor nas superfícies exterior e interior do banco; e a evolução das temperaturas ambiente exterior e interior e as temperaturas superficiais exterior e interior a diferentes horas do dia.

Esta análise tinha como objetivo a compreensão a evolução da temperatura interior face as condições meteorológicas. Pela análise dos dados foi possível concluir-se que:

- No período noturno, a temperatura do ambiente interior foi reduzida. Ao longo da análise, verificaram-se temperaturas entre 21°C e 25°C, sendo que a temperatura de conforto de referência da regulamentação portuguesa em vigor (REH,2013) é de 18 °C, assim os valores registados revelaram-se bastante superiores;
- No período matutino, a temperatura do ambiente interior situou-se, em todos casos, acima da temperatura de referência de conforto regulamentada, que é de 25 °C, registrando valores superiores aos 30°C. Nesse período, em que as temperaturas do ambiente exterior estiveram entre os 35°C e o 40°C, a temperatura do ambiente interior registou um valor máximo de cerca de 38°C;
- A amplitude térmica diária da temperatura do ambiente exterior registrou sempre valores bastante elevados, chegando a atingir, no momento mais quente (13:30h) 43°C. Por sua vez, a amplitude térmica diária interior registrou sempre valores reduzidos, em média com 25°C, o que é explicado pela inércia térmica do banco;
- A grande espessura do banco e, conseqüente, elevada inércia térmica revelou-se bastante importante, especialmente no período matutino, quando a temperatura do ambiente exterior atingia valores bastante elevados. A elevada inércia térmica conduz a um desfasamento temporal na transferência de calor do ambiente exterior para o interior, originando temperaturas interiores aceitáveis para o período do Verão. Por outro lado, durante o período noturno, do ponto de vista dos ganhos solares através da envolvente opaca, esse atraso é uma desvantagem, pois o calor da energia solar não atinge o interior do banco e, portanto, não contribui para o aumento da temperatura interior. Contudo, verifica-se que a inércia térmica seria vantajosa na medida em que o calor produzido no interior demoraria mais tempo a sair;
- Na análise da evolução dos fluxos de calor na superfície exterior e interior do banco, a influência da inércia térmica é bastante notória, na medida em que os fluxos de calor registraram sentidos inversos durante o dia, o que indica uma absorção de calor por parte do banco durante o dia. Por outro lado, durante a noite, os fluxos apresentam, igualmente, sentidos inversos; no entanto, indicam que o banco está a libertar o calor absorvido, ao longo dia, para o ambiente exterior e interior;
- Por fim, ainda pela análise da evolução dos fluxos de calor, verificou-se que, no período de tempo onde se regista os valores mais elevados do fluxo de calor exterior, no sentido positivo (do exterior para o interior), o fluxo de calor interior regista o valor mais reduzido, no sentido negativo. Contudo, nesse mesmo período de tempo, o valor da temperatura ambiente interior regista o valor mais elevado. Assim, pode concluir-se que a transferência de calor do exterior para o interior do banco de Taipa de Pilão é efetuada, principalmente, através dos restantes elementos da envolvente.

O coeficiente de condutibilidade térmica é obtido diretamente através deste ensaio e permite avaliar a capacidade de transmissão de energia térmica de um material. Assim, quanto maior este coeficiente, pior o comportamento térmico do material.

Observando os resultados, pode-se concluir que exista um aumento ou um decréscimo do valor deste coeficiente com o decorrer do tempo, uma vez que existem materiais para as quais o valor aumenta e outras em que diminui – ou seja não existe um padrão nos resultados. No entanto, verifica-se que as camadas de materiais em que ocorreu a substituição de cal por areia a condutibilidade térmica aumentou com o tempo, apresentando elevado comportamento térmico.

Comparando com Bravo (2017), os seus resultados indicaram um aumento do coeficiente de condutibilidade térmica ao longo do tempo.

5. Considerações

O objeto de estudo neste trabalho possui comportamento térmico diferenciado quando submetidos a condições atmosféricas naturais como o calor durante o dia e a nebulosidade durante a noite. Isto é, em determinados períodos do ano os materiais podem se comportar de forma mais semelhante uns aos outros, e em outros períodos, seja pela influência da baixa umidade relativa do ar ou pelas temperaturas mais amenas, os mesmos se comportam de maneira diferenciada.

As variações nas temperaturas interna e externa do banco de taipa apresentadas através dos gráficos, conduzem a conclusões sobre a presença de materiais diferentes. Quando aplicado o modelo nestas regiões específicas, os parâmetros físicos dos agentes patológicos e o comportamento das temperaturas superficiais podem reproduzir a variação térmica do termograma. Permitem, assim, uma análise mais rigorosa sobre os fenômenos presentes. No decorrer da pesquisa verificou-se que as hipóteses e premissas estabelecidas inicialmente no trabalho foram constatadas.

