



AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO EM ANTIGA CASA DE FAZENDA NO CLIMA QUENTE E SECO, NO INTERIOR DO RIO GRANDE DO NORTE

José Clewton do Nascimento (1); Ariane Magda Borges (2); Clara Ovídio de Medeiros Rodrigues (3); Aldomar Pedrini (4);

(1) Professor do Departamento de Arquitetura, Dr., jclewton@hotmail.com

(2) Arquiteta e Urbanista, Mestranda do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, arq.arianeborges@gmail.com

(3) Arquiteta e Urbanista, Mestranda do Programa de Pós-graduação em Arquitetura, claraovidio@gmail.com

(4) Professor do Departamento de Arquitetura, Ph.D., apedrini@ufrnet.br

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Arquitetura, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, Natal - RN, 59072-970, Tel.: (84) 3215-3722

RESUMO

O artigo apresenta uma análise do desempenho térmico de uma antiga casa de fazenda em região de clima quente e seco no interior do Rio Grande do Norte, na região do Seridó. A casa é uma das poucas que conservam integralmente as características vernaculares que a torna conhecida por proporcionar conforto térmico. O procedimento de pesquisa consistiu no monitoramento das temperaturas do ar externo e interno (dos principais ambientes) e das temperaturas superficiais internas (paredes, piso e teto) ao longo de aproximadamente um dia representativo de uma antiga casa de fazenda. As variáveis escolhidas para análise se baseiam no modelo de conforto térmico adaptativo. A antiga casa de fazenda analisada apresentou um comportamento que surpreendeu pela falta de atraso térmico ao considerar somente as diferenças entre as temperaturas do ar interno e externo. Há altas taxas de infiltração de ar que entra pelas largas frestas das esquadrias e que saem pelas frestas das telhas das cobertas, produzindo um movimento do ar facilmente perceptível no interior da edificação, tal qual uma brisa leve ascendente que contribui para o conforto térmico. A pesquisa está em fase de desenvolvimento e novas medições serão realizadas por um maior período de tempo, empregando medição de temperatura de globo e monitoramento automático.

Palavras-chave: simulação computacional, calibração, desempenho térmico.

ABSTRACT

The article presents a thermal performance analyses of the old farmhouse in the hot dry climate countryside of Rio Grande do Norte, Seridó Region. The house is one of the few pieces that retain full vernacular characteristics, better known for providing thermal comfort to the users. The research procedure consisted in monitoring its outside and inside air temperatures (mains environments) and internal surface temperatures (walls, floor and ceiling) lasting about one representative day. The variables chosen to be analyzed were based on the adaptive model of thermal comfort. The old farmhouse analyzed showed a surprising behavior for its lack of thermal lag considering only the differences between the inside and outside air temperatures. There are high rates of air coming into through cracks in the building envelope and coming out through covers tiles crack's, producing an easily perceptible air movement inside the building, such as a gentle breeze that contributes to rising its thermal comfort. The study is under development stage and new measurements will be held for a longer period of time, using globe temperature and automatic monitoring.

Keywords: computer simulation, calibration, thermal performance.

1 INTRODUÇÃO

As antigas casas de fazenda do interior do Nordeste, como as do Rio Grande do Norte, são conhecidas por serem confortáveis termicamente mesmo durante os dias, sempre quentes na região Seridó. Essas casas foram edificadas com técnicas vernaculares, que consideram o clima, os sistemas construtivos e expressões culturais locais. Tais características se traduzem no uso de paredes grossas em tijolo maciço, assim como telhas cerâmicas espessas, com base na tecnologia de terra, que apresentam alta inércia térmica; pé-direito elevado e paredes internas que não atingem o teto, aumentando a permeabilidade interna; varandas ao redor da edificação, que a protege do Sol e acolhe o visitante, dentre outros aspectos. A importância dessas habitações motivou a criação de um projeto de pesquisa multidisciplinar, com recursos recentemente aprovados pela Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte (FAPERN). Os primeiros resultados da pesquisa são apresentados neste artigo, que discute o desempenho e compara com os princípios bioclimáticos comumente indicados para a zona bioclimática 7.

O desempenho térmico de habitações na zona bioclimática 7 é frequentemente explicado pela inércia térmica do sistema construtivo, que cria um clima interno diferente do externo e com picos de temperatura defasados entre o interior e exterior (Figura 1), a exemplo da arquitetura de clima desértico. De fato, a NBR 15.220 (ABNT, 2005) enfatiza atrasos térmicos superiores a 6,5 horas para parede e cobertura de habitações unifamiliares de interesse social, além de pequenas aberturas. O comportamento esperado de uma habitação com massa térmica prevê que o fluxo de calor de fora para dentro, que ocorre durante o dia, gradativamente aumenta a temperatura da parede. O fluxo atinge o interior depois de várias horas, porém com pouca intensidade. Ao anoitecer, o fluxo de calor inverte de direção e a parede passa a perder calor para o exterior. O atraso térmico pode proporcionar a redução do calor que atinge os ambientes internos (redução de cargas térmicas) e atrasar os picos de temperatura. Ou seja, enquanto no exterior o pico de temperatura ocorre no início da tarde, o pico no interior da edificação pode ocorrer no início da noite. Embora não seja vantajoso ter uma casa desconfortável no início da noite, quando todos estão presentes, é possível conciliar a estratégia de inércia térmica e ventilação noturna desde que a temperatura externa esteja mais baixa que o interior, típico em clima quente e seco e climas desérticos.

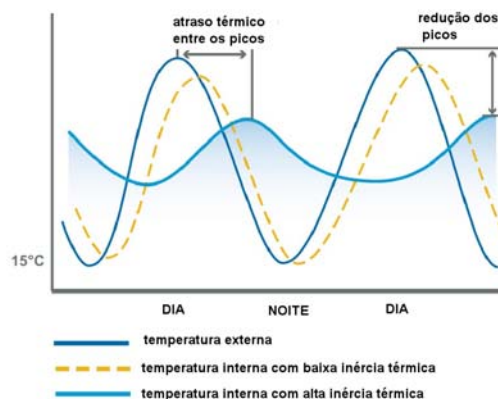


Figura 1. Ilustração do atraso térmico entre edificações com baixa e alta inércia térmica.

Fonte: adaptado de 3E et al., (2009)

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é analisar o desempenho térmico de uma antiga casa de fazenda em clima quente e seco no interior do Rio Grande do Norte, por meio de monitoramento de temperatura de bulbo seco e temperaturas superficiais, e avaliar o impacto das estratégias bioclimáticas presentes.

3 MÉTODO

O procedimento de pesquisa consistiu no monitoramento das temperaturas do ar externo e interno (dos principais ambientes) e das temperaturas superficiais internas (paredes, piso e teto) ao longo de aproximadamente um dia representativo de uma antiga casa de fazenda. As variáveis escolhidas para análise se baseiam no modelo de conforto térmico adaptativo. O método escolhido de monitoramento foi definido com base nos equipamentos disponíveis no Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). A escolha da edificação se fez pela disponibilidade de ocupação durante o período de monitoramento e pela preservação das características arquitetônicas.

3.1 Região de análise

A casa analisada está na cidade de Acari, inserida na região Seridó, definida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) como região interestadual do sertão nordestino, que agrega 28 municípios potiguares e 26 paraibanos. O clima é caracterizado como quente e seco e corresponde à zona bioclimática 7. As análises do clima para identificação da representatividade do dia de análise e faixa de temperatura operativa de conforto empregou um arquivo climático que corresponde ao ano de 2003, obtido da estação solarimétrica do INPE-CRN, da cidade de Caicó. A estação se encontra na mesma região e mesmo clima de Acari, a 50 km de distância, e suas latitudes diferem de apenas 0°4'. Dentre os anos disponíveis para a análise, o ano de 2003 foi escolhido porque era o mais completo. Os demais anos disponíveis apresentam interrupções nas medições.

3.2 Determinação de conforto térmico

A faixa de conforto térmico emprega o método adaptativo (SPAGNOLO e DE DEAR, 2003), que avalia a influência do movimento do ar sobre a elevação do limite da temperatura de desconforto ao calor emprega a Standard 55-2004 (ASHRAE, 2004b), adotados por Negreiros (2010). A faixa de conforto térmico relaciona a temperatura média do ar externo com um intervalo de temperatura operativa interna (equação 1). A faixa limite de conforto para 90% de pessoas satisfeitas é de $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ na temperatura de conforto. A influência do efeito do movimento do ar emprega o modelo da ASHRAE Standard 55-2004 (OLESEN, 2000), cuja equação 2 foi obtida do gráfico da Figura 2, adaptado da ASHRAE Standard 55-2004 (2004a), utilizando o programa DataFit version 9.0.59 (OAKDALE ENGINEERING, 2009). Este modelo é aplicado para condições com roupas leves entre 0,5 e 0,7 clo e taxa de metabolismo entre 1,0 e 1,3 met e situações em que os ocupantes têm controle individual do movimento do ar. A velocidade do ar foi limitada em 0,8m/s devido aos efeitos provocados por velocidades mais elevadas.

