



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**DEIVIS LUIS MARINOSKI**

Relatório de estágio pós-doutoral

**Projeto e montagem de uma bancada para verificação  
da refletância solar de superfícies opacas  
através medições em campo**

Supervisor: Prof. Roberto Lamberts, PhD.

**Florianópolis, março de 2013.**

# SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>2</b>
2.1	ABSORTÂNCIA E REFLETÂNCIA SOLAR EM ELEMENTOS OPACOS .....	2
2.1.1	Radiação solar .....	2
2.1.2	Radiação solar e as superfícies opacas.....	3
2.2	DEFINIÇÃO DE ABSORTÂNCIA E REFLETÂNCIA.....	4
2.3	ABSORTÂNCIA E REFLETÂNCIA SOLAR ASSOCIADA AO DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS.....	5
2.3.1	A absorvância/refletância e o envelope construtivo.....	5
2.3.2	Absorvância/refletância solar em superfícies seletivas.....	6
2.3.3	Efeitos da rugosidade .....	6
2.3.4	Estudos com aplicação em coberturas.....	7
2.4	MÉTODOS NORMALIZADOS PARA VERIFICAÇÃO DA ABSORTÂNCIA/REFLETÂNCIA DE SUPERFÍCIES OPACAS .....	7
<b>3</b>	<b>PROJETO E MONTAGEM DA BANCADA .....</b>	<b>10</b>
3.1	Projeto da bancada.....	10
3.2	Especificações técnicas dos sensores.....	13
3.3	Montagem da bancada .....	14
3.4	Recomendações básicas para uso da bancada .....	15
3.4.1	Calibração dos sensores.....	15
3.4.2	Procedimento.....	15
3.4.3	Relatório de teste .....	16
3.5	Aplicação em campo.....	17

<b>4</b>	<b>OUTRAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO PÓS-DOUTORAL .....</b>	<b>19</b>
4.1	APOIO AS DICIPLINAS DE GRADUAÇÃO E POS-GRADUAÇÃO .....	19
4.1.1	Graduação.....	19
4.1.2	Pós-Graduação .....	19
4.2	Co-orientação de alunos de graduação e pós-graduação.....	19
4.2.1	Iniciação científica .....	19
4.2.2	Pós-graduação.....	20
4.2.3	Outra natureza .....	21
4.3	Participação em outros projetos de pesquisa.....	21
4.4	Participação em eventos.....	21
4.5	Participação em bancas examinadoras .....	22
4.5.1	Graduação.....	22
4.5.2	Pós-graduação.....	22
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>23</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>24</b>
	<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>26</b>
	<b>APÊNDICE 1 – Detalhamento do projeto da bancada.....</b>	<b>27</b>
	<b>APÊNDICE 2 – Produção acadêmica durante o estágio pós-doutoral.....</b>	<b>38</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Núcleo de Pesquisa da Construção (NPC), vinculado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, submeteu a CAPES, no âmbito do PNPd (Programa Nacional de Pós Doutorado), uma proposta global de estudos, com o título: “Construção Sustentável Avançada” (processo PNPd 02412/09-8). Esta proposta aborda temas em linhas de pesquisa que incluem materiais nanoestruturados e eficiência energética.

Dentro da linha eficiência energética, o objetivo geral da pesquisa é a definição e montagem de experimentos relacionados a materiais frios (chamados “cool surfaces”), que têm baixa absorção (e alta reflexão) de radiação solar. A utilização de materiais frios tem grande potencial para o melhoramento do conforto térmico dos usuários, assim como para a mitigação dos efeitos de ilhas de calor urbanos, diminuindo a absorção de energia solar nas edificações e pavimentos.

