



ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE DIFERENTES COBERTURAS COM ALTO DESEMPENHO TÉRMICO NO CONTROLE DO CONFORTO HIGROTÉRMICO

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF DIFFERENT COVERINGS WITH HIGH THERMAL PERFORMANCE IN CONTROL OF HYDROTHERMAL COMFORT

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE DIFERENTES CUBIERTAS CON ALTO RENDIMIENTO TÉRMICO EN EL CONTROL DEL CONFORT HIGROTÉRMICO

Lucas Broggio¹

Resumo: A pesquisa analisa a eficiência da cortina verde na diminuição temperatura das edificações e sua influência sobre as condições de conforto. Para mensurar essas vantagens, foram analisados dois ambientes, com proteção da cortina verde e outro sem. Como resultado, oferece uma base de dados comparativa entre os tipos de cobertura analisados, que auxilie na tomada de decisões em projetos de edifícios e possibilitar a replicação desta pesquisa com diferentes materiais sustentáveis.

Palavras-chave: Telhado Verde, Conforto Térmico, Eficiência Térmica.

Abstract: The research analyzes the efficiency of the green curtain in decreasing temperature of the buildings and their influence on the comfort conditions. To measure these advantages, two environments were analyzed, with green curtain protection and another without. As a result, it offers a comparative database between the types of coverage analyzed, which assists decision making in building projects and also allows the replication of this research with different sustainable materials.

Keywords: Green Roof, Thermal Comfort, Thermal Efficiency.

Resumen: La investigación analiza la eficiencia de la cortina verde en la disminución de temperatura de las edificaciones y su influencia sobre las condiciones de confort. Para medir estas ventajas, se analizaron dos ambientes, con protección de la cortina verde y otro sin. Como resultado, ofrece una base de datos comparativa entre los tipos de cobertura analizadas, que ayude en la toma de decisiones en proyectos de edificios y también posibilite la replicación de esta investigación con diferentes materiales sustentables.

Palabras-clave: Techo Verde, Conforto Térmico, Eficiencia Térmica.

Envio 20/02/2019

Revisão 20/02/2019

Aceite 20/02/2019

¹ Discente em Engenharia Civil. IFSP - Campus Votuporanga. E-mail: lbroggio@hotmail.com



Introdução Objetivo

O Objetivo Geral desta pesquisa é levantar, analisar e quantificar as vantagens e desvantagens de diferentes tipos de coberturas que ofereçam maior desempenho energético em edifícios.

São objetivos específicos do trabalho:

- Verificar a viabilidade de utilização das tecnologias selecionadas em um protótipo a ser construído no Campus e, futuramente, em edifícios do Campus e em habitações de interesse social.
- Aplicar a metodologia para análise dos sistemas mais viável de acordo com a infraestrutura do IFSP – Campus Votuporanga;
- Verificar as diferenças entre os diferentes tipos de cobertura e apresentar as principais vantagens e desvantagens de cada tipo.

Justificativa

No Brasil, a cobertura verde é pouco estudada, no entanto na Europa, esta prática é bastante difundida, sendo estimado que na Alemanha cerca de 10% dos telhados planos possuem algum tipo de vegetação, o que equivale a 55 milhões de metros quadrados de área verde. (PECK Apud LAMBERTS et al, 2010).

Segundo Minke (2004) apud SAVI (2012), com a implantação de cobertura vegetal em 10% a 20% das edificações, o clima urbano já ficaria mais saudável, além de melhorar a qualidade do ar e reduzir a quantidade de poeira nas cidades.

Se as técnicas e preceitos corretos forem adotados desde a fase inicial da construção, visando a um melhor aproveitamento dos recursos, é possível, segundo KRAUSE et.al (2005), atingir uma economia de energia da ordem de 50%. No caso de residências, o consumo médio de energia elétrica no Brasil com o condicionamento artificial do ar girava, em 2007, em torno de 20% do total, valor que “tende a crescer mais ainda num futuro próximo conforme aumente o poder aquisitivo da população e devido a não adequação das edificações ao clima local” (LAMBERTS et al, 2014, p.17). Medidas que diminuem a necessidade de uso do ar



condicionado podem, portanto, oferecer uma alternativa que leva a um impacto significativo na redução do consumo energético em edifícios de qualquer tipo de uso.

Estratégias para aumentar a eficiência energética do edifício incluem, entre outros, a correta orientação solar, utilização de materiais apropriados nas vedações e nas coberturas. Esta pesquisa propõe o estudo de diferentes tipos de cobertura com alta eficiência energética, como, por exemplo, o telhado verde, que “ao realizar o sombreamento da cobertura e perder calor através da evapotranspiração das plantas, ameniza a temperatura radiante no interior da casa” (KRAUSE et al, 2005, p. 51).

Além da redução no consumo energético, as coberturas do edifício podem ajudar a diminuir o impacto ambiental se associadas a um sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais. A ocorrência de enchentes em cidades mais adensadas tem na excessiva impermeabilização do solo, característica das ocupações urbanas adensadas, uma das suas principais causas e, segundo Reis (2014), têm sido utilizados novos conceitos como os dispositivos de acréscimo de infiltração, de armazenamento e retardo do escoamento. Pesquisa demonstra que é possível reduzir em mais de 60% o escoamento superficial, comprovando a eficiência do telhado verde no controle das águas pluviais (TASSI, 2014). Além de colaborar com a redução das enchentes, um sistema de armazenamento e reaproveitamento de águas pluviais reduz o consumo de água potável, o que também significa redução do impacto ambiental.

Espera-se que seja possível também a flexibilidade de aplicação de diferentes tecnologias em alguns elementos do protótipo, com a finalidade de comparar sua eficiência. A possibilidade de testar diferentes tipos de telhas na cobertura, por exemplo, pode oferecer parâmetros de comparação de sua eficiência, assim como a instalação de brises ou sistemas que auxiliem a ventilação e a iluminação natural.

Revisão bibliográfica

Conforto Térmico

Conceitos

Para a ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, 2005), Conforto Térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o



ambiente térmico que envolve o indivíduo. Se o balanço de todas as trocas de calor que o corpo está submetido forem nulas e a temperatura de pele e suor estiverem dentro de certos limites padronizados, pode-se dizer que o indivíduo se encontra em Conforto Térmico. Entretanto estas sensações são subjetivas, variando para cada indivíduo, ou seja, um ambiente termicamente confortável para uma pessoa pode ser frio ou quente para outra. Portanto, as condições ambientais de conforto são mensuradas pela quantidade de pessoas em situação conforto, em dado ambiente.

As variáveis ambientais que serão relevantes durante a pesquisa são as que podem ser medidas diretamente, que são a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), a temperatura radiante ($^{\circ}\text{C}$), a umidade relativa (%) e a velocidade do ar (m/s) (LAMBERTS, 2014), além daquelas relacionadas ao material utilizado. Segundo FROTA (2001), os índices de conforto térmico foram desenvolvidos com base em diferentes aspectos do conforto, classificados a seguir:

Índices biofísicos: que se baseiam nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos do conforto com as trocas de calor que dão origem a esses elementos;

Índices fisiológicos: que se baseiam nas reações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura seca do ar², temperatura radiante média³, umidade do ar e velocidade do ar;

Índices subjetivos: que se baseiam nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

Histórico

As práticas de construção de coberturas com vegetações não são recentes na história, podendo ser citado o templo de Zigurate de Nanna (2113 a.C), localizado em Ur, na Mesopotâmia e Jardins Suspensos da Babilônia (SAVI, 2012).

As construções do império romano também desfrutavam da vegetação na cobertura dos edifícios, que contavam com várias árvores. As primeiras coberturas no Brasil foram

² característica do clima que nós sentimos diretamente.

³ temperatura média à superfície dos elementos que envolvem um espaço. Influencia tanto o calor perdido através da radiação do corpo como a perda de calor por condução, quando o corpo está em contato com superfícies mais frias.



construídas pelos indígenas, tendo como principais matérias folhas e fibras vegetais. Durante a colonização portuguesa, trouxeram consigo técnicas construtivas europeias e as coberturas ganharam as telhas cerâmicas (SAVI, 2012).

Todavia, segundo o arquiteto Eder Santos Carvalho, formado pela Universidade Santa Cruz do Sul, apenas em 1920, com o arquiteto modernista Charles–Edeouard Jeanneret-Gris, mais conhecido como Le Corbusier, foi desenvolvido a ideia de terraço de jardim, a fim de aumentar as áreas verdes nas cidades e propiciar maior qualidade de vida às pessoas.

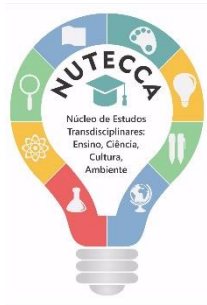
Uma grande construção que utiliza o telhado verde no Brasil é o prédio do Ministério da Educação (MEC), projetada pelo arquiteto Lúcio Costa, com a colaboração de Oscar Niemeyer, sendo o jardim planejado pelo paisagista Roberto Bule Marx.

Estudos de conforto térmico (CT) em ambientes externos têm sido estudados mais recentemente, por outro lado. O vínculo dos estudos CT iniciais com a arquitetura e ambientes internos foi sempre o mote inicial. Portanto, para Lamberts (2014), só recentemente começaram a surgir estudos em ambientes externos. E com isto foram criadas legislações – dentro do âmbito da arquitetura - de conforto térmico a ISO 7730, considerando CT como “a condição ambiental no geral o indivíduo expressa satisfação” (ISO 7730:2005). Por esta legislação as condições térmicas ambientais são consideradas junto a outros fatores como a qualidade do ar, luminosidade e barulho, para ambientes de trabalho ideal. Se houver inadequação de um destes itens, há queda na eficiência de trabalho.

Avaliação de conforto térmico

Em Lamberts (2014), para estudo dos conceitos de conforto térmico, existem duas formas de avaliação da interferência microclimáticas nas edificações. A primeira forma, chamada de estática, considera o homem apenas como um receptor de calor, avaliando as sensações humanas de temperatura, de modo analítico. Entretanto a segunda forma, chamada de adaptativa, já considera o homem como um receptor e dissipador de calor, interagindo com o ambiente de acordo buscando o equilíbrio térmico.

Cada uma dessas formas é avaliada experimentalmente de maneiras diferentes, a primeira, conhecida como modelo estático, onde as condições de conforto térmico são avaliadas em câmaras climatizadas e o modelo adaptativo avalia essas condições em campo.



Transferência de calor nas coberturas

Primeiramente, deve-se estabelecer os conceitos sobre transferência térmica, com intuito de estabelecer parâmetros para a compreensão do fenômeno a ser analisado. Em Incropera et al. (2008), Transferência de calor é “a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperatura no espaço”. Existem três meios de transferência térmica, são eles: condução, convecção e radiação.

Condução segundo Reis (2008), é a transferência de calor que ocorre em um meio estacionário, que pode ser um sólido ou um fluido. É um processo pelo qual o calor flui de uma região de temperatura mais alta para outra de temperatura mais baixa dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contato físico direto.

Convecção pode ser descrita como:

“Transferência de calor que ocorre entre uma superfície e um fluido em movimento, quando estiverem em temperaturas diferentes. É um processo de transferência de energia através da ação combinada de condução de calor, armazenamento de energia e movimentação da mistura. É importante principalmente como mecanismo de transferência de energia entre uma superfície sólida e um fluido” (REIS, 2008, p.13).

Por fim a radiação, descrita como:

“Os átomos, moléculas ou elétrons são excitados e retornam espontaneamente para os estados de menor energia. Neste processo, emitem energia na forma de radiação eletromagnética. Uma vez que a emissão resulta de variações nos estados eletrônicos, rotacional e vibracional dos átomos e moléculas, a radiação emitida é usualmente distribuída sobre uma faixa de comprimentos de onda” (REIS, 2008, p.14).

Se tratando de construções horizontais, em sua maioria, o telhado possui a maior área susceptível a transferência direta de calor do Sol, portanto como o intuito desta pesquisa é reduzir os efeitos causados por essa influência direta, devemos primeiramente entender como ocorrem essas trocas térmicas.



A cobertura funciona como principal elemento de abrigo para os espaços internos de uma edificação proporcionando conforto térmico, protegendo contra o ingresso da radiação solar, controlando passagens de vapor de água e escoando água da chuva e da neve derretida à um sistema de drenos, calhas e condutores. O tipo de estrutura da cobertura tem grande impacto na imagem externa da edificação. Além de ser um componente estrutural, ele também é um componente funcional e estético que deve se adequar a edificação.

Para Michels (2007), a eficiência térmica das coberturas depende das propriedades dos elementos que compõem o telhado, como por exemplo, o material das telhas, a emissividade, a cor da superfície externa, e a ventilação existente na camada de ar. Com a implantação de um sistema de telhado verde esses elementos são diferentes, aumentam o desempenho térmico associado ao aumento da umidade relativa em função do sistema de armazenamento de águas pluviais.

Carta Bioclimática

A Carta Bioclimática é uma representação gráfica da relação entre temperatura e umidade, fornece um conjunto de dados que propicia o conforto térmico (por análise estatística). Também oferece os possíveis sistemas para possibilitar o conforto térmico no ambiente de estudo, conforme a figura abaixo.

Para gerar este gráfico foi utilizado o programa Climate Consultant, ilustrado na figura a seguir, um software disponibilizado gratuitamente pelo Departamento de Energia Americano, que automaticamente retira os dados de milhares de estações meteorológicas ao redor do mundo. Para esta pesquisa foi utilizado as informações do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) temperatura e umidade das 8760 horas do ano.

Estratégias de design diferentes são representadas por zonas específicas neste gráfico. O Climate Consultant analisa a distribuição desses dados psicrométricos em cada zona, a fim de criar uma lista única de soluções para um conjunto específico.

O programa além de traçar a carta bioclimática, organiza e representa as informações anuais de maneiras fáceis de entender que mostram os atributos sutis do clima e seu impacto na forma construída. Com o objetivo é auxiliar a criação de edifícios eficientes em termos de energia e mais sustentáveis, cada um dos quais é ideal para sua região.

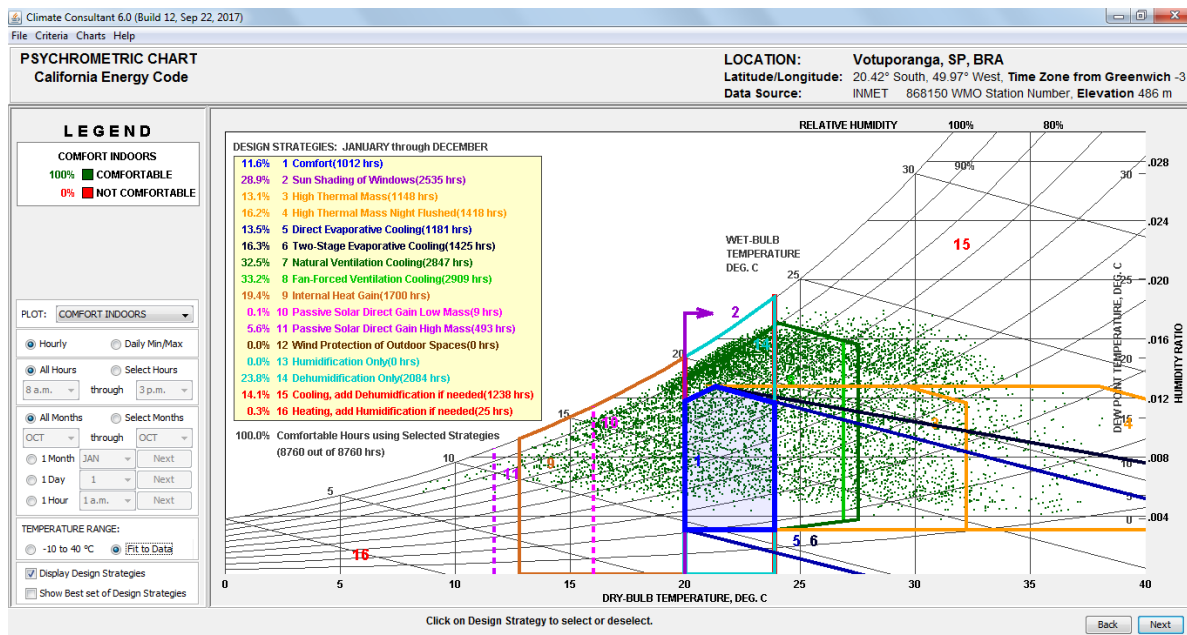


Revista Hipótese



ISSN: 2446-7154

Figura 1: Imagem do software Climate Consultant:



Fonte: Próprio autor.

Método

A pesquisa visa aplicação do método apresentando em um projeto complementar a esse, portanto será necessário coletar dados de temperatura e umidade e de acordo com a metodologia, será utilizado termo higrômetro com data logger e protótipos de cobertura referentes a uma pesquisa em conjunto a esta. A seguir será apresentado um roteiro acessível para a avaliação da eficiência de coberturas com alto desempenho térmico e associadas a sistemas de armazenamento de águas pluviais.

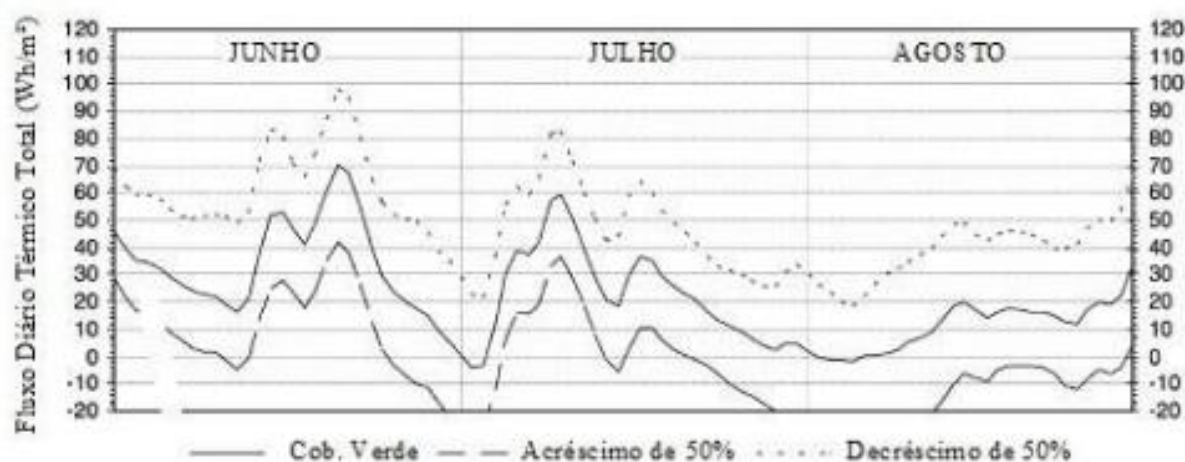
Clima da região de estudo

Segundo Theodosiou (2003), para um ambiente úmido a evapotranspiração é reduzida e a vegetação passa a ter como função principal a proteção das camadas inferiores através de sombreamento e elevada inércia térmica. O autor também apresenta que a umidade relativa é o fator climático mais importante, visto que um ambiente seco propicia a evapotranspiração e



a capacidade de resfriamento. Como podemos observar na Figura 2, o maior fluxo de calor ocorre após os níveis de umidade chegarem a seu mínimo.

Figura 2: Fluxo térmico através da cobertura verde para diferentes níveis de umidade—Efeito da umidade relativa no fluxo térmico (legendas traduzidas por Ferraz (2012))



Fonte: Theodosiou (2003)

Analisando estes dados é possível comprovar que as condições climáticas desempenham uma importante função no desempenho térmico de coberturas verdes e de dispositivos termorreguladores. Ciente destas informações, podemos interpretar que um método eficiente para a avaliação da eficiência térmica deve englobar a umidade relativa do ar e os fatores climáticos da região de estudo. Estes dados podem ser obtidos por uma estação meteorológica automática adquirida ou municipal, neste caso se a distância dos protótipos para o equipamento for muito grande pode invalidar os dados obtidos. No caso do IFSP – Campus Votuporanga a estação meteorológica se encontra ao lado das instalações do campus.

Variáveis do protótipo analisado

O experimento deve buscar compreender as condições reais que serão vivenciados pelos proprietários do sistema construtivo analisado, portanto as variáveis relativas às condições de conforto também devem ser consideradas. Para garantir a comparação entre os



protótipos, as medições devem ser feitas simultaneamente. Para assegurar estes parâmetros, Ferraz (2012) mediu no interior dos protótipos as variáveis a seguir:

- Temperaturas superficiais de piso, parede e teto (°C);
- Temperaturas internas e externas do ar (°C);
- Temperatura do ponto de orvalho do ar interior (°C);
- Umidade do ar (interna e externa, %).

Para assegurar a validação do experimento é necessário que os sensores utilizados para a coleta de dados apresentem características de precisão padronizadas por norma. A norma ISO 7726:1998, que trata sobre ergonomia do ambiente térmico, estabelece as características recomendadas para os instrumentos de medição de grandezas físicas. Apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Faixa de precisão dos instrumentos segundo a norma ISO 7726:1998

Variáveis	Faixa para conforto	Precisão para conforto	Faixa para estresse	Precisão para estresse
Temperatura do ar (T)	10 a 40 °C	Desejada: ± 0,5 °C Requerida: ± 0,2 °C	-40 a 120 °C	Desejada: ± 0,5 °C (0 a 50 °C) Requerida: ± 0,25 °C (0 a 50 °C)
Temperatura radiante média (Trm)	10 a 40 °C	Desejada: ± 2 °C Requerida: ± 0,2 °C	-40 a 150 °C	Desejada: ± 5 °C (0 a 50 °C) Requerida: ± 5 °C (0 a 50 °C)
Velocidade do ar (va)	0,05 a 1 m/s	Desejada: ± (0,05 + 0,05 va) m/s Requerida: ± (0,02 + 0,07 va) m/s	0,2 a 20 m/s	Desejada: ± (0,1 + 0,05 va) m/s Requerida: ± (0,05 + 0,05 va) m/s
Umidade absoluta (pa)	0,5 a 3,0 kPa	± 0,15 kPa Tr - T < 10 °C	0,5 a 6,0 kPa	± 0,15 kPa Tr - T < 20 °C

Fonte: ISO 7726:1998

Período para obtenção dos dados

Para produzir uma base de dados mais abrangente, é recomendável que os dados sejam obtidos abrangendo todas as variações climáticas existente na região. Deste modo será



possível compreender a influencia na temperatura e umidade do ambiente propiciado pelos diferentes tipos de coberturas.

Nesta pesquisa aferimos as medições no mês de outubro, onde ocorre as piores situações de conforto térmico, ou seja, temperaturas mais elevadas com umidade relativamente baixa. Os horários escolhidos para coleta de temperatura e umidade foram:

- 8 horas da manhã: pouca insolação;
- 10 horas da manhã: início da insolação intensa;
- 13:30 horas: insolação intensa;
- 15:30 horas: termino da insolação intensa.

Equipamento Utilizado

O equipamento utilizado para aferir os dados relativos de temperatura e umidade foi o Data Logger RC-4HC, ilustrado na Figura 3. O fabricante recomenda utilizar durante o armazenamento e transporte de produtos alimentares, medicamentos, produtos químicos e laboratório, portanto viabiliza sua aplicação nesta pesquisa. Conforme a imagem a seguir, o aparelho vem com um cabo USB para transferir os dados coletados, uma bateria, sensor externo e um Mini CD com o software de gerenciamento de dados, que facilita o download de dados para computadores através da interface USB. Com o software, você pode analisar dados na forma de tabelas e gráficos e exportar em formato de imagem. Os dados podem ser consultados, salvos, impressos e exportados no formato PDF, TXT, Microsoft Word e Excel.

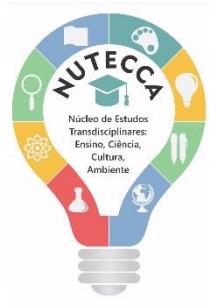


Figura 3: Floureon RC-4HC



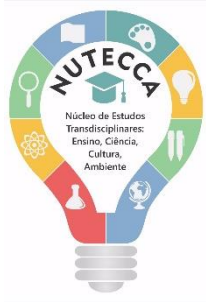
Fonte: www.elitechus.com (06/11/2017)

Abaixo são apresentadas as especificações técnicas do produto:

- Faixa de medição de temperatura: $-30^{\circ} \sim +60^{\circ}$; sensor externo (comprimento do cabo 1,1 m), $-40^{\circ} \sim +85^{\circ}$;
- Precisão de temperatura: $-30^{\circ} \sim +60^{\circ}$, $\pm 0,6^{\circ}$, outros, $\pm 1,2^{\circ}$;
- Unidade de temperatura: graus Celsius ou Fahrenheit opcional, configurada através do software de gerenciamento de dados RC-4H.
- Faixa de medição de umidade: 0 ~ 99% RH
- Precisão de umidade: $\pm 3\%$ de HR (25° , 20 ~ 90% de HR), outros, $\pm 5\%$ de HR;
- Resolução: Temperatura 0.1° ; Umidade 0.1% RH;
- Capacidade de registro: RC-4HC 16000points (MAX);
- Intervalo de gravação: 10s ~ 24 horas ajustável.

