



ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO-HIGROSCÓPICO ENTRE TELHADOS DE TAMANHO NATURAL E REDUZIDO EM WOOD FRAME

Talitha O. ROSA¹; Rodrigo F. TEREZO¹; Carlos A. de P. Sampaio¹ e Matheus D. LAUS¹

1 – Núcleo de Engenharia em Biosistemas – NEBios, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual de Santa Catarina – UDESC, Lages, Santa Catarina, Brasil

Resumo: Devido ao aquecimento do mercado da construção civil e o aumento da consciência ecológica no Brasil, os telhados verdes apresentam-se como ótima solução para edificações de baixo impacto ambiental. Entretanto, pesquisas com telhados em construções de tamanho natural tornam-se dispendiosas. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa é avaliar se há diferenças significativas entre as temperaturas e os teores de umidade do ar medidos em protótipos construídos em tamanho real (5,02m²) e em tamanho reduzido (1,25m²), feitos com telhado verde e com telhado de argila expandida. Os protótipos foram construídos em madeira do sistema wood-frame. No protótipo de telhado verde em tamanho real foram utilizadas mudas de gramínea *Axonopus compressus*, e no telhado verde reduzido as mudas utilizadas foram de *Sedum* spp. As variáveis de umidade do ar e temperatura foram determinadas com higrômetro e termômetro de globo negro. As medições foram realizadas durante 21 meses, englobando todos os tratamentos. Para a análise dos dados foram empregados testes estatísticos com 95% de confiabilidade. Observou-se que não houve diferença significativa entre os protótipos reais e reduzidos. Não houveram diferenças significativas entre os protótipos reais e reduzidos, e apenas na TA os protótipos reduzidos também tiveram médias iguais a do ambiente externo. Com base nesse estudo é possível a utilização de modelos reduzidos em pesquisas futuras, minimizando os custos e mantendo a confiabilidade dos resultados.

Palavras-chave: telhados verdes; telhados não convencionais; similaridade;

Abstract: Due to heating up market by building industry and ecologically aware increase in Brazil, the green roofs as ideal solution for buildings of environment impact low is shown. However, researches about roofs on natural size buildings become expensive. In this context, this research have as target to assess the significant differences between temperatures and air moisture measured into building prototypes built to actual size (5,02m²) and scale (1,25m²) with green roofs and expanded clay roofs. The wood prototypes on wood-frame system were made. Prototypes with green roof to actual size with *Axonopus Compressus* grass seedlings and prototypes with green roof to scale with *Sedum* spp seedlings were used. The air moisture e temperature variables were measured using hydrometer and black globe temperature sensor. The measurements were made during 21 months for all buildings with green roof and clay roof. Data analysis were used statistical test with a reliability of 95%. It was observed that



there was not significant difference between prototype to actual size and prototype to scale. There were not significant differences between prototype to actual size and prototype to scale; and hardly on room temperature into prototypes to scale also had same averages than outside room temperature. Based in this study is possible to utilize prototypes to scale in future researches, minimizing building costs and to maintain the results reliability.

Keywords: green roofs; unconventional roofs; similarity

1. INTRODUÇÃO

O elevado custo envolvido na construção de instalações habitacionais para a pesquisa de novas tecnologias, muitas vezes inviabilizam a execução de um experimento por falta de recursos. Neste aspecto, o uso de modelos reduzidos para determinar o desempenho térmico de uma instalação pode contribuir significativamente para a redução do custo da pesquisa, permitindo ainda testar várias configurações através de alterações do modelo a um custo mais reduzido que em um protótipo em escala natural.

O uso de modelos é uma ferramenta largamente utilizada na engenharia, porém o seu uso requer o entendimento claro dos princípios que regem a relação entre modelos e protótipos. Para que o comportamento de um protótipo possa ser determinado a partir de um modelo é necessário que ambos se comportem de maneira qualitativamente similar e que uma relação quantitativa possa ser estabelecida entre eles (JENTZCH, 2002).

Ao representar um modelo natural em um reduzido é preciso buscar a qualidade de detalhamento do modelo e dos materiais utilizados na confecção. Assim, quanto mais exata a reprodução dos detalhes geométricos e das propriedades termofísicas dos materiais do protótipo, maior será a similitude de comportamento entre eles (KÖLTZSCH e WALDEN, 1990).

De acordo com Schuring (1977), os modelos em escala, atendidos determinados critérios de similitude, podem ser substitutos válidos para sistemas que, por alguma razão, não podem ser estudados em protótipos de tamanho natural. A reprodução em escala de fenômenos físicos pode ser vantajosa por quatro razões: primeira, quando o problema tratado é muito complexo ou pouco conhecido, sendo necessárias informações empíricas para uma abordagem analítica; segunda, os modelos reduzidos possibilitam a redução do sistema a proporções que facilitam o seu manuseio; terceira, permitem uma diminuição no tempo gasto na pesquisa; e quarta, proporciona uma maior compreensão do fenômeno investigado.

A teoria da similitude é desenvolvida pela análise dimensional e tem como objetivos estabelecer as relações necessárias para que o comportamento de um protótipo possa ser determinado a partir das observações em um modelo e estabelecer as relações existentes entre as variáveis envolvidas no fenômeno, de forma que os dados possam ser sistematizados com segurança (KÖLTZSCH e WALDEN, 1990).

Desta maneira esse trabalho tem como objetivo avaliar se há diferenças entre o teor de umidade e temperaturas em protótipos construídos em tamanho real e tamanho reduzido com telhado de cobertura verde e telhado de cobertura em argila expandida. E se existe diferença dos teores de temperatura ambiente e umidade entre os protótipos em relação ao ambiente externo.



2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na cidade de Lages, SC, localizada a uma latitude de 27 ° 49' S e longitude 50° 19' 35'' W, altitude média de 930 m e o clima predominante segundo a classificação de Köppen é Cfb – clima oceânico.

Sendo composto por 2 (dois) protótipos de tamanho real e 2 (dois) protótipos de tamanho reduzido, onde em cada tamanho havia 2 tratamentos, cobertura de argila expandida e cobertura verde, totalizando em um protótipo real e um reduzido para a cobertura de argila e um real e um reduzido para a cobertura verde. Esses protótipos foram instalados dentro do campus universitário do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em uma área estabelecida para pesquisas do Laboratório de Ambiência do Núcleo de Engenharia de Biosistemas - NEBios.

Os protótipos e o sistema de retenção de água foram desenvolvidos previamente em uma maquete eletrônica, utilizando o software de licença gratuita Google Sketch Up® (Figura 1).

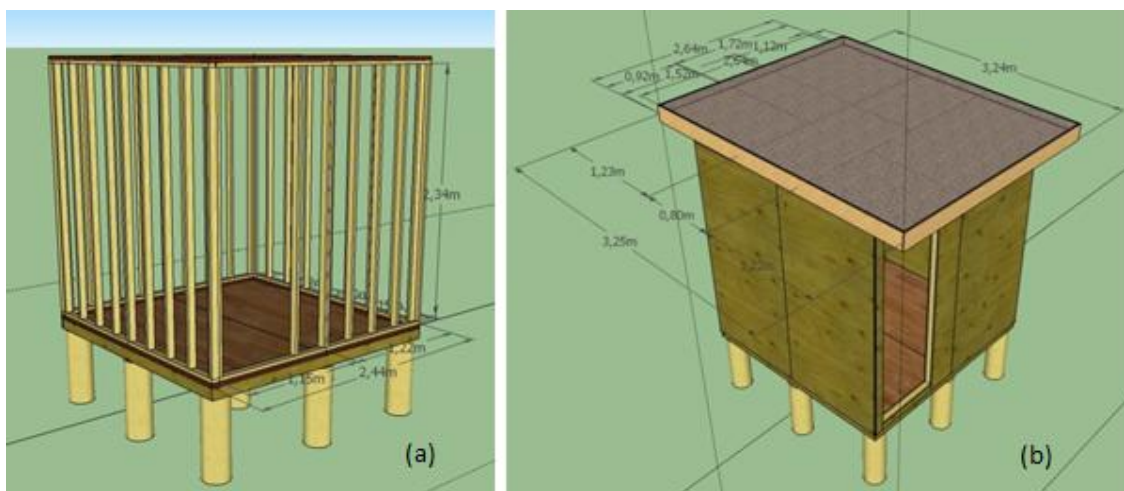


Figura 1. Projeto 3D dos protótipos: (a) estrutura de montantes sobre a plataforma; e (b) protótipo em formato final

A construção dos protótipos em tamanho real começou com a pré-fabricação das paredes simples, assoalho e aberturas, utilizando-se as chapas de compensado de 15mm de espessura para montagem dos protótipos (Figura 2), posteriormente as chapas foram pintadas com tinta óleo branca, para aumentar a durabilidade do material, a inercia térmica das paredes e evitar a absorção de água. Para a fundação foi utilizado e espécie *Eucalyptus sp*, em forma roliça, tratada, com diâmetro de 25 cm, e altura de 73 cm. Essas madeiras foram fixadas no solo com concreto e para dar suporte a construção, em cada protótipo foram utilizados 4 unidades de madeira roliça para formas as bases de sustentação.

As dimensões da construção foram de 2,44m de largura, 2,44m de comprimento (totalizando 5,95m² de área de telhado exposto), e altura de 2,34m para os protótipos do



tamanho real. Os protótipos foram construídos no sistema Wood Frame, também chamado de sistema plataforma.



Figura 1. Construção dos protótipos: (a) execução das paredes e plataformas em galpão; e (b) montagem das paredes auto portantes sobre a plataforma no local

Após a construção, cada um dos protótipos recebeu seu telhado correspondente. Para o protótipo que corresponderia ao telhado verde foi montado a cobertura em camadas, sendo que a primeira camada foi uma manta higroscópica, seguida do substrato (terra/húmus) e por último mudas da vegetação que formariam a composição do telhado. No telhado de argila foi utilizado argila expandida e no protótipo restante foram colocadas telhas de fibrocimento.

Para definir o tamanho do protótipo reduzido, foi escolhido uma escala de redução de 1:2, e a área do protótipo reduzido ficou com $\frac{1}{4}$ (um quarto) do tamanho do protótipo real. Com essa redução as dimensões dos protótipos reduzidos ficaram com 1,12m de largura, 1,12 m de comprimento (com área de 1,25 m²) e altura de 1,12m.

A primeira camada da cobertura do telhado foi recoberta com uma manta higroscópica para aumentar o isolamento contra a umidade embaixo do substrato. Num dos protótipos reduzidos após a manta higroscópica foram colocados 6 cm de espessura de argila expandida. Na estrutura da cobertura dos protótipos reduzidos acima da manta higroscópica, foram posicionadas as bandejas produzidas com fundos de garrafa PET (polímero termoplástico) e nelas foram plantadas mudas de espécies suculentas de *Sedum spp* (Figura 3). Também foram colocadas mais dois tipos de manta: uma geotêxtil/bidim e uma com retalhos de tecido, cujo objetivo era manter o substrato com o maior grau de umidade, conservando assim as raízes das plantas mais úmidas possível.



Figura 1. Arranjo das bandejas de garrafa PET com as mudas de *Sedum album*

Para escolher as mudas que seriam utilizadas na cobertura verde foram utilizados critérios básicos de: quais espécies apresentariam alta resistência ao estresse hídrico e a alta umidade relativa do ar; e qual apresentaria a menor manutenção e a facilidade da compra. Com esses critérios foi escolhido a gramínea *Axonopus compressus*, cujo nome popular é grama-sempre-verde ou grama-são-carlos e suculentas *Sedum* spp.

Com a finalização da construção dos protótipos foram iniciadas as coletas de informações. As informações mensuradas foram todas obtidas com um termômetro de bulbo negro da Instrutemp® modelo ITWTG 2000, que fornece as seguintes informações: Temperatura Ambiente (TA em C°), Temperatura do Globo (TG em C°), WBGT (C°) e Umidade do Ar (%).