Este relatório apresenta as atividades realizadas pelo bolsista Deivis Luis Marinoski no projeto “Construção Sustentável Avançada” durante seu estágio pós-doutoral. O documento apresenta atividades específicas como a realização de uma revisão bibliográfica e o projeto e montagem de uma bancada de testes que permite a aplicação de norma ASTM E1819 (2006). Além disso, conforme os requisitos do PNPd, o aluno também se envolveu ativamente na vida acadêmica na forma de: co-orientações de alunos de pós-graduação e iniciação científica, participação em bancas examinadoras, participação em disciplinas de graduação e pós-graduação, e participação e organização de eventos científicos.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

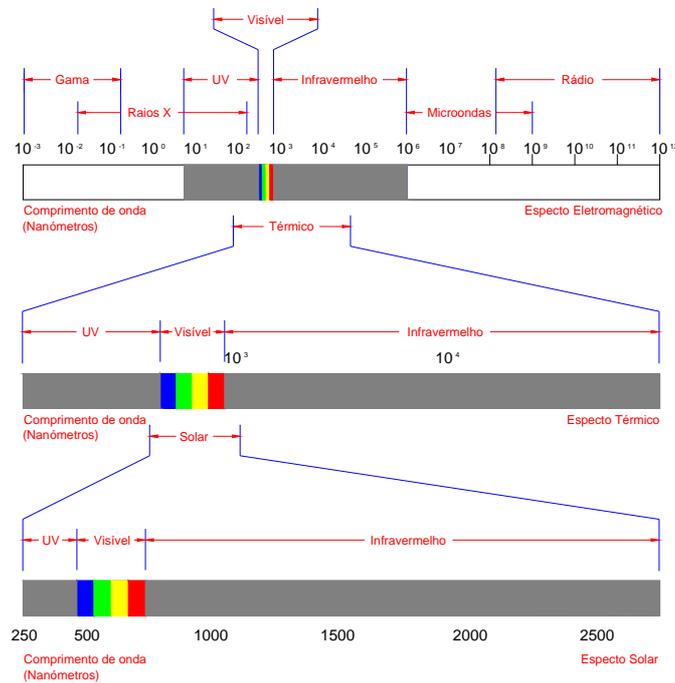
### 2.1 ABSORTÂNCIA E REFLETÂNCIA SOLAR EM ELEMENTOS OPACOS

#### 2.1.1 Radiação solar

##### 2.1.1.1 Radiação e espectro eletromagnético

A radiação é processo físico de emissão e propagação de energia entre superfícies separadas, onde esta energia pode ser transmitida através de fenômenos ondulatórios (ondas eletromagnéticas) ou por meio de partículas com energia cinética (fótons) – por exemplo, o sol é uma fonte de radiação para terra (Sparrow and Cess, 1966; NFRC, 2001).

O intervalo inteiro dos diferentes tipos de radiação eletromagnética, ou ondas eletromagnéticas, é chamado de espectro eletromagnético (Figura 1). Este espectro abrange um grande conjunto de comprimentos de onda (e freqüências) indo desde ondas muito longas, de baixas freqüências, que são as ondas rádio, passando pelas ondas de infravermelho e ondas de luz visível até chegar a freqüências muito altas (o que corresponde a comprimentos de ondas curtos ou, simplesmente, ondas curtas) dos raios gama e raios X (ON, 2004).



**Figura 1.** Espectro Eletromagnético. Fonte: Carmody et al., 1996 (adaptado).

A radiação térmica é definida como a energia radiante emitida por um corpo, a qual se deve unicamente a temperatura do corpo – ou seja, a temperatura do corpo é que governa a emissão de radiação térmica. O intervalo de comprimento de onda da radiação térmica esta

situado aproximadamente entre 300 e 50000 nanômetros (SPARROW and CESS, 1966). Todos os objetos com temperatura acima do zero absoluto emitem radiação. Em temperaturas normais encontradas na terra (entre 0°C e 100°C) esta radiação tem comprimento de onda maiores do que a faixa do vermelho visível (780 nanômetros) (Mccluney, 1987).

Já a radiação solar é explicada como a energia emitida pelo sol, incluindo comprimentos de onda na faixa ultravioleta, infravermelha e de luz visível – aproximadamente 99% da energia solar tem comprimento de onda entre 300 e 3500 nanômetros (ASHRAE, 2001; NFRC, 2001).

#### 2.1.1.2 Espectro solar padrão

Existem regiões do espectro eletromagnético para as quais a atmosfera absorve muito da energia incidente, minimizando a intensidade de radiação solar que chega à superfície terrestre. Essa radiação é separada em duas parcelas: Radiação Direta (que é a parcela de radiação solar que passa livremente pela atmosfera e incide sobre a superfície terrestre em diferentes ângulos que dependem da posição relativa do Sol a cada momento) e a Radiação Difusa (que é a parte da radiação dispersa pela atmosfera, refletida pelas nuvens, e outros).

A soma das duas parcelas é chamada de Radiação Global e a proporção entre ambas dependerá do clima, altitude e das diversas características atmosféricas que se modificam freqüentemente.

Para servir de referência, a American Society for Testing and Materials (ASTM) definiu um espectro solar padrão com base em série de dados medidos (ASTM, 2003). A curva de Radiação Global representa o espectro solar padrão e indica a proporção de energia proveniente do Sol correspondente a cada região do espectro solar que atravessa a atmosfera e atinge a superfície terrestre, distribuída nas seguintes proporções aproximadas: 3% no ultravioleta, 45% no visível e 52% no infravermelho.

### 2.1.2 Radiação solar e as superfícies opacas

A incidência da radiação solar sobre os edifícios constitui sua maior fonte de ganhos Térmicos, por isso faz-se necessário controlar esse ganho, minimizando a radiação solar que atinge o envelope ou reduzindo a quantidade de energia que o edifício absorve.

O envelope de uma edificação pode ser composto por dois tipos de materiais:

- Elementos transparentes e translúcidos: permitem a transmissão direta (ou difusa) da radiação.
- Elementos opacos: apenas absorvem ou refletem a radiação.

Quando a energia radiante atinge uma superfície, essa energia pode ser absorvida, refletida ou transmitida através do material (Eq. 1).

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad [\text{Eq. 1}]$$

Onde:

$\alpha$  = fração absorvida da radiação incidente, ou absorptância;

$\rho$  = fração refletida da radiação incidente, ou refletância;

$\tau$  = fração transmitida da radiação incidente, ou transmitância.

Em elementos opacos a transmitância será nula (Eq. 2):

$$\alpha + \rho = 1 \quad [\text{Eq.2}]$$

Com essa equação, para materiais opacos é possível determinar qualquer uma das propriedades a partir da outra.

## 2.2 DEFINIÇÃO DE ABSORTÂNCIA E REFLETÂNCIA

Dornelles (2008) apresentou uma definição para as duas palavras apresentando os sufixos “-ância” e “-idade”, que compõem a formação das palavras “absortância” e “absortividade”, designam significados diferentes para essas propriedades relacionadas à absorção de energia radiante. O sufixo “-idade” refere-se a propriedades específicas de materiais ou substâncias, enquanto o sufixo “-ância” refere-se a propriedades características de um corpo físico. Assim, o termo “absortividade” representa a quantidade de energia radiante absorvida do total que incide sobre um determinado material ou substância, e depende de sua composição química. Já o termo “absortância” é definido como a quantidade de energia radiante que atinge uma superfície e que é absorvida por ela.

A NBR15220-1 (ABNT, 2005) define termos absorptância e refletância solar como sendo:

- *Absortância Solar* ( $\alpha$ ): quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície;
- *Refletância Solar* ( $\rho$ ): quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

Os Fundamentos da ASHRAE (ASHRAE, 2001) usam os termos absorptância e refletância (“*absorptance*” e “*reflectance*”) para se referir à quantidade de energia absorvida ou refletida por uma superfície.

## **2.3 ABSORTÂNCIA E REFLETÂNCIA SOLAR ASSOCIADA AO DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS**

### **2.3.1 A absorptância/refletância e o envelope construtivo**

Devido à absorptância da superfície externa dos edifícios, boa parte da energia solar incidente no edifício é absorvida e transmitida para dentro do edifício, aumentando assim a carga térmica do edifício e por necessidade de conforto, aumenta também o consumo energético do edifício.

O desempenho térmico de uma edificação com baixa temperatura superficial acarreta uma diminuição no fluxo de calor para o interior da edificação, criando condições mais confortáveis de acordo com seu uso e diminuindo o consumo energético com o ar condicionado. Também, como reflexo disso, ocorre a redução da temperatura dos arredores da edificação, minimizando assim os efeitos da ilha de calor urbana (Synnefa et. al. 2007a).

Para Givoni (1981), superfícies com baixa absorptância solar que refletem a maior parte do calor e da luz do sol usualmente são pintadas com cores “claras”.

O mercado de tintas e revestimentos, entretanto, oferece grande variedade de cores, com diferentes tonalidades e tipos de acabamentos, enriquecendo as possibilidades estéticas dos projetos arquitetônicos. O usuário, ao escolher a cor a ser utilizada nos fechamentos opacos de uma edificação, usufrui desta variedade de tons apenas por sua percepção visual, sem ter conhecimento dos efeitos que a cor selecionada produzirá sobre o desempenho térmico ou lumínico da edificação (Dornelles, 2008).

No Brasil, são poucas as pesquisas sobre o comportamento dos materiais opacos frente à absorção/reflexão do calor solar. Castro (2002) estudou a atenuação do ganho de calor solar de amostras de tintas medidas em espectrofotômetro. O estudo constatou considerável diferença entre as refletâncias apresentadas por pastilhas pintadas e as obtidas a partir do catálogo. Este fato reforça os riscos representados pelas decisões tomadas com base apenas na aparência, pois nem sempre a cor escolhida no catálogo representa o comportamento da superfície pintada.

A medição de propriedades radiativas ou ópticas apresenta uma série de dificuldades, pois diferentes bancadas e componentes são necessários, conforme a variável a ser medida.



Algumas propriedades podem ser medidas de forma global, outras são medidas de forma espectral, fazendo-se a integração no espectro para se obter o valor global.

Dornelles (2008) divulgou dados atualizados de absorvância e refletância solar de superfícies opacas, a partir de ensaios laboratoriais em espectrofotômetro para 78 amostras pintadas com diferentes cores e tipos de tintas.

Já Santos et al. (2009) apresentou um estudo com amostras de tintas de mesma cor porém com acabamentos diferentes, do tipo acrílica PVA e Latéx semi-brilho. Estas apresentaram valores de absorvância próximos, porém diferentes, mostrando que a absorvância não depende só da aparência da tinta, mas também de sua textura.

### **2.3.2 Absorvância/refletância solar em superfícies seletivas**

Karlessi et al. (2009) apresenta um estudo de desenvolvimento e testes comparativos de revestimento altamente eficiente em sua refletância, para ser utilizado em edifícios e estruturas urbanas. Esses revestimentos são compostos por pigmentos termocromicos, que respondem termicamente ao ambiente, mudando reversivelmente sua estrutura espectral com a variação da temperatura, produzindo uma mudança na sua cor visível. A partir do estudo os autores concluíram que os sistemas termocromicos podem funcionar como sistemas economizadores de energia. Para altas temperaturas, os revestimentos termocromicos têm a capacidade de refletir a energia solar, reduzindo a temperatura da superfície, enquanto que no inverno absorve a energia solar aumentando a temperatura da superfície.

### **2.3.3 Efeitos da rugosidade**

A composição química da cor de uma superfície não é o único fator que deve ser levado em consideração para avaliar a quantidade de energia que esse material poderá absorver ou refletir. A rugosidade dessa superfície também tem significativo efeito sobre a quantidade de radiação solar absorvida ou refletida por uma superfície.