As características acima abrangem os parâmetros mínimos estabelecidos pela norma ISO 7726:1998, na tabela Faixa de precisão dos instrumentos. Por conseguinte, válida a utilização do equipamento adquirido.

Ambiente de estudo



Foi proposto para avaliação do conforto higrotérmico de dois sistemas construtivos, que foram desenvolvidos em pesquisas simultâneas e complementares a esta, com objetivo de comparar a eficiência dos sistemas e relatar as vantagens e desvantagens observadas. O primeiro é um protótipo de telhado verde com substrato de fibra de coco, seria implementado em um ambiente controlado e comparado com um protótipo de cobertura comum com mesmas dimensões. Entretanto não foi possível concluir a construção dos dois protótipos. A segunda análise proposta foi a aplicação de cortina verde no prédio do IFSP-Campus Votuporanga, onde comparamos duas salas vizinhas e diretamente expostas ao Sol. Em uma delas foi implementada a cortina verde e completamente preenchida desde junho de 2017, conforme a figura a seguir. E a outra continuou exposta ao Sol sem nenhuma proteção.

Figura 4: Etapa atual da cortina verde (junho/2017)



Fonte: Próprio autor (2017).



Figura 5: Ambiente exposto diretamente ao Sol.



Fonte: Próprio autor (2017).

Resultados

Assim como foi proposto nesta pesquisa, os resultados obtidos são referentes aos ambientes com cortina verde e exposto diretamente ao Sol, para uma análise da eficiência real deste sistema em um ambiente de uso comum.

A tabela a seguir apresenta os resultados obtidos no período com melhor conforto térmico observado. Neste dia observou-se insolação pouco intensa, diversas nuvens e vento constante.



Tabela 2: Melhor conforto térmico registrado (18 de outubro, 2017)

18/out		Externo	Sem cortina verde		Com cortina verde	
			Interno	Superfície	Interno	Superfície
8:00hrs	Temp. (°C)	27,6	30,2	29,8	28,4	28,4
	Umid. (%)	51,3	48,5	48	53	53

Fonte: Próprio autor (outubro, 2017)

Podemos observar nos gráficos a seguir que no dia 16 de outubro de 2017, onde foi avaliado melhor situação de conforto térmico, a cortina verde diminuiu a temperatura e aumentou a umidades, desta forma tornando o ambiente mais agradável.

A seguir são apresentados os dados de temperatura e umidade coletados ao longo do dia citado anteriormente. Onde podemos observar que o ambiente com cortina verde se mante com temperaturas mais baixas e umidades favoráveis para o conforto térmico ao longo deste dia inteiro, possibilitando melhores condições para o conforto térmico em todas as variações climáticas neste período.

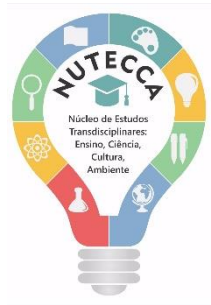
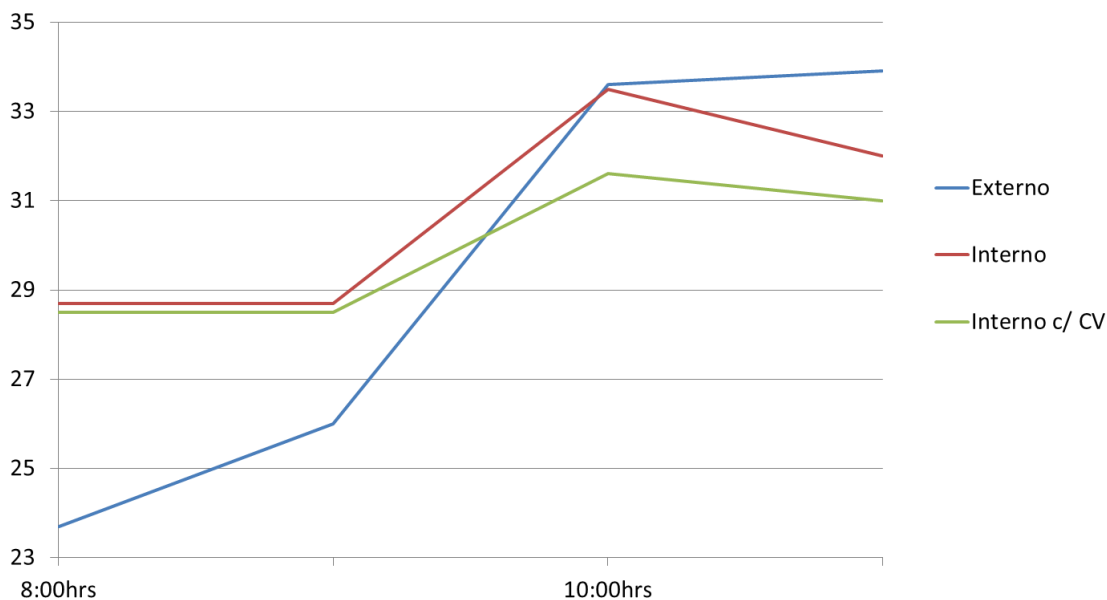
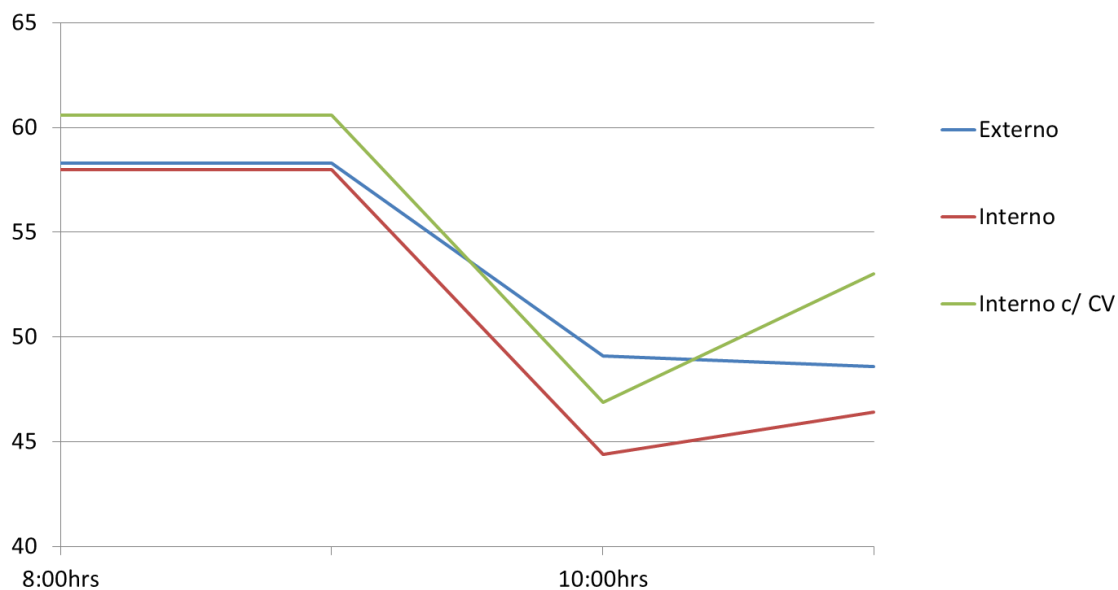