As dados foram coletados durante o período de março/2013 até dezembro/2014, durante esse período as leituras eram feitas de hora em hora, iniciando as 8 h (8 a.m) até 18 h (6 p.m). Sendo possível então, criar um banco de dados com leituras dos telhados: verde, argila expandida, fibrocimento e o ambiente externo (testemunha) para ser realizada a análise comparativa, com esse banco de dados também foi possível averiguar as temperaturas e umidades máximas e mínimas encontradas em cada um dos telhados.

Os dados coletados foram analisados com a ANOVA (análise de variância) e pelos testes de Cochran (para obter a homogeneidade das variâncias); e Tukey (comparação das médias) com 95 % de confiabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando as temperaturas mínimas e máximas gerais (durante todo o experimento) entre os protótipos reais e os reduzidos têm-se uma variação de apenas 1,3° C para a cobertura de argila e 0,2°C na cobertura verde para as temperaturas máximas. Para as temperaturas mínimas registradas a variação na cobertura verde foi de 0,5°C, e não ocorrendo variação para a cobertura de argila. As umidades máximas registradas em todos os tamanhos foi a mesma. Mas as mínimas apresentam diferenças de 5,3°C no verde e 6,7°C para a cobertura de argila (Tabela 1).



Tabela 1. Valores mínimos, máximos e médios de temperatura ambiente e umidade relativa do ar entre os protótipos reais e reduzidos, durante o período de avaliação de 21 meses

		VERDE		ARGILA		
		EXTERNO	REAL	RED.	REAL	RED.
TA* (°C)	MÍN	5,70	6,10	5,60	6,00	6,00
	MÁX	32,90	31,60	31,40	32,40	32,10
	MÉDIA	20,00	20,86	20,47	20,85	20,40
	CV (%)	23,82	24,00	13,68	24,04	23,76
U** (%)	MÍN	20,10	25,20	19,90	27,30	20,60
	MÁX	99,90	99,90	99,90	99,90	99,90
	MÉDIA	71,00	75,51	72,78	76,45	73,60
	CV(%)	20,32	15,25	17,60	15,28	17,49

* Temperatura ambiente; ** Umidade relativa do ar

Para observar a variação da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar nos dias de máximas e mínimas (condições mais extremas durante todo o tempo do experimento) foram escolhidos os dias de acordo com as temperaturas encontradas no ambiente externo. Na Tabela 2, verifica-se que as variações para os protótipos são menores quando observados os dados de um único dia. O dia 27/08/2013 às 15h apresentou as menores temperaturas durante todo o experimento. A variação da umidade no dia mais frio foi de 5,3% entre os protótipos de cobertura verde e de 5,2% para os protótipos com cobertura de argila. No dia 16/12/2013 às 17h a temperatura variou 1,6°C para a cobertura verde e 2,8°C para a cobertura de argila. A umidade nos dias mais quentes apresentou maior variação entre os protótipos. Para a cobertura verde a variação entre o real e reduzido foi de 17,7% e para a cobertura de argila foi de 15%.



Tabela 2. Variação da temperatura e umidade nos dias de maior e menor temperatura no período de 03/2013 a 12/2014

		Verde			Argila	
		Externo	Real	Reduzido	Real	Reduzido
27/08/2013						
	TA* (mín)	5,70	6,10	5,60	6,00	5,60
	U(%)** (máx)	80,70	89,00	83,70	88,90	83,70
16/12/2013						
	TA* (máx)	32,90	29,80	31,40	29,30	32,10
	U(%)** (máx)	38,20	65,70	48	63,10	48,10

Os dados também passaram por análise de homogeneidade da variância (Cochran) que indicou que todos os dados eram homogêneos. A análise da variância (ANOVA) e Tukey indicaram que para a TA (temperatura ambiente), TG (temperatura bulbo seco), WBGT (índice de stress térmico) e U% (umidade relativa do ar) não apresentaram diferenças entre os protótipos reais e os reduzidos. E no caso da TA os protótipos reduzidos também indicaram médias iguais à médias do ambiente externo (Tabela 3).