$$T_c = 0,31T_e + 17,8 \quad \text{equação 1}$$

Onde:

T_e é a temperatura média mensal, em $^{\circ}\text{C}$

T_c é temperatura de conforto, em $^{\circ}\text{C}$

dT é o aumento de temperatura por uso da velocidade do ar, em $^{\circ}\text{C}$

$$dT = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_1^2 + e \cdot x_2^2 + f \cdot x_1 \cdot x_2 + g \cdot x_1^3 + h \cdot x_2^3 + i \cdot x_1 \cdot x_2^2 + j \cdot x_1^2 \cdot x_2, \quad \text{equação 2}$$

Onde:

V é a velocidade do ar, em m/s

x_1 representa a diferença entre temperatura radiante e do ar, em $^{\circ}\text{C}$

x_2 representa a velocidade do ar, em m/s e as constantes são:

$a = -8,95E-03$	$f = 0,14$
$b = 9,03E-03$	$g = -1,33E-04$
$c = 1,67$	$h = -3,58$
$d = -2,18E-04$	$i = -1,61E-02$
$e = 4,86$	$j = 2,48E-03$

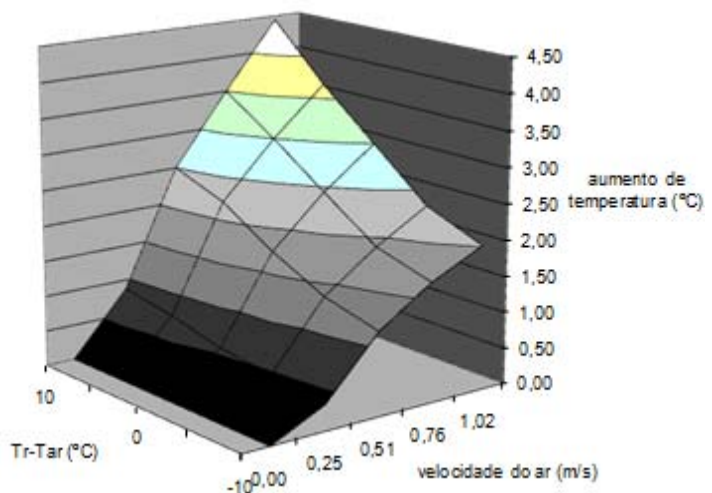


Figura 2. Relações entre velocidade de ar, diferença entre temperatura radiante e temperatura do ar, e efeito equivalente à redução da temperatura do ar.

Fonte: adaptado de ASHRAE Standard 55-2004 (OLESEN, 2000)

Conforme gráfico da Figura 3, o clima de Caicó apresenta temperaturas máximas diárias do ar inferiores a 40°C. As temperaturas máximas são inferiores a de muitas cidades do litoral do Brasil, inclusive da região Sul. A faixa de conforto térmico varia, para os meses de janeiro e fevereiro, entre 22,6°C (limite de desconforto ao frio) e 29,6°C (limite de desconforto ao calor), sendo que o movimento de ar pode levar o limite de desconforto ao calor para 32,3°C. Há 40% de horas de desconforto ao calor durante o ano, sendo que cai para 25% se houver movimento de ar de até 0,80 m/s (equivalente a uma brisa). As amplitudes térmicas diárias da cidade de Caicó variam até 14°C, sendo a média de aproximadamente 11°C, a temperatura média é 28°C, a mínima é 19,6°C e a máxima é 38,5°C.