Gráfico 1: Registro de temperatura do dia 16 de outubro, 2017.



Fonte: Próprio autor (outubro, 2017)

Gráfico 2: Registro de umidade do dia 16 de outubro, 2017.



Fonte: Próprio autor (outubro, 2017)



A tabela a seguir apresenta os resultados obtidos no período com pior conforto térmico observado. Neste dia observou-se insolação muito intensa, clima abafado, poucas nuvens e vento.

Tabela 3: Pior conforto térmico registrado (18 de outubro, 2017)

18/out		Externo	Sem cortina verde		Com cortina verde	
			Interno	Superfície	Interno	Superfície
13:30hrs	Temp. (°C)	35,4	32,6	31,3	30	29,4
	Umid. (%)	37,5	43,9	45	49	48,9

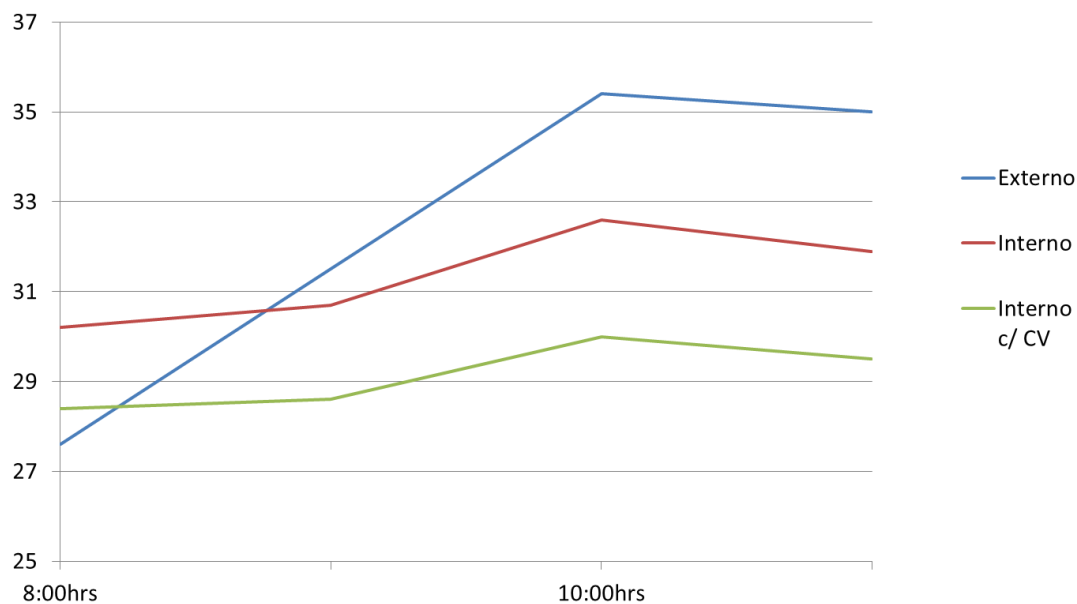
Fonte: Próprio autor (outubro, 2017)

Podemos observar nos gráficos a seguir que no dia 18 de outubro de 2017, onde foi avaliado pior situação de conforto térmico, a cortina verde também possibilitou menores temperaturas e maiores umidades, desta forma tornando o ambiente mais agradável.

A seguir são apresentados os dados de temperatura e umidade coletados ao longo do dia citado anteriormente. Onde podemos observar que o ambiente com cortina verde se manteve com temperaturas mais baixas e umidades consideravelmente mais altas ao longo deste dia inteiro, possibilitando melhores condições para o conforto térmico em todas as variações climáticas deste período.

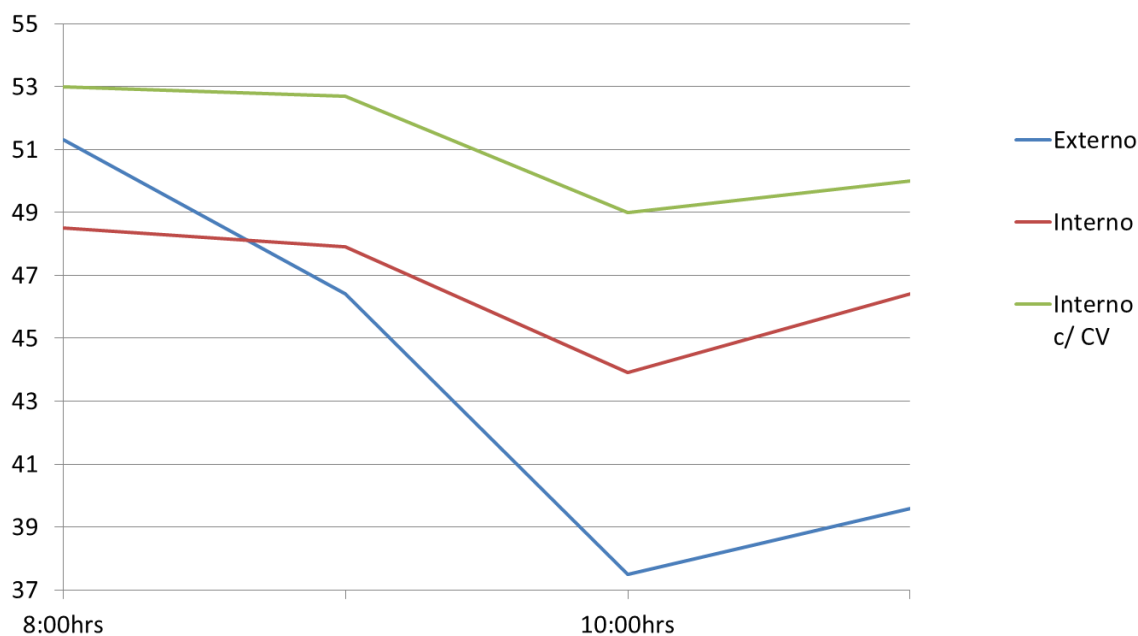


Gráfico 3: Registro de temperatura do dia 18 de outubro, 2017.