Quando uma superfície rugosa é atingida por um feixe de energia, ela sofre um efeito chamado de inter-reflexão. Essa inter-reflexão provoca um aumento no valor da energia absorvida pela superfície.

No Brasil a influência da rugosidade superficial de amostras sobre a sua absorvância/refletância solar foi avaliada por Dorneles (2009) através de resultados de medições em um espectrofotômetro UV-VIS-IR.

### **2.3.4 Estudos com aplicação em coberturas**

Wray e Akbari (2008) realizaram um conjunto de seis experimentos para determinar os efeitos da refletância no aquecimento do ar sobre o teto ao redor do condensador do sistema de ar condicionado e avaliar os efeitos do potencial de operação do ventilador na recirculação do ar quente de descarga do condensador. Os experimentos envolviam duas condições de cobertura do telhado, sendo uma cobertura quente com o telhado em seu piso normal e outra cobertura fria (com o telhado coberto por uma capa branca). As duas condições de cobertura foram combinadas com três modos de operação do ar condicionado. Foram medidas as temperaturas do ar em várias alturas em pontos perto e longe dos equipamentos de refrigeração, e da superfície de telhado em função da velocidade do vento, direção do vento e da radiação solar. A medição da refletância no telhado foi feita segundo ASTM 1918 (2006), antes e depois da aplicação do revestimento branco no telhado.

Synnefa et al. (2007b) apresentaram um estudo que teve como objetivo avaliar, por meio de simulação o potencial de economia de energia e o impacto no conforto térmico a partir da utilização de revestimentos frios de coberturas em edifícios residenciais e em diferentes condições climáticas em todo o mundo. As simulações foram realizadas para 27 cidades ao redor do mundo, com diferentes condições climáticas, incluindo o Mediterrâneo, clima subtropical e condições desérticas.

## **2.4 MÉTODOS NORMALIZADOS PARA VERIFICAÇÃO DA ABSORTÂNCIA/REFLETÂNCIA DE SUPERFÍCIES OPACAS**

A ASTM E1918 (2006) apresenta um método de teste para a medição da refletância de energia solar para diferentes superfícies horizontais com baixa inclinação analisadas em campo, utilizando um piranômetro. O método de ensaio é destinado para uso quando o ângulo do sol com a normal a partir de uma superfície é inferior a 45°. O método descrito aplica-se a grandes superfícies (círculos com pelo menos quatro metros de diâmetro e quadrados de quatro metros de lado) e superfícies homogêneas de baixa inclinação, como telhados, ruas e estacionamentos. A norma determina superfícies de baixa inclinação como sendo superfície de inclinação menor que 9,5°. Neste método é utilizado o espectro solar com extensão de comprimento de onda de 300 a 3500nm, onde se encontra aproximadamente 99% da energia solar. O piranômetro é usado para medir a radiação solar que chega e que é refletida por uma superfície horizontal uniforme ou de baixa inclinação. A precisão da faixa espectral do

piranômetro (PSP - precision spectral pyranometer), recomendada deve ser para a energia radiante na faixa de 280 a 2800nm.

O piranômetro é montado na extremidade de um “braço”, a uma posição que coloca o sensor a no mínimo 50cm acima da superfície a ser analisada. Para minimizar o efeito de sombreamento na radiação refletida medida, o braço deve ser fino e longo para lançar a menor sombra possível sobre a amostra, e permitir que o piranômetro seja voltado para cima e para baixo facilmente, como mostra a Figura 2.