Tabela 3. Teste das médias com suas respectivas significâncias

	TA	TG	WBGT	U%
Argila Real	20,84 a	23,02 a	19,44 a	77,26 a
Verde Real	20,86 a	23,15 a	19,51 a	76,54 a
Argila Reduzido	20,37 ab	22,88 a	18,89 a	74,94 a
Verde Reduzido	20,63 ab	22,84 a	18,86 a	72,78 a
Externo	20,01 b	22,82 b	18,10 b	73,07 a

Fazendo a análise qualitativa dos dados, nota-se que o comportamento dos protótipos é similar. Esses resultados também foram obtidos por Jentzsch (2002) que analisando todas as variáveis em conjunto não encontrou diferenças significativas entre as medições do protótipo reduzido com o real, as variações térmicas estudadas durante um dia nos protótipos não variaram até a redução de 1:12.

Pode-se ver que em alguns momentos o protótipo reduzido apresenta um retardo em relação ao protótipo de tamanho natural, porém mantém as mesmas tendências. Esse atraso ocorre pelo fato do protótipo real apresentar uma maior massa de ar no seu interior para

aquecer e resfriar, levando assim, mais tempo para que esses fenômenos se completem. Assim, no protótipo reduzido o tempo de aquecimento pela manhã e resfriamento no final da tarde é menor, embora seu comportamento seja quase idêntico ao comportamento do protótipo natural (Figura 4).

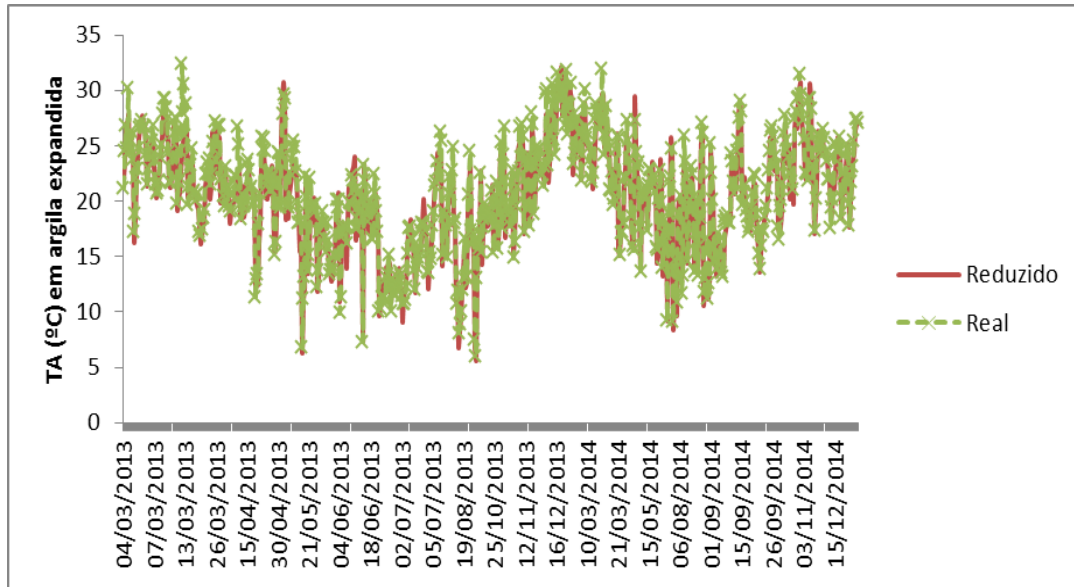


Figura 4. Variações de TA (temperatura ambiente) para os protótipos de argila real e reduzido durante o período de 03/2013 a 12/2014

O mesmo comportamento ocorre para o telhado verde. O comportamento do protótipo reduzido é semelhante ao comportamento do natural, embora leve menos tempo para aquecer e resfriar (Figura 5).

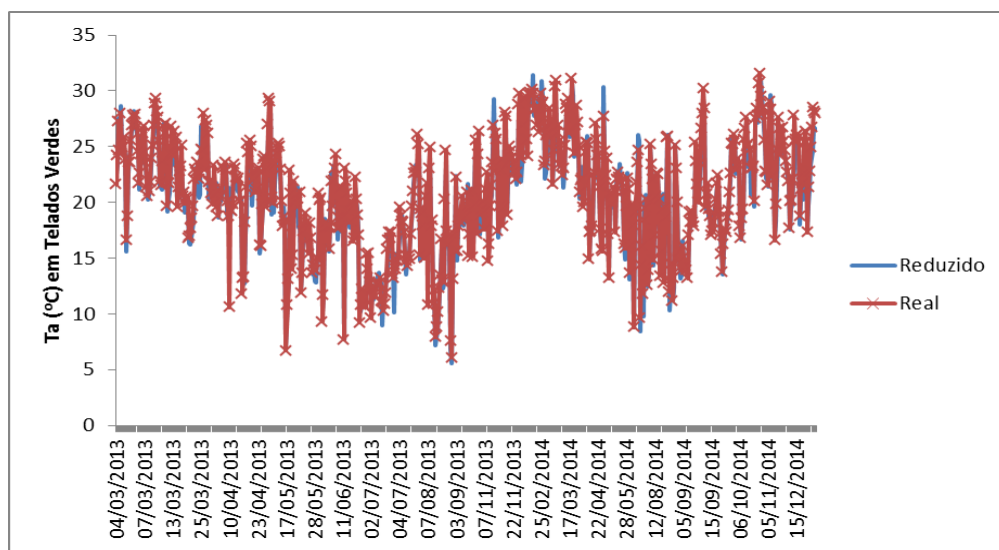


Figura 5. Variações de TA (temperatura ambiente) para os protótipos verde real e reduzido durante o período de 03/2013 a 12/2014

A umidade relativa do ar é menor tanto nos protótipos reduzidos de cobertura verde quanto nos protótipos reduzidos de argila em comparação com seus respectivos reais. Isso pode ocorrer também devido ao tamanho dos protótipos, possibilitando aos reais maiores concentrações de umidade dentro dos mesmos. Mas esse valor entre os protótipos não é significativo, como mostrou as análises estatísticas, o comportamento da umidade nos dois tipos de protótipos se dá da mesma forma e assim é proporcional (Figura 6).

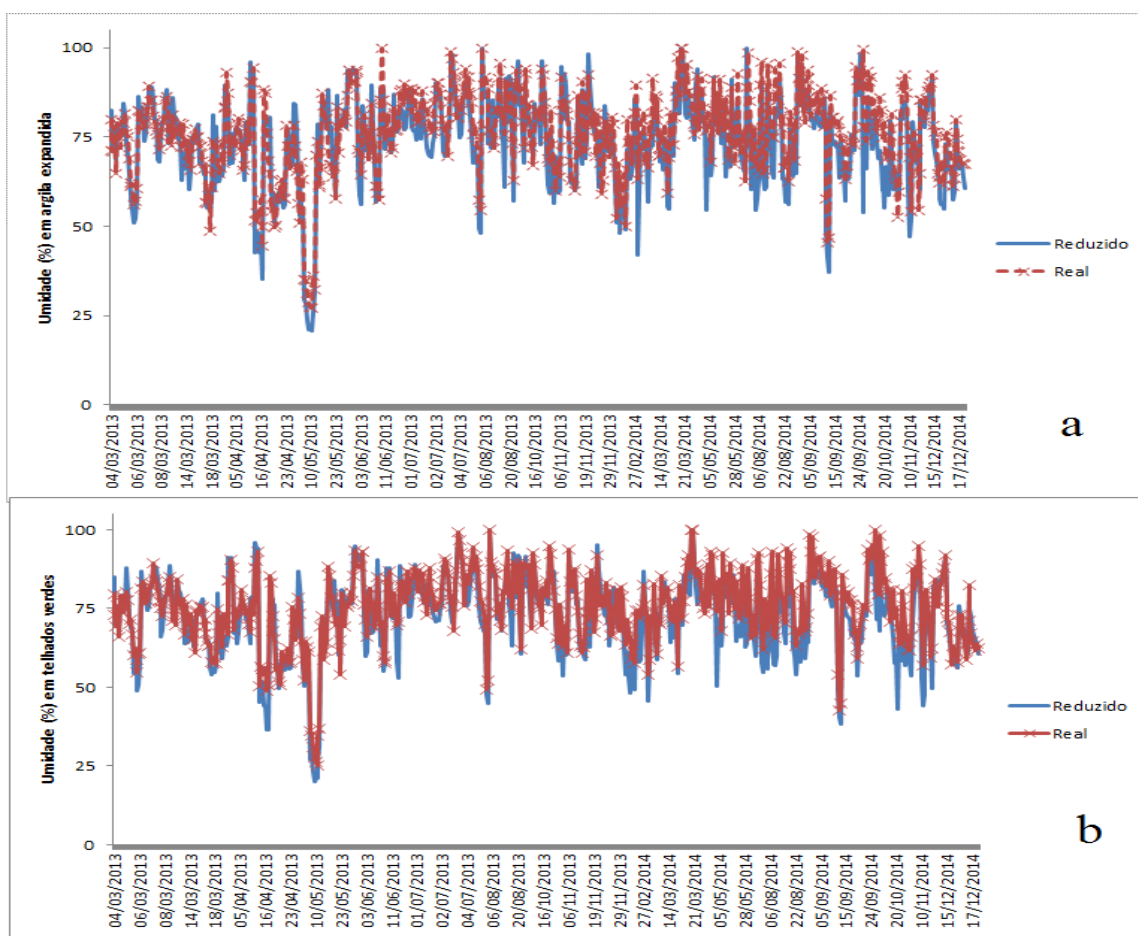


Figura 6. Variações de U(%) (umidade relativa do ar) para os protótipos reduzidos e real em argila expandida (a) e verde (b) durante o período de 03/2013 a 12/2014

Para entender melhor a diferença da umidade entre os protótipos reais e o ambiente externo, nota-se que a variação da umidade na parte externa é muito maior do que a variação dentro dos protótipos. Isso ocorre devido ao tempo que leva para equilibra-la dentro do protótipo com o ambiente externo (Figura 7).

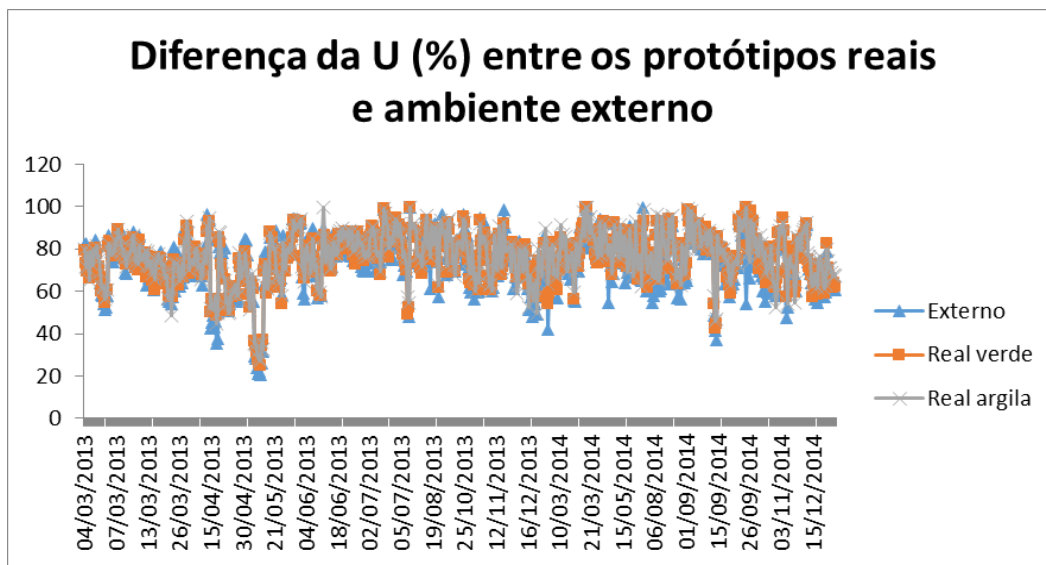


Figura 7. Diferença da Umidade relativa do ar (U%) nos protótipos reais de cobertura verde e de argila em relação a umidade relativa do ar do ambiente externo

Analisando um dia ao acaso, no caso, 03/07/2013, com temperaturas registradas das 8h da manhã até as 18h da tarde temos a Figura 8, no comportamento da temperatura e umidade em todos os protótipos observa-se que a tendência é muito parecida, indicando que ambas as variáveis analisadas se comportam da mesma forma.

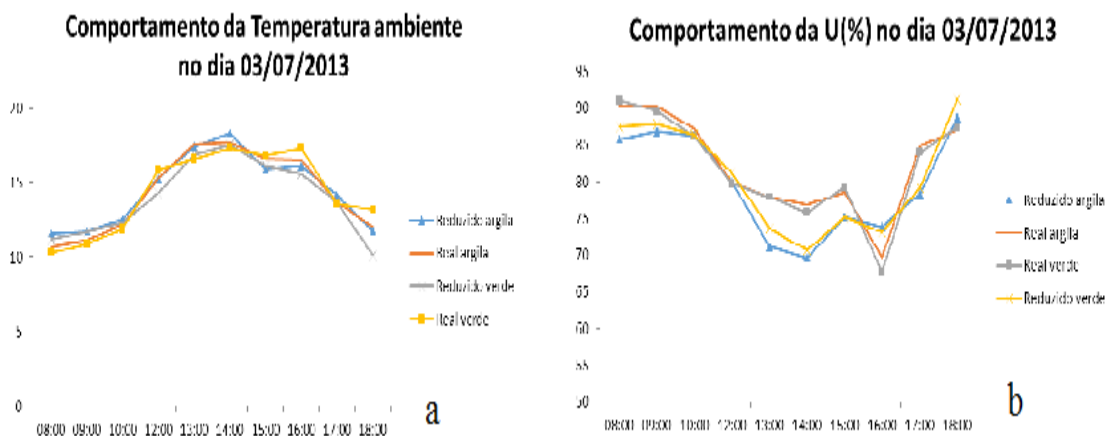
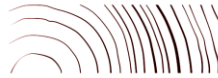


Figura 8. Comportamento das variáveis de temperatura(a) e umidade do ar (b) durante o período de um dia de registros

É indicado o uso de modelos reduzidos, para estudar o conforto térmico de edificações e que segundo Jentzch (2002) pode contribuir significativamente para a redução do custo da pesquisa, permitindo ainda testar várias configurações através da alteração do modelo a um custo mais reduzido que em um protótipo em escala natural.

II CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Belo Horizonte - 2015



II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira
Belo Horizonte - 20 a 22 set 2015



CONCLUSÃO

Medir a temperatura em protótipos reduzidos trará resultados tão confiáveis quanto se fossem medidos em protótipos de tamanho real. O uso dos protótipos reduzidos não apresentará conclusões errôneas na pesquisa. E aconselha-se o uso de dos modelos reduzidos por estes apresentarem menor custo e tempo de construção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JENTZSCH, R. Estudo de modelos reduzidos destinados a predição de parâmetros térmicos ambientais em instalações agrícolas. Viçosa – MG: UFV, 2002.

KOLTZSCH, P., WALDEN, F. Ähnlichkeitstheorie and modelltechnik. Helf 1. Freiberg:TU Bergakademie Freiberg, 1990

SCHURING, D. J. Scale models in engineering – fundamentals and applications. New York: Calspan Corporation, 1977.