Fonte: Próprio autor (outubro, 2017)

Gráfico 4: Registro de umidade do dia 18 de outubro, 2017.

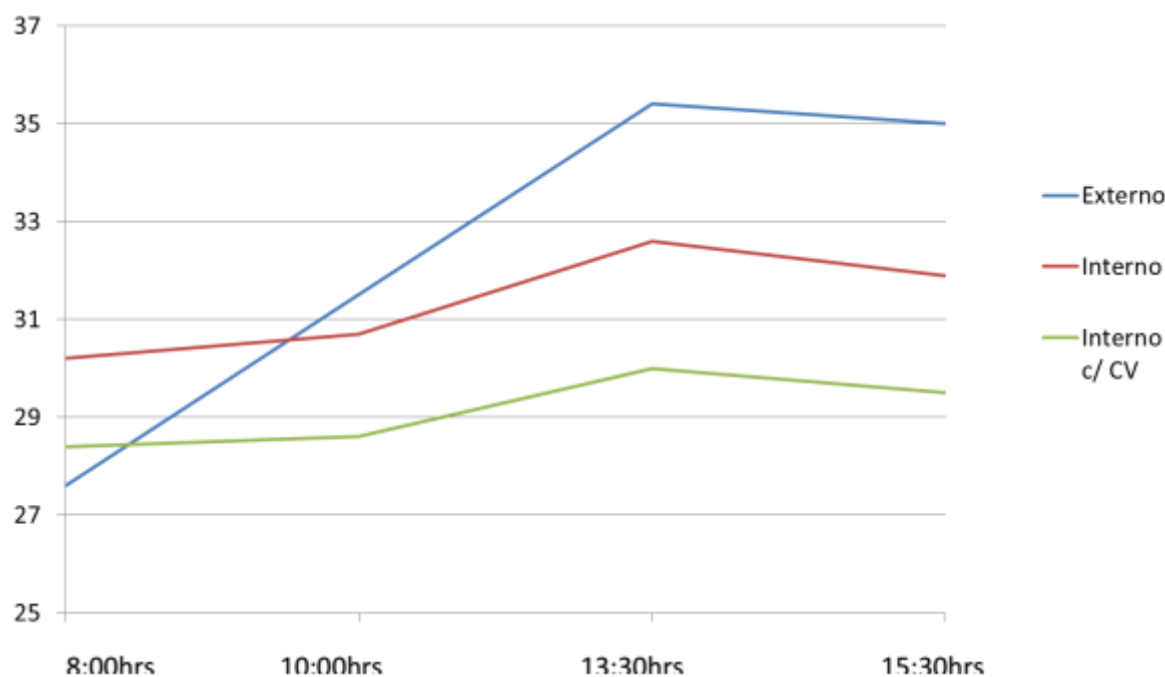


Fonte: Próprio autor (outubro, 2017)



A seguir são apresentados os dados aferidos de temperatura e umidade, coletados ao longo do mês de outubro. Onde podemos observar que o ambiente com cortina verde sempre se mante com temperaturas mais baixas e umidades consideravelmente mais altas ao longo do período considerado mais crítico, possibilitando melhores condições para o conforto térmico nessas variações climáticas.

Gráfico 5: Registro de temperatura médio no mês de outubro, 2017.



Fonte: Próprio autor (outubro, 2017)

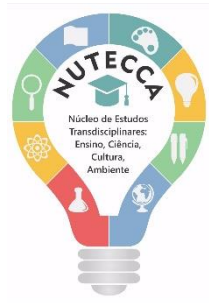
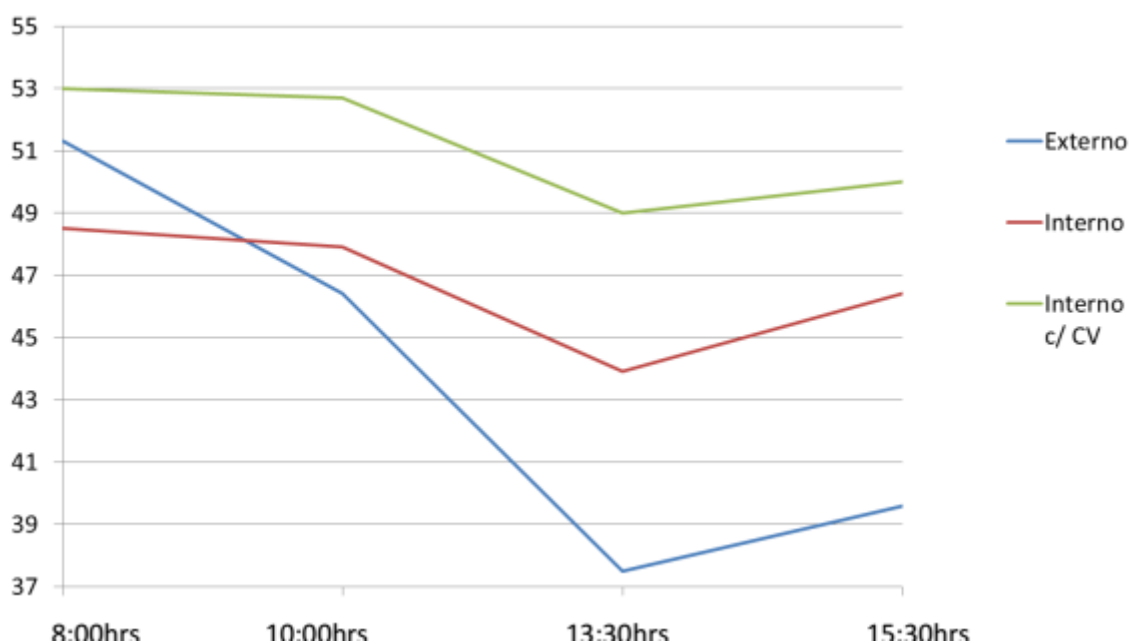