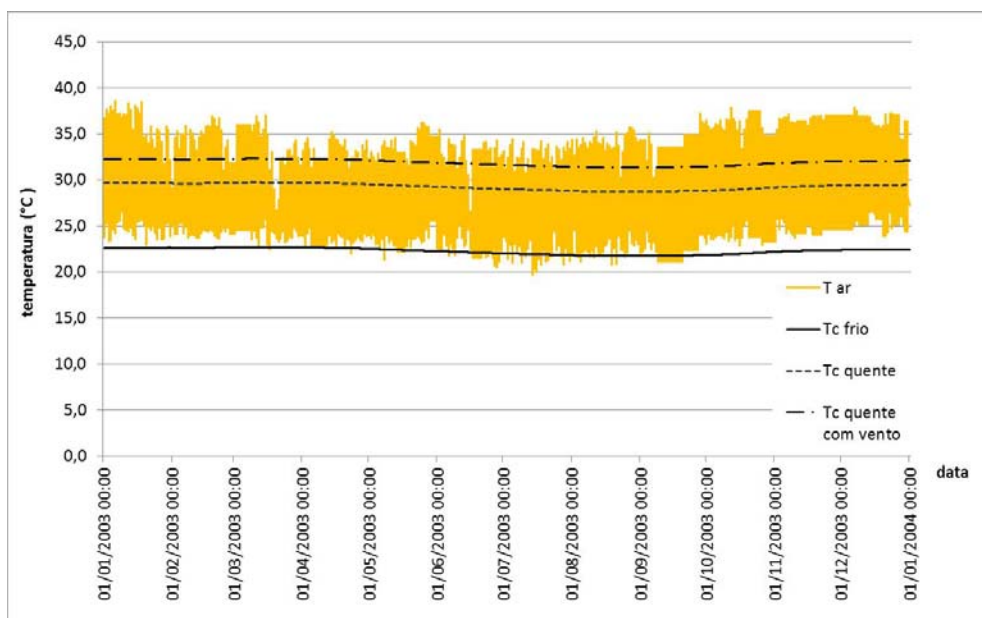


Figura 3. Temperaturas de bulbo seco horária para Caicó, 2003, e limites de conforto térmico.

Fonte: adaptado de arquivo climático cedido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro Regional do Nordeste.

3.3 Monitoramento

O monitoramento de temperatura de bulbo seco dos ambientes foi realizado por meio de sensores/armazenadores da marca Hobo, cuja aferição ficou inferior à incerteza de medição nominal de $\pm 0,5^\circ\text{C}$. As temperaturas superficiais foram medidas manualmente por meio de um termômetro infravermelho ou pirômetro óptico, cujas médias foram usadas para determinar a temperatura radiante média. Tentativas prévias com termômetro de globo com sensores/armazenadores de dados demonstraram que sua inércia é muito alta e por isso foi descartado.

Não houve o monitoramento da renovação de ar na habitação por dois motivos principais. O primeiro é o grande número de frestas espalhadas pela envoltória que inviabiliza o uso de anemômetros. O segundo motivo é o grande número de renovações de ar associado à impossibilidade de controle das infiltrações, que inviabiliza a medição de concentração de monóxido de carbono e seu decaimento a partir da geração controlada.

3.4 Características dos ambientes analisados

A casa está localizada na Fazenda Pitombeiras, no município de Acari. Sua construção é do final do século XIX e, apesar de terem ocorrido transformações em seu espaço construído, ainda se pode identificar suas características construtivas originais. Sua preservação é acreditada aos esforços do proprietário Marcus Nepomuceno que a recuperou com espólios de outras duas casas de fazenda da região.

Analisando a casa de morada no Seridó, Macedo (2007) estabelece uma relação entre a morada em si e o modo de vida do seridoense, identificando, principalmente, a relação entre a disposição espacial do edifício e o caráter patriarcal da sociedade sertaneja. Segundo a análise do autor, o tamanho das fazendas variava de acordo com prole e posses. Essa morada recebe filhos casados, agregados e escravos, sob o mesmo teto. Para exemplificar espacialmente a análise empreendida, Macedo (2007) utiliza-se da imagem da

casa sertaneja montada por Medeiros Filho (1983), referente à planta baixa da fazenda Antônio Dantas, distribuída em seis ambientes.

A casa é definida a partir dos quartos e a sala da frente, que é de domínio exclusivo da família (Figura 4 e Figura 5). Em torno desses ambientes, a casa vai se desenvolvendo em um “movimento centrífugo da expansão”: os cômodos adicionados especializam-se nas atividades da fazenda (da estocagem ao fabrico). Na residência objeto de estudo neste trabalho, os ambientes analisados são o mezanino, a sala, o corredor, a copa e a sala Oeste.

O mezanino/sótão é o ambiente mais exposto à radiação solar, pois suas paredes não apresentam proteção solar e estão voltadas para Leste e Oeste (Figura 4, Figura 5 e Figura 6). Os ambientes da copa e corredor (Figura 7 e Figura 8) são voltados para o Leste e estão protegidas por uma varanda (Figura 11). As salas (Figura 9 e Figura 10) estão expostas à radiação solar do final da tarde, pois suas paredes voltadas para o Oeste não apresentam proteção solar (Figura 12). A sala Oeste apresenta apenas uma parede externa, enquanto que a sala principal apresenta três paredes externas, sendo duas sombreadas parcialmente por varandas.

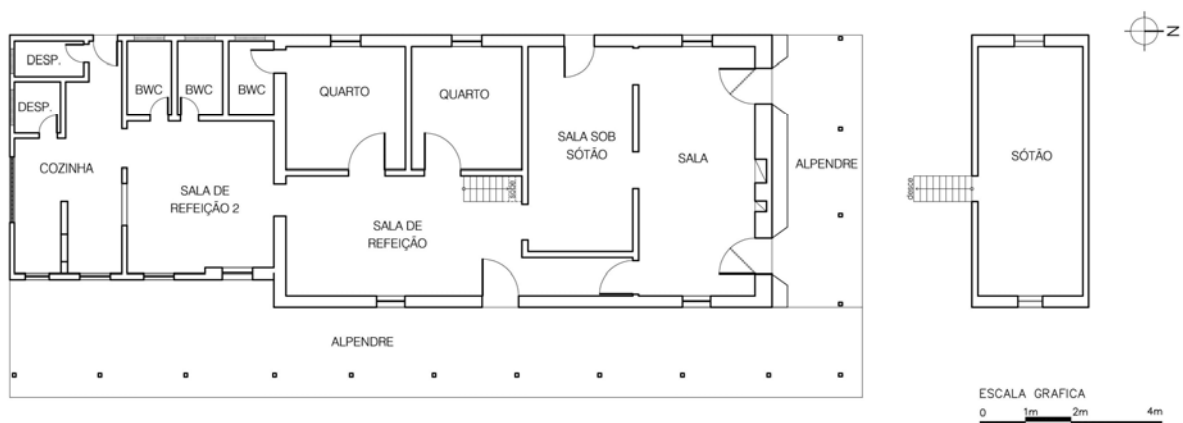


Figura 4. Planta baixa da casa monitorada.

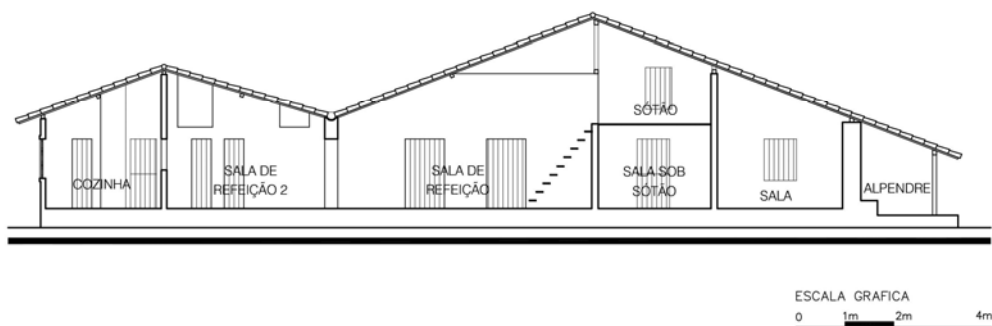


Figura 5. Corte da casa monitorada.



Figura 6. Mezanino.



Figura 7. Copa



Figura 8. Corredor.



Figura 9. Sala



Figura 10. Sala Oeste.



Figura 11. Fachada Leste da casa principal.



Figura 12. Fachada Oeste da casa principal.

As características das paredes externas, que variam em torno de 0,40m de espessura, resultam em transmitâncias térmicas de 1,35 a 1,82 W/m²K, capacidade térmica entre 358 e 800 kJ/(m².K) e atraso térmico entre 22,8 e 29,0 horas. A cobertura resulta em transmitâncias térmicas de aproximadamente 4,2 W/m²K, capacidade térmica entre 18 e 40 kJ/(m².K) e atraso térmico entre 3,5 e 4,0 horas.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados são organizados em análise do clima, das temperaturas do ar e das temperaturas das superfícies, e identificação de conforto térmico.

4.1 Comparação entre as temperaturas do ar dos ambientes

O gráfico da Figura 13 demonstra que o período monitorado é representativo ao comparar com as ocorrências de temperaturas do gráfico da figura 15. Os picos de temperaturas internas e externas ocorrem com pouca defasagem, indicando que não há atraso térmico significativo, ao contrário do esperado de edificações do clima quente e seco. As temperaturas dos ambientes internos da residência são muito próximas. Durante a noite, a temperatura externa é aproximadamente 1,5°C mais baixa que as internas, sendo que nas horas mais quentes do dia é aproximadamente 2,0°C mais alta, com exceção da temperatura do mezanino.

As diferenças entre os ambientes no térreo variam pouco entre si, inferior a 1,2°C na maior parte do tempo. O mezanino é que apresenta as maiores temperaturas, sendo até 3,7°C maior que dos demais ambientes. Durante o dia, ele acompanha a temperatura do ar externo e durante a noite acompanha as temperaturas internas. Como o mezanino está na parte mais alta da casa e conectado com os demais ambientes, a tendência é que apresente a maior temperatura. A partir das 10:00 horas o corredor aumenta sua temperatura em até 2,0°C, mas com diferenças de até 1°C em relação à temperatura do ar externo.

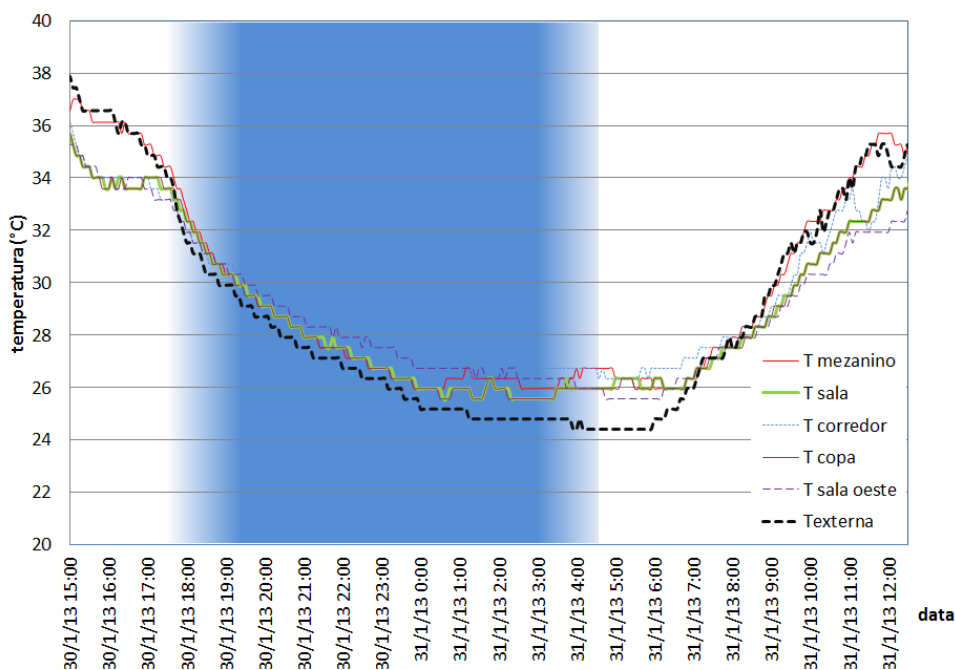


Figura 13. Temperaturas do ar dos ambientes na Fazenda Pitombeira.

A semelhança entre as temperaturas internas e externas, confirmadas pela brisa no interior da casa, indica que há ventilação natural causada por uma alta taxa de infiltração. Ou seja, ao contrário do recomendado para habitações em clima quente e seco, a ventilação natural ocorre de forma eficaz, removendo o ar quente do interior, que forma um gradiente de temperatura no sentido vertical.

4.2 Comparação das temperaturas superficiais

O gráfico da Figura 14 demonstra que a principal fonte de calor é a telha exposta ao Sol, durante o dia, que motiva um gradiente de temperatura no interior da habitação e favorece a ocorrência de ventilação natural causada por efeito chaminé. Da mesma forma, a telha é o principal sumidouro de calor durante a noite.

As temperaturas internas das paredes internas e externas são similares, que demonstram o efeito do atraso térmico. Inclusive, as diferenças entre as temperaturas superficiais internas e externas das paredes externas atingem até 5°C. As superfícies externas apresentam maior variação e maiores temperaturas, enquanto as internas tendem a apresentar uma pequena variação. A solução da cobertura do “núcleo de proteção” apresenta coerência com a conformação da casa como abrigo também ao clima.

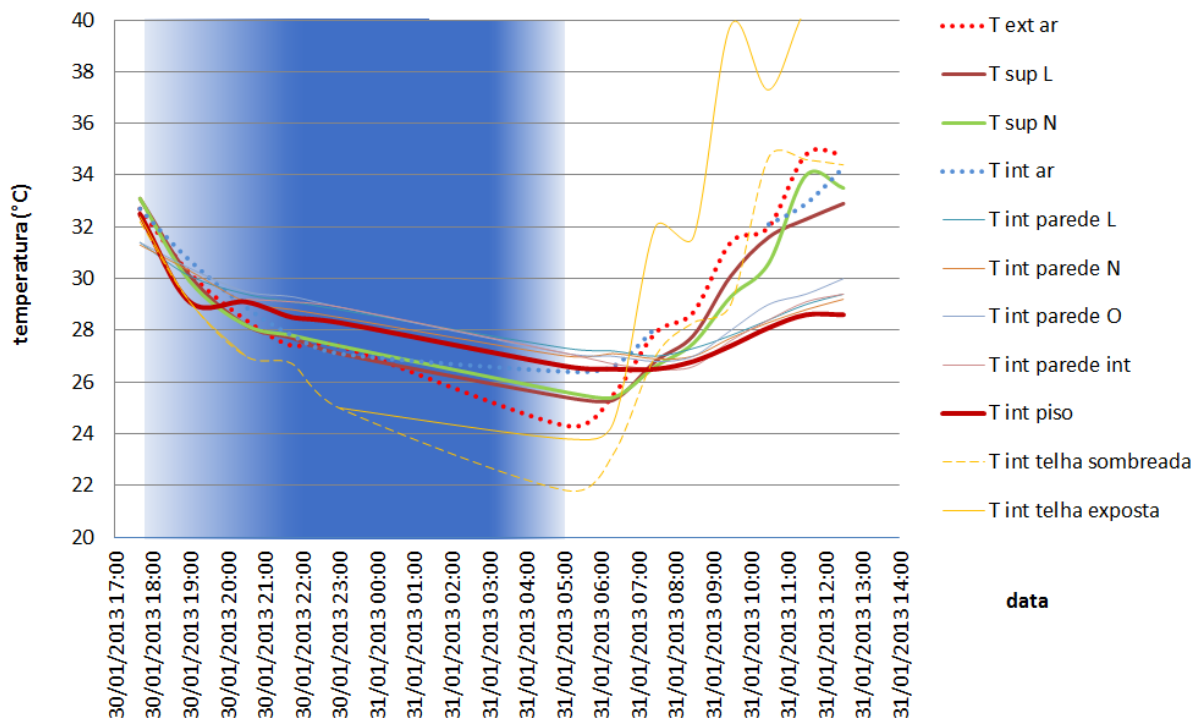


Figura 14. Temperaturas das superfícies dos ambientes na Fazenda Pitombeira.

A principal fonte de calor - e única durante o dia - da envoltória é o telhado, cuja influência é mitigada pela altura do pé-direito, espessura da telha (Figura 15) e permeabilidade ao vento do conjunto de telhas (Figura 16).



Figura 15. Telha da casa de fazenda com espessura muito maior do que o fragmento de telha utilizada atualmente



Figura 16 - Conjunto de telhas permeável ao vento

4.3 Determinação de ocorrência de conforto térmico

A ocorrência de conforto térmico pode ser observada pelas temperaturas limites de desconforto ao calor (linha tracejada) e desconforto ao calor com movimento de ar (linha pontilhada) na Figura 17. As curvas de temperaturas do ar externo e interno são muito próximas, sendo que a temperatura média das superfícies internas se mantém inferior às da temperatura do ar durante o dia e superior durante a noite. Ao adotar a temperatura operativa como variável de conforto térmico, observa-se que há conforto durante o período da manhã e desconforto ao calor durante à tarde.

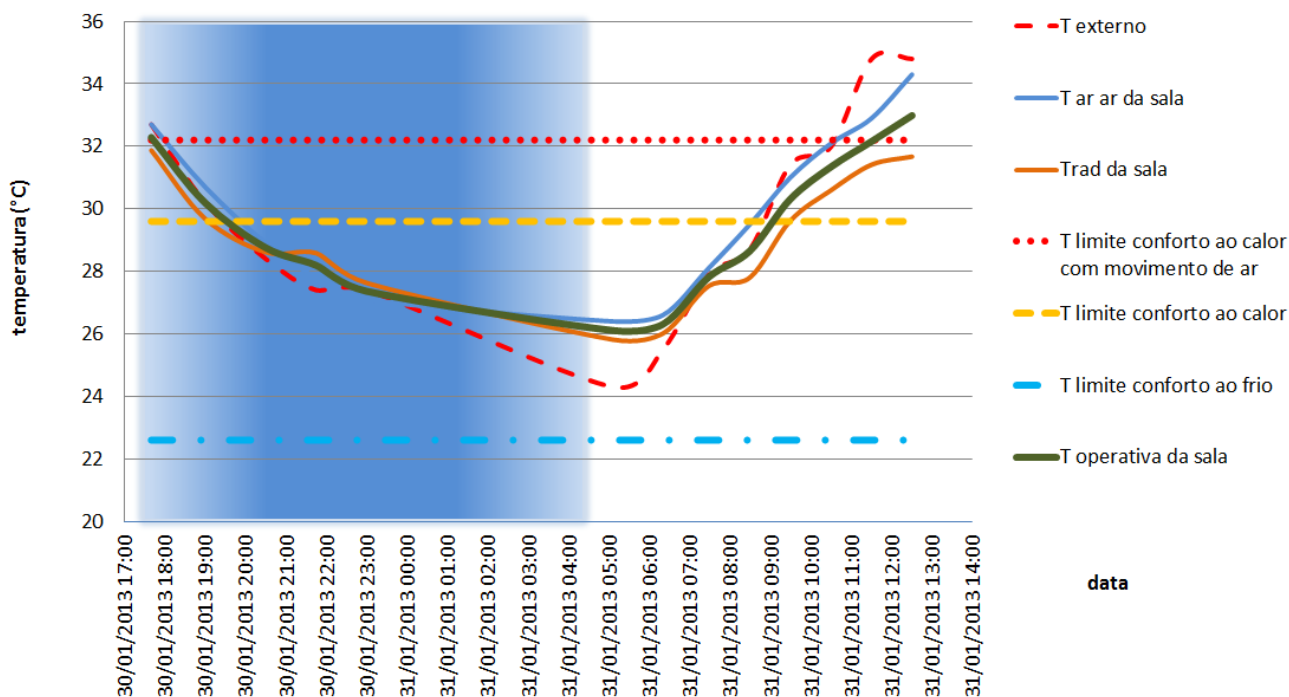


Figura 17. Gráfico de evolução de temperaturas e limites de desconforto térmico.

5. CONCLUSÕES

O principal aspecto observado nessa pesquisa é o uso simultâneo de estratégias bioclimáticas distintas: ventilação natural e inércia térmica. A primeira remove o ar quente do interior do ambiente e das telhas, causando o movimento de ar no nível dos ocupantes, resfriando-os. Ou seja, é diferente do que se faz em climas desérticos em que a temperatura do ar externo é inadequada para uso de ventilação natural. A inércia térmica reduz as temperaturas superficiais internas e remove calor dos ocupantes por meio da radiação térmica. O atraso térmico somente é percebido ao avaliar as diferenças entre as temperaturas das superfícies internas e as externas, que influenciam na determinação das temperaturas operativas.

A antiga casa de fazenda analisada apresentou um comportamento que surpreendeu pela falta de atraso térmico ao considerar somente as diferenças entre as temperaturas do ar interno e externo.

Estima-se altas taxas de infiltração de ar que entra pelas largas frestas das esquadrias e que saem pelas frestas das telhas das cobertas, produzindo um movimento do ar facilmente perceptível no interior da edificação, tal qual uma brisa leve ascendente que contribui para o conforto térmico.

A pesquisa está em fase de desenvolvimento e novas medições serão realizadas por um maior período de tempo, empregando medição de temperatura de globo de baixa inércia térmica e monitoramento automático.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3E; EREC; GRECT; AEE; NKUA; ITW; NUID. Technical guidelines for building designers. Europa: New4old: 177 p. 2009.
- ABNT. Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social - NBR 15220-3. . RIO DE JANEIRO: ABNT. NBR15220-3: 30 p. 2005.
- ASHRAE. ASHRAE Standard 90.2-2004 – Energy Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings. SI. Atlanta, Ga.: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004a. 45.
- _____. Standard 55-2004 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy SI. Atlanta, Ga.: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004b. 35 ISBN 1041-2336.
- MACEDO, M. K. D. Rústicos Cabedais: patrimônio e cotidiano familiar nos sertões do Seridó. 2007. (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Ciências Sociais, UFRN.
- MEDEIROS FILHO, O. Velhos inventários do Seridó. Brasília: Centro Gráfico do Senado Federal 1983.
- NEGREIROS, B. D. A. Análise de métodos de predição de desempenho térmico de habitação em clima quente-úmido com condicionamento passivo. 2010. (mestrado). Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- OAKDALE ENGINEERING. DataFit Oakdale 2009.
- OLESEN, B. W. Guidelines for comfort. Ashrae Journal, v. 42, n. 8, p. 41-46, AUG 2000. Disponível em: <<Go to ISI>://000088905000019 >.

SPAGNOLO, J.; DE DEAR, R. A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Building and Environment*, v. 38, n. 5, p. 721-738, MAY 2003. Disponível em: <<Go to ISI>://000181570400010 >.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERN e ELETROBRAS pelos recursos aplicados no financiamento do projeto, e ao proprietário da fazenda Pitombeiras, Marcus Nepomuceno, que acolheu, à maneira seridoense, os membros integrantes do grupo de pesquisa.