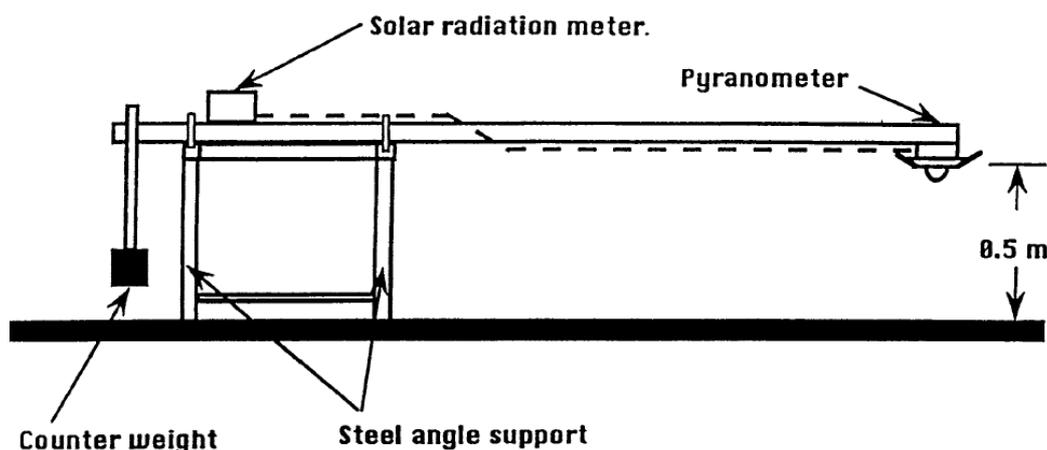


Figura 2. Esquema de posicionamento do Piranômetro. (ASTM E1918, 2006).

Os testes devem ser realizados em um dia claro e ensolarado, sem cobertura de nuvens ou nevoeiro durante as medições. O ensaio deve ser feito em condições em que o ângulo do sol com a normal, a partir da superfície de interesse, seja inferior a 45°. Isso limita o teste entre o horário das 9 horas às 15 horas, hora local padrão, quando a radiação solar é pelo menos 70% do valor obtido no meio-dia solar.

Antes de realizar cada medição deve-se alinhar o suporte de tal forma que os pontos de apoio do braço fiquem direcionados ao lado oposto do ângulo de incidência e o piranômetro paralelo à superfície em que a medição é conduzida.

Com a face do piranômetro voltada para cima, é feita a leitura da radiação solar recebida, depois para baixo para ler a radiação solar refletida, com leitura constante durante pelo menos 10s em um intervalo de tempo inferior a 2min.

Outra norma que é válida para análise de propriedades solares de superfícies de baixa inclinação é a ASTM E 1980 (2001), que abrange dois métodos do cálculo do índice de refletância solar (SRI – solar reflectance indication) das superfícies opacas horizontais e de baixa inclinação (inferiores a 9,5° em relação à horizontal), em condições normais e com emissividade superior a 0,1. O índice de Refletância Solar (SRI) é definido como sendo o cálculo

da temperatura relativa de superfície, com relação às temperaturas de referência de superfícies na cor branca e negra, sendo essas com SRI considerado igual a 100 e zero, respectivamente.

A ASTM E903 (1996), apresenta um método de medição da refletância apenas para materiais opacos, através do uso de espectrofotômetros com esfera integradora. A ASTM E903 (1996) destaca que a medição com o espectrofotômetro possibilita a obtenção de dados com mais precisão do que com qualquer outro sistema. A ASTM E903 (1996) pode usada para medições apenas de pequenas amostras de superfícies planas de materiais homogêneos.

Para materiais planos, lisos ou com rugosidade um pouco mais elevada (Ex: granulares) um método indicado é o definido pela ASTM C1549 (2002), com uso de um Refletômetro.

Se a superfície a ser estudada for curva, o método mais indicado é pela ASTM E1918 (2006), fazendo uso de piranômetro que abrange uma área de medição de superfícies de pelo menos 10m<sup>2</sup>, também podendo estas áreas serem ásperas e não uniformes.

Um estudo desenvolvido a partir da ASTM C1549 foi o C1549MC (CRRC, 2007), que apresentou um método estatístico simples, para medir refletância solar de superfícies aplicando ASTM C1549, aprovado para telhas de fibra de vidro e várias amostras planas ou quase planas.

Akbari et. al. (2008) propuseram um método