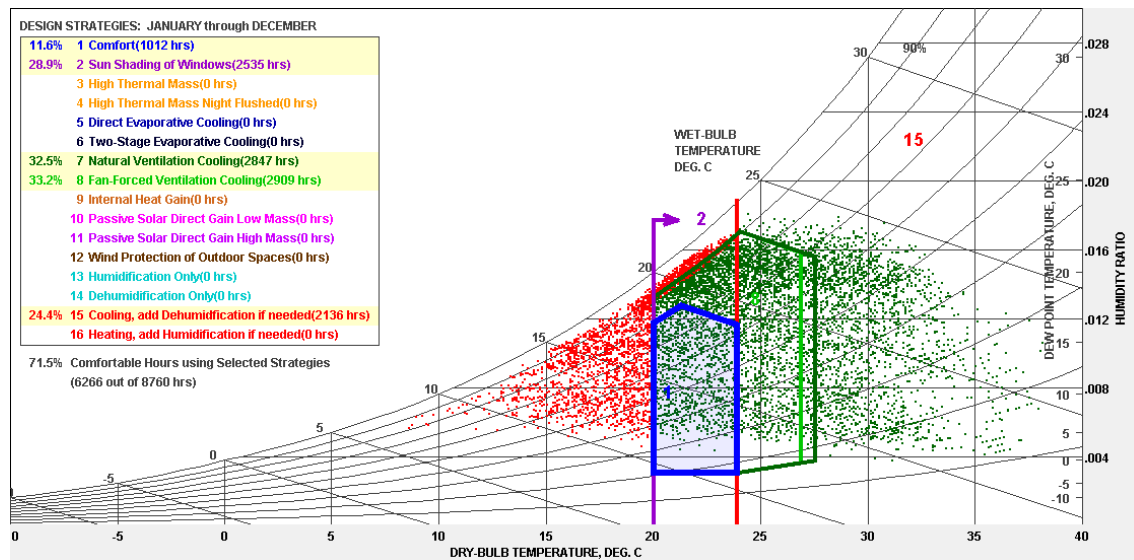
Gráfico 6: Registro de umidade médio no mês de outubro, 2017.



Fonte: Próprio autor (outubro, 2017)

Com intuito comparativo, foi utilizado o software Climate Consultan para visualizarmos as condições climáticas do município de Votuporanga e indicar os sistemas de conforto térmico que melhor atende a cada período e produzir a carta bioclimática da região. Para esta análise o programa foi configurado para com os dados climáticos do INMET referentes ao período analisado, de modo a compreender a situação estudada anteriormente. A imagem a seguir representa os resultados obtidos.

Figura 6: Carta bioclimática de Votuporanga, 2017.



Fonte: Climate Consultan (2017)

Conforme a imagem acima, apenas 11,8% do ano o clima do município de Votuporanga se manteve dentro dos padrões aceitáveis de conforto térmico, em todos os outros períodos foi necessário alguns sistemas de regulagem de temperatura ou umidade. Também é possível observar, que dentro das alternativas mais eficientes sugeridas pelo software, 28,9% do intervalo analisado a estratégia mais viável é o sombreamento das janelas, ressaltando assim a eficiência da cortina verde na melhora da qualidade do ambiente estudado.

Conclusão

A pesquisa apresentou parâmetros e conceitos necessários para o entendimento do fenômeno de transporte térmico, impacto ambiental gerado e conforto térmico em um ambiente. Posteriormente foi apresentada metodologia a ser utilizada para coleta e análise dos dados referentes ao conforto térmico, baseada em pesquisas anteriores a essa. Em seguida coletamos os dados requisitados em um ambiente de controle para validar a metodologia e em



seguida aferir as medições nos ambientes propostos, um exposto diretamente ao Sol e outro protegido pela cortina verde, produzida no projeto em paralelo a este.

Os dados coletados foram compilados e comparados entre os dois ambientes. Com uma análise comparativa, podemos perceber que o ambiente com cobertura verde se demonstrou mais eficiente em manter menores temperaturas e induzir ao conforto térmico. Pode se concluir definindo assim este sistema como eficiente, de baixo custo, fácil implantação e manutenção, sendo único fator desfavorável o longo período de implementação, sendo cerca de três anos para a total proteção das janelas (período referente ao ambiente avaliado).

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: **Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT/cb-02- Comitê Brasileiro de Construção Civil, 2003. 66 p.

ASHRAE; (2005), **Handbook of Fundamentals**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York, USA.

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO IAG/USP SEÇÃO TÉCNICA DE SERVIÇOS METEOROLÓGICOS (São Paulo) (Ed.). **Informações sobre as Estações do Ano na Cidade de São Paulo**. Disponível em: <<http://estacao.iag.usp.br/seasons/index.php>>. Acesso em: 5 jul. 2017.

FERRAZ, I. L. **O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica**. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Engenharia Civil, Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: , 2001.

INCROPERA, F. P et al. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008.

ISO 7726 (1998) –Thermal environments – Instruments and methods for measuring physical quantities.

ISO 7730:2005 - Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.

KRAUSE, C. B. ; LOMARDO, L. L. B.; MAIOR, F. S; **Eficiência Energética em Habitações de Interesse Social**. Brasil: Ministério das Cidades, 2005



Revista Hipótese



ISSN: 2446-7154

LAMBERTS, R. **Conforto e stress térmico**. 2014. Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2014.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Ed. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf> Acesso em 15/12/2014

LAMBERTS, et al. **Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico**. Apresentado Florianópolis - UFSC, 2010. P.69-121. ISBN 978-85-7426-098-3

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C.D.; BATISTA, J. O. **Casa eficiente : Bioclimatologia e desempenho térmico**. Florianópolis : UFSC/Labee; 2010.

MICHELS, C. **Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes**. 2007. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – Sc, 2007.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P.. **Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos**. 16 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

REIS, M. N. E. Fenômenos de Transporte. Belo Horizonte - Mg: Pucmg, 2008.

REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. de O. **Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 79-90, abr./jun. 2014.

RODRIGUES, Prof. William Costa. Metodologia Científica. Paracambi: Faetec/ist, 2007. 40 slides, P&B.

SAVI, A. C. Monografia de Especialização: **Telhados Verdes: Análise Comparativa de Custo com Sistemas Tradicionais de Cobertura** – Apresentado. Curitiba, 2012. p. 16 – 55.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. da S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. **Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan./mar. 2014.

THEODOSIOU, T. G. Summer Period Analysis of the Performance of a Planted Roof as a Passive Cooling Technique . **Journal of Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 35, p.909 - 917, 2003.