A análise a partir dos sensores e do sistema de Arduino, apresentam um imenso espectro de aplicações, seja no campo do conhecimento científico, seja no campo da técnica de inspeção. Para ambos, as únicas verdades absolutas serão: a permeabilidade entre os dois campos e a interação nas ações no avanço do conhecimento.

De um modo geral, os objetivos inicialmente delineados foram concretizados. A componente de investigação teórica ajudou a compreender a evolução e o contexto socioeconômico da construção em terra, a justificar a utilização da terra na construção, em especial em países com climas quentes, e a conhecer, de forma mais aprofundada, a técnica construtiva da taipa de pilão.

6. Referências

- Allinson, D., & Hall, M. (2010). Hygrothermal analysis of a stabilized rammed earth test building in the UK. *Energy and Buildings*, 42(6), pp. 845-852.
- Brasil. Ministério da Agricultura (1972). Escritório de Pesquisas e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. I. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. II. Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro, p. 683.
- Coelho, Ana C. V. (2007). *As técnicas vernaculares de construção aliadas à inovação tecnológica: um possível caminho para a sustentabilidade?* (1a ed.). Lisboa, ISBN 978-972-8479-49-7.
- Colin, S. (S.d.) Técnicas construtivas do período colonial. Recuperado de: <http://implic.ning.com/group/historiacolonial/forum/topics/arquiteturacolonia?xg_source=activity>. Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006). Centro Nacional de Pesquisa de Solo (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, p. 306 .
- Font, J. (2006). *La arquitectura de tierra en el mundo clásico. Terra: Forma de construir. Arquitectura, Antropología, Arqueología*. Lisboa: Argumentum e Escola Superior Gallaccia, pp. 112-116.
- Gomes, M. I. (2017). Regulação da qualidade do ar interior através da utilização de argamassas eco-eficientes. *II Edição do Encontro Nacional IISBE Portugal — “Reabilitação Urbana e Construção Sustentável do edifício para a escala urbana”*. Lisboa.
- Hall, M., & Allinson, D. (2009). Assessing the effects of soil grading on the moisture content-dependent thermal conductivity of stabilized rammed earth materials. *Applied Thermal Engineering* 29(4), pp. 740-747.
- Meneses, T., Vicente, R., Costa, A., Figueiredo, A., Varum, H., & Soares, N. (2011). *Comportamento térmico de construções em alvenaria de adobe: ensaios experimentais sobre três células de teste à escala 1:4*, Construcción com tierra. Tecnologia y Arquitectura. Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos. Valladolid: Cátedra Joan de Villanueva. Universidad de Valladolid, pp. 151-164.
- Oliveira, M. M. de (2006). *Tecnologia da conservação e restauração: materiais e estruturas: um roteiro de estudos* (3a ed.). Salvador: EDUFBA.
- Pires, A. L. G. (2013). *Avaliação do comportamento higroscópico de argamassas de reboco*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal.
- Pisani, Maria A. J. (2007). *Taipas: A arquitetura de terra*. Lisboa, (Terra em seminário 2007), ISBN 978-972-8479-49-7, 1a ed..
- Santiago, Cybele C. (2001). *O solo como material de construção* (2a ed.). Salvador: EDUFBA, p. 72.
- Santos, T. A. (2014). *Argamassas de terra para rebocos interiores — Ensaios de caracterização e influência da formulação*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal.

Silva, A. (2008). *Aplicação de ferramentas de análise do ciclo de vida na sustentabilidade da construção: estudo de caso*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro. Aveiro, Portugal.

Soebarto, V. (2009). Analysis of indoor performance of houses using rammed earth walls. *Building Simulation, 11th International IBPSA Conference*, Glasgow, Scotland.

Taylor, P., & Luther, M. B. (2004). Evaluating rammed earth walls: a case study. *Solar Energy* 76(13), pp. 79-84.

Guillaud, H. (1993). *Construir em terra crua: técnicas antigas e modernas*. Arquitecturas de Terra, ou o Futuro de uma Tradição Milenar. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, pp. 33-48.

Vosgueritchian, A. B. (2006). *A abordagem dos sistemas de avaliação de sustentabilidade da arquitetura nos quesitos ambientais de energia, materiais e água, e suas associações às inovações tecnológicas*. Dissertação de Mestrado, Tecnologia da Arquitetura. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil.