

CONFORTO TÉRMICO AMBIENTAL DE UM MODELO REDUZIDO EM MADEIRA LAMINADA COLADA CRUZADA (MLCC)

CARLOS AUGUSTO DE PAIVA SAMPAIO¹, RODRIGO FIGUEIREDO TEREZO²,
LEONARDO MOTTA DA COSTA SILVA³, ILSON VASSEM JÚNIOR³,
JOÃO LARYAN BORGES RIGHEZ³, GUILHERME MOTTA³

¹Professor, Doutor, Depto. Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina, CAV-UDESC, (0xx49)-3289.9125, carlos.sampaio@udesc.br. ²Professor, Doutor, Depto. Engenharia Florestal. CAV-UDESC, (0xx49)-3289.9111, rodrigo.terezo@udesc.br. ³Discentes. CAV-UDESC, leonardomottasilva@outlook.com; jrvassem@hotmail.com; joaolaryanbr@gmail.com; guilhermemottamm@gmail.com

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: Os desafios para utilização de sistema MLCC no mercado agrícola brasileiro são enormes. Neste trabalho, avaliou-se o desempenho térmico de uma cobertura de telhas de fibrocimento associado a estrutura de madeira laminada colada cruzada (MLCC) não convencional e em escala reduzida, comparando com as coberturas de telhas cerâmicas, de fibrocimento e de alumínio com base nos índices de conforto térmico, usando modelos reduzidos de instalações rurais convencionais, em condições de verão. Esta pesquisa foi conduzida na área experimental de Ambiência, localizada no Estado de Santa Catarina, Brasil (27°48'58" S e 50°19'34" W). O modelo não convencional em MLCC era formado por placas de fechamento laterais e de forro formando uma estrutura autoportante com poucas aberturas de entrada de ar. O modelo não convencional em MLCC apresentou redução para todos os índices de conforto térmico (ITGU - índice de temperatura de globo negro e umidade; CTR - carga térmica de radiação e entalpia específica) em comparação aos outros telhados. Apresentou uma temperatura média de globo negro (Tgn) de 32,9 °C, inferior aos outros telhados. Pode-se concluir que para conforto térmico, o telhado do melhor para o pior, é formado por telhas de fibrocimento associado à técnica de MLCC, telhas cerâmicas, fibrocimento e por telhas de alumínio, respectivamente. Os resultados deste estudo permitem um maior conhecimento sobre as oportunidades para utilização do sistema MLCC.

PALAVRAS-CHAVE: pré-fabricação em madeira, autoportante, fatores ambientais.

ENVIRONMENTAL THERMAL COMFORT OF A MODEL REDUCED IN CROSS LAMINATED TIMBER (CLT)

ABSTRACT: The challenges for the use of the CLT system in the Brazilian agricultural market are large. In this study evaluated the thermal performance of coverage of fiber cement tiles associated with Cross Laminated Timber (CLT) non-conventional structure in reduced scale, compared as the ceramic tiles, fiber cement tiles and aluminum roof tiles, based on thermal comfort indexes, using physical conventional models of reduced scale rural facilities, in conditions of summer season. It was conducted in Ambiente experimental area located in Santa Catarina State, Brazil (27°48'58"S and 50°19'34"W). The non-conventional CLT model consisted of closing walls and lining forming a self-supporting structure and with few air inlets. The CLT non-conventional model presented a reduction for all thermal comfort indexes (BGHI - black globe humidity, RHL - radiant heat load and specific enthalpy) compared to other conventional roofs. It also had average black globe temperature (Tbg) of 32.9 °C, being lower at all times registered compared to other roofs. It was concluded that the

roof for thermal comfort, from the best to the worst, is formed by fiber cement tiles associated with CLT structure, ceramic tiles, fiber cement tiles and aluminum tiles, respectively. The study results allow a better understanding of the opportunities for the use of CLT.

KEYWORDS: precasting in wood, self-supporting, environmental factors.

INTRODUÇÃO

A sensação térmica de frio ou calor depende das condições ambientais e das propriedades do material da edificação, incluindo suas temperaturas superficiais e da facilidade de trocas térmicas com o meio. O desconforto térmico produzido por telhas e paredes aquecidas quando expostos à radiação solar e de outras fontes do exterior, causam consequentemente, ambientes quentes internamente.

De acordo com ABREU et al. (2011), os menores valores de temperatura das superfícies das coberturas não significam, necessariamente, que tenha ocorrido uma situação de conforto térmico. Esta condição deve ser confirmada por meio da avaliação dos índices de conforto, por considerar o efeito da transferência de calor sensível e latente.

Dentre as avaliações de materiais de coberturas, convencionais e não convencionais, usando modelos reduzidos de instalações rurais podem ser citados os realizados por SILVA et al. (2015, a), SILVA et al. (2015, b), AKAMINE e PASSINI (2017), CASTRO et al. (2017), FARIAS et al. (2017), SOUZA et al. (2018).

Os índices: de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), usados por CASTRO et al. (2017); DALCIN et al. (2016); PÉREZ et al. (2015); MARCHEZAN et al. (2014); NETO & NÄÄS (2014); de carga térmica de radiação (CTR), usados por CASTRO et al. (2017); ROSSELLE et al. (2014); RICCI et al. (2013); MELO et al. (2013); PASSINI et al. (2013) bem como as variáveis entalpia do ar úmido (h) e a temperatura de globo negro (T_{gn}) são efetivamente aceitos em avaliações de materiais de construção e do ambiente gerado, na produção animal e vegetal.

Os materiais tradicionais de cobertura já são relativamente conhecidos seu comportamento nas construções e podem ser encontrados no comércio. No entanto, materiais novos e não-convencionais precisam ser avaliados quanto aos desempenhos térmico e estrutural e de custos.

A tecnologia construtiva denominada Cross Laminated Timber (CLT) ou Madeira Laminada Colada Cruzada (MLCC) começa a despertar interesse no Brasil, tanto por suas características de industrialização e de sustentabilidade, como pelo grande potencial madeireiro do país. Estudo de emprego desta tecnologia em edificações agrícolas é de bibliografia escassa.

Neste contexto, este trabalho objetivou avaliar o desempenho térmico de coberturas de telhas de fibrocimento associada a estrutura de CLT, de telhas cerâmica, de telhas de fibrocimento e de telhas de alumínio, em modelos reduzidos de instalações rurais, a partir dos índices de conforto térmico, em condições de temperaturas extremas, nas condições de verão.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi conduzida na área experimental de Ambiência, localizada no Estado de Santa Catarina, Brasil (27°48'58" S e 50°19'34" W), em condições de verão extremo. O clima regional é Cfb (temperado) de acordo com a classificação de KÖPPEN e GEIGER (1928). Normalmente, não apresenta estação de seca bem definida, sendo janeiro o

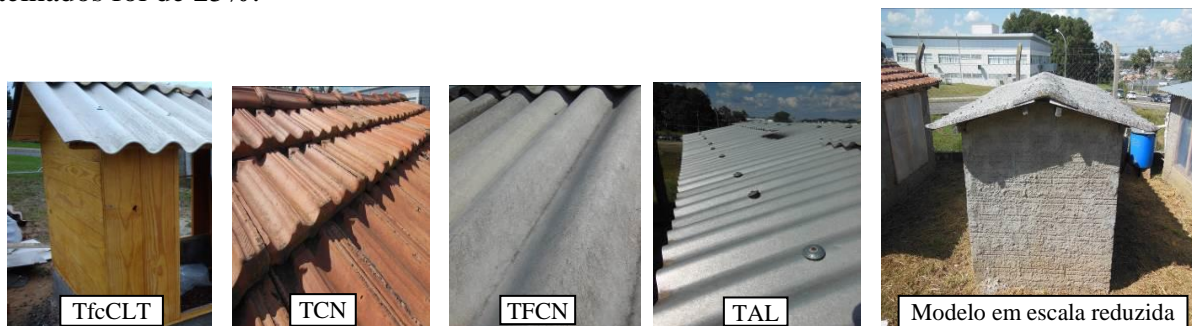
mês mais quente com temperatura média anual de 24 °C. Apresenta períodos chuvosos principalmente no verão e ventos moderados predominantes na direção nordeste.

Quatro modelos em escala distorcida foram construídos na direção Leste-Oeste, de acordo com a teoria de similitude (SAMPAIO et al., 2018; JENTZSCH et al., 2013), usando escala 1:10 nas dimensões horizontais e de 1: 2 nas dimensões verticais, com medidas internas de 3,00 m de comprimento, 1,40 m de largura e 1,50 m de altura até a linha da tesoura. As laterais voltadas para a direção Norte-Sul de todos os modelos foram fechadas com filme usada para estufa, na espessura de 100 µm.

Três modelos foram de tijolos furados e argamassados, com estrutura do telhado em madeira e um quarto modelo foi construído em tecnologia CLT. O CLT foi formado por 3 tábuas de espessura de 2,0 cm cada, cruzadas e coladas com poliuretano reativo, serradas no tamanho desejado, formando uma estrutura autoportante de 6,0 cm de espessura.

Os modelos foram afastados entre si para evitar sombreamento. Seu entorno era formado por grama rala e cascalho. As possíveis aberturas, principalmente no telhado, foram fechadas com espuma de poliuretano, para evitar ao máximo, trocas térmicas pelo vento.

Os telhados avaliados foram os seguintes: TfcCLT - telhas de fibrocimento corrugadas limpas (5,0 mm de espessura, $k \cong 0,65$ W/m.K; $\varepsilon = 0,95$) montadas sobre forro estrutural de CLT (6,0 cm de espessura, $k \cong 0,13$ W/m.K; $\varepsilon \cong 0,80$). TCN - telhas cerâmica tipo francesas limpas ($k \cong 0,93$ W/m.K; $\varepsilon = 0,95$). TFCN - telhas de fibrocimento corrugadas limpas (5,0 mm de espessura, $k \cong 0,65$ W/m.K; $\varepsilon = 0,95$). TAL - telhas corrugadas de alumínio limpas (0,50 mm de espessura, $k \cong 205$ W/m.K; $\varepsilon = 0,04$), como mostra a Figura 1. k , ε representam a condutibilidade térmica e a emissividade, respectivamente. A inclinação média de todos os telhados foi de 25%.



(TfcCLT) - telhas de fibrocimento corrugadas limpas montadas sobre forro de CLT formando uma estrutura autoportante. (TCN) - telhas cerâmica limpas. (TFCN) - telhas de fibrocimento limpas. (TAL) - telhas de alumínio limpas.

Figura 1. Vista externa dos telhados e do modelo em escala reduzida de instalações rurais.

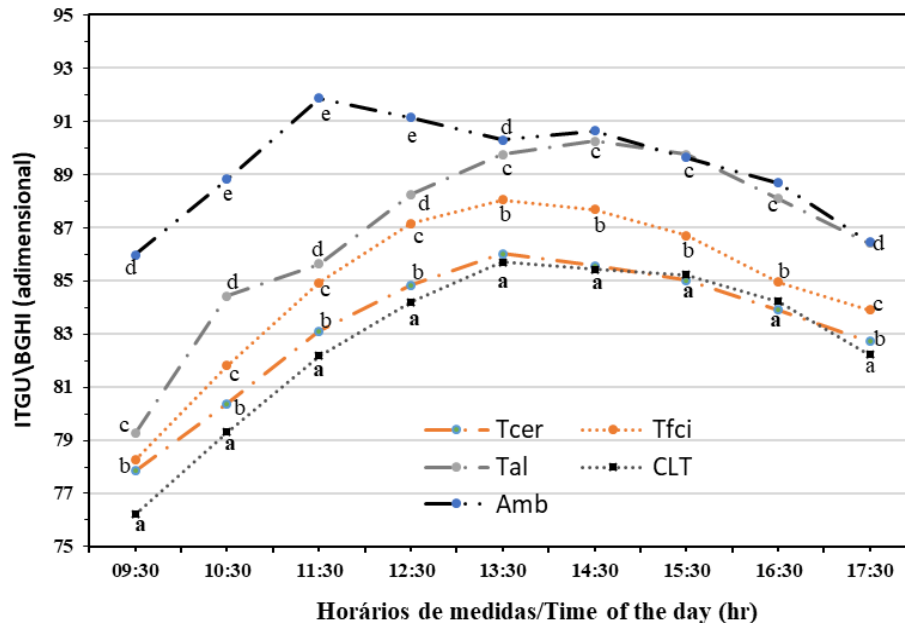
As velocidades do ar no exterior aos modelos foram obtidas pelo termo-anemômetro digital portátil de hélice (Itan - 720), que apresenta uma escala de velocidade do ar entre 0,4 e 45,0 $m.s^{-1}$; precisão de $\pm 3\%$ de leitura + 0,2 $m.s^{-1}$ e resolução de 0,1 $m.s^{-1}$. A variação da temperatura e da umidade do ar e de globo negro no interior dos modelos e no exterior foram obtidas com o termômetro de globo negro digital (Instrutemp® ITWTG 2000). O globo deste instrumento era formado por esfera de latão oco com 75,0 mm de diâmetro. O psicrômetro giratório foi usado para a medida de temperatura de bulbo úmido (Tbu). Os instrumentos foram colocados no centro dos modelos a 0,75 m de altura do piso, bem como no ambiente externo.

As medidas foram realizadas a intervalos horários, entre 9:30 e 17:30 h, em 15 dias típicos de verão, nos meses de janeiro (10 dias) e fevereiro (5 dias), optando por dias que apresentaram maiores entalpias específicas. O delineamento foi em blocos casualizados (horas diárias), os dias como repetição e 4 tratamentos (tipo de telhado), sendo o ambiente externo não sombreado como controle, para a comparação dos índices de conforto térmico (ITGU,

CTR, h, Tgn). Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste “F” e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra o desenvolvimento de ITGU para os horários de medidas.



(TfcCLT) - telhas de fibrocimento corrugadas limpas montadas sobre forro de CLT formando uma estrutura autoportante. (TCN) - telhas cerâmica limpas. (TFCN) - telhas de fibrocimento limpas. (TAL) - telhas de alumínio limpas. Letras iguais no mesmo horário não diferem pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 2. Valores médios de ITGU, de acordo com os horários de medidas.

Os valores médios de ITGU foram de 82,74; 83,26; 84,82 e de 86,86 para os tratamentos TfcCLT, TCN, TFCN e TAL, respectivamente. Os telhados com forro CLT e de cerâmica foram estatisticamente iguais entre 13:30 h e 16:30 h, entretanto, o tratamento TfcCLT foi superior termicamente. A telha de alumínio apresentou comportamento inferior ao da telha de fibrocimento.

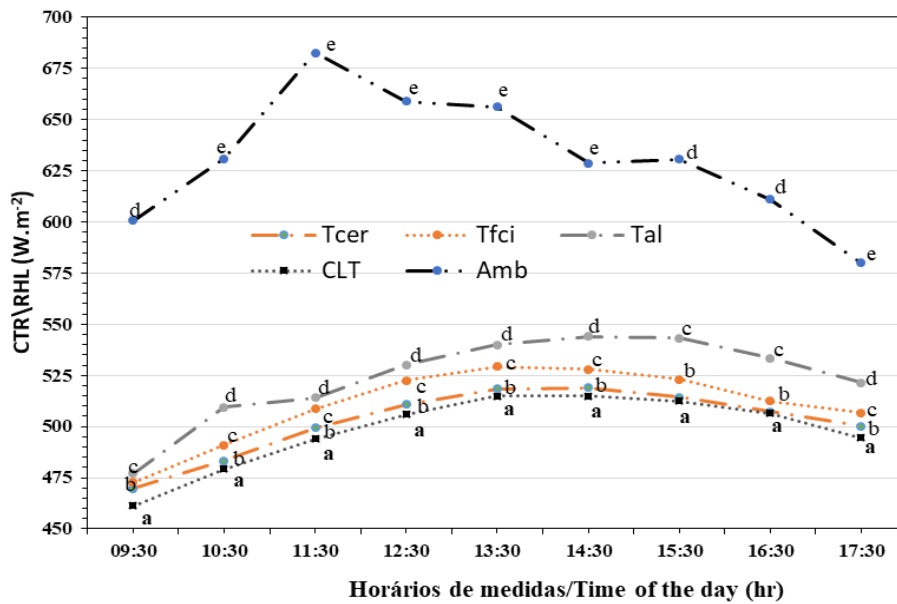
Os ITGUs registrados nos modelos reduzidos foram inferiores ao do ambiente externo (ITGU = 89,28), evidenciando a importância da cobertura para o conforto térmico. Esses resultados são similares aos obtidos por SILVA et al. (2015, a, b), CARNEIRO et al. (2015), AKAMINE e PASSINI (2017) para telhados convencionais.

CASTRO et al. (2017) usaram forros de polipropileno em telhados de fibrocimento e de cerâmica. Concluíram que essa técnica contribuiu para reduzir o desconforto nos ambientes, independente do tipo de telha. Resultado semelhante foi encontrado neste trabalho, em que foi utilizado o CLT, com diminuição do desconforto térmico no ambiente.

A Figura 3 mostra o desenvolvimento de CTR para os horários de medidas.

Os valores médios de CTR foram de 498,24; 502,48; 510,53; 523,66 e de 631,07 W.m² para os tratamentos TfcCLT, TCN, TFCN, TAL e o Ambiente, respectivamente. Esse índice respondeu de forma semelhante ao ITGU, ou seja, foram estatisticamente iguais entre 15:30 h e 16:30 h.

Nota-se significativa redução da CTR em relação ao ambiente não sombreado. Esses resultados, na totalidade ou para alguns, são similares aos obtidos por SILVA et al. (2015, a), AKAMINE e PASSINI (2017).

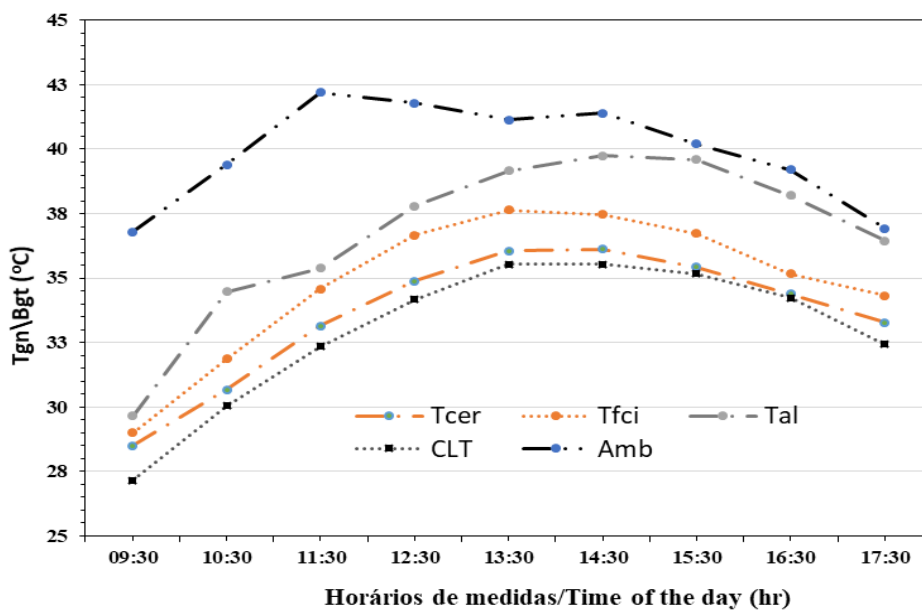


(TfcCLT) - telhas de fibrocimento corrugadas limpas montadas sobre forro de CLT formando uma estrutura autoportante. (TCN) - telhas cerâmica limpas. (TFCN) - telhas de fibrocimento limpas. (TAL) - telhas de alumínio limpas. Letras iguais no mesmo horário não diferem pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 3. Valores médios de CTR, de acordo com os horários de medidas.

Duas considerações devem ser analisadas. A primeira é de que o ITGU é um indicador importante das condições ambientais, entretanto, deve-se evitar ao máximo trocas térmicas pelo vento próximo aos telhados e mesmo no interior dos modelos, para evitar resultados “distorcidos” para ITGU em comparação ao índice CTR, que considera a velocidade do ar combinada a outras variáveis. A segunda é de que a inércia térmica e condutibilidade térmica dos materiais interferem no conforto ambiental e, de acordo com GUIMARÃES et al. (2014), animais mantidos em ambientes com amplitudes térmicas muito amplas podem ter seu desempenho comprometido em razão de terem que se adaptar às variações de temperatura em curto espaço de tempo.

A Figura 4 mostra o desenvolvimento da Tgn em função dos horários das medidas.



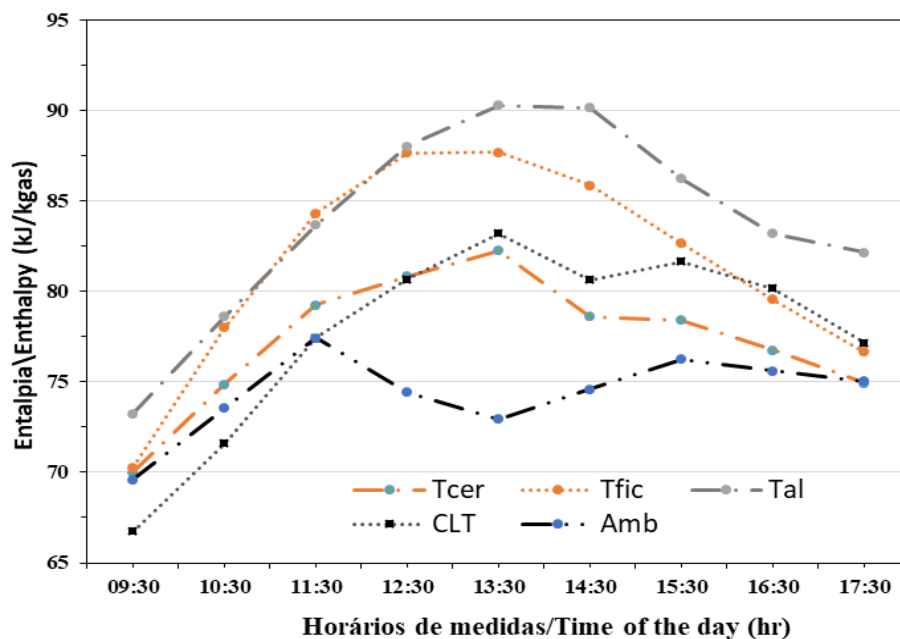
(TfcCLT) - telhas de fibrocimento corrugadas limpas montadas sobre forro de CLT formando uma estrutura autoportante. (TCN) - telhas cerâmica limpas. (TFCN) - telhas de fibrocimento limpas. (TAL) - telhas de alumínio limpas.

Figura 4. Valores médios de Tgn, de acordo com os horários de medidas.

O comportamento do índice Tgn no decorrer do dia foi semelhante aos dos índices ITGU e CTR, onde pode verificar, novamente, que no ambiente com o telhado CLT registrou os menores valores.

A Figura 5 mostra o desenvolvimento da entalpia, em função dos horários de medidas. A entalpia externa (H) do ar (SILVA et al., 2015, b) foi calculada para determinar os dias com maior “conteúdo calórico”, sendo considerado os dias de maior desconforto.

Como os modelos eram todos fechados, com poucas entradas de ar, a entalpia no interior desses ambientes foi sempre maior em comparação com a da externa do ar. Percebe-se que para essa variável, o telhado CLT apresentou maior entalpia nos horários de maior calor em comparação ao telhado formado de telhas cerâmicas. Isso é devido à estrutura do telhado desse tipo de construção, que por ser autoportante, funciona também como forro, armazenando calor interno, o que não ocorreu com o telhado de cerâmica.



(TfcCLT) - telhas de fibrocimento corrugadas limpas montadas sobre forro de CLT formando uma estrutura autoportante. (TCN) - telhas cerâmica limpas. (TFCN) - telhas de fibrocimento limpas. (TAL) - telhas de alumínio limpas.

Figura 5. Valores médios da entalpia (h), de acordo com os horários de medidas.

CONCLUSÕES

Com relação aos telhados convencionais, em termos de conforto térmico, do melhor para o pior, foi formado por telhas cerâmica, de fibrocimento e de alumínio, respectivamente.

O modelo em escala reduzida com telhado de fibrocimento associado ao CLT (Madeira Laminada Colada Cruzada) apresentou redução para todos os índices de conforto térmico em comparação aos outros telhados convencionais.

O CLT mostrou potencial para uso em edificações rurais devido ao conforto térmico apresentado e com a vantagem de ser autoportante. Entre os desafios, está a necessidade de investimentos para novas pesquisas e maiores conhecimentos sobre este material em outros aspectos e, conseqüentemente, da aceitação dessa inovação tecnológica no meio rural.

AGRADECIMENTOS: À UDESC e à FAPESC, pelo aporte financeiro da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N.; COLDEBELLA, A.; LOPES, L. S.; CONCEIÇÃO, V.; TOMAZELLI, I. L. Análise termográfica da temperatura superficial de telhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.1193-1198, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S141543662011001100013>

AKAMINE, L.A.; PASSINI, R. Índices de conforto térmico para aves em modelos reduzidos com diferentes coberturas. **Revista Espacios**, v.38, n.6, p.7-21, 2017.

CARNEIRO, T.A.; GUISELINI, C.; PANDORFI, H.; LOPES NETO, J.P.; LOGES, V.; SOUZA, R.F.L. Condicionamento térmico primário de instalações rurais por meio de diferentes tipos de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.11, p.1086-192, 2015.

CASTRO, A.C; SILVA, I.J.O.; NAZARENO, A.C.; NUNES, M.L.A.; PIEDADE, S.M.S. Thermal efficiency of different coverage materials in reduced models of animal husbandry facilities: a case study. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.37, n.3, p.403-413, 2017. Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n3p403-413/2017>

DALCIN, V.C.; FISCHER, V.; DALTRO, D.S.; ALFONZO, E.P.M.; STUMPF, M.T.; KOLLING, G.J.; SILVA, M.V.G.B.; McMANUS, C. Physiological parameters for thermal stress in dairy cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa, MG. v.45, n.8. 2016.

FARIAS, R.; PEREIRA, M.F.; COSTA, A.S.; CASTRO, E.K.F.; SOUZA, M.N.B.; SANTOS, N.C.; SANTOS, G.C. Avaliação da temperatura do telhado de diferentes materiais de cobertura para construção do telhado de aviários móveis. **Agroecosistemas**, v.9, n.2, p. 308-315, 2017.

GUIMARÃES, M.C.C.; FURTADO, D.A.; NASCIMENTO, J.W.B.; TOTA, L.C.A.; SILVA, C.M.; LOPES, K.B.P. Efeito da estação do ano sobre o desempenho produtivo de codornas no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.2, p.231-237, 2014.

JENTZSCH, R.; BAÊTA, F.C.; TINÔCO, I.F.F.; DAMASCENO, F.A.; SARAZ, J.A.O. Parâmetros arquitetônico-ambientais para construção e testes em modelos reduzidos, representativos de galpões avícolas com base em similitude. **Engenharia da Agricultura**, Viçosa, v.21, n.1, p. 19-30, 2013.

MARCHEZAN, W. M.; SEEGER, M.G.; PICETTI, T.S.; FIALHO, S.S. Estresse térmico em bovinos leiteiros. **Revista CFMV**, Brasília-DF. Ano xx, n.63, p. 49-54, 2014.

MELO T.; FURLAN, R.; MILANI, A.; BUZANSKAS, M.; MOURA, A.; MOTA, D.; CARDOSO, D. Avaliação de diferentes inclinações e exposições de telhado em três tipos de cobertura em modelos reduzidos de instalações zootécnicas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n.3, p. 1327-1338, 2013.

NETO, M. M. & NÄÄS, I. A. Software de agricultura de precisão para monitorar aspectos ambientais de conforto térmico na bovinocultura de leite. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.8, n.2, p.112-127, 2014.

PASSINI, R.; ARAUJO, M. A. G.; YASUDA, V. M.; ALMEIDA, E. A. Intervenção ambiental na cobertura e ventilação artificial sobre índices de conforto para aves de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande/PB, v.17, n.3, p.333-338, 2013.

PÉREZ, G.; VILA, A.; SOLÉ, C.; COMA, J.; CASTELL, A.; COBEZA, L.F. The thermal behavior of extensive green roofs under low plant coverage conditions. **Energy Efficiency**, v.8, p.881-894, 2015.

RICCI, G. D.; ORSI, A. M.; DOMINGUES, P. F. Estresse calórico e suas interferências no ciclo de produção de vacas de leite. **Revista de Veterinária e Zootecnia**, v.20, n.3, 2013.

ROSSELLE, L.; PERMENTIER, L.; VERBEKE, G.; DRIESSEN, B.R.; GEERS, R. Interactions between climatological variables and sheltering behavior of pastoral beef cattle during sunny weather in a temperate climate. **Journal of Animal Science: American Society of Animal Science**, v.91, p.943-949, 2014.

SAMPAIO, C. A. P.; TEREZO, R.F.; ROSA, T.O.; BURIGO, M.C.; ANDRADE, L.B. Similitude e desempenho térmico em telhados não convencionais. **Revista Engenharia Agrícola**, v.38, n.1, 2018.

SILVA, M.G.; MARTIN, S.; OLIVEIRA, C.E.G.; MOSCON, E.S., DAMASCENO, F.A. Desempenho térmico de tipos de coberturas no interior de modelos reduzidos de galpões avícolas. **Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 30, n.3, p.269-275, 2015. (a)

SILVA, K.C.P.; CAMPOS, A.T.; YANAGI JUNIOR, T.; CECCHIN, D.; LOURENÇONI, D.; FERREIRA, J.C. Reaproveitamento de resíduos de embalagens Tetra Pak-® em coberturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.1, p.58-63, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n1p58-63> (b).

SOUZA, I.J.; OLIVEIRA, Z.B.; SARETTA, E.; RODRIGUES, L.R.; SILVA, C.M.; TONDOLO, T. Análise do conforto térmico em modelos reduzidos de galpões agrícola. **Ciência e Natura**, v.40, p.140-147, 2018. DOI:10.5902/2179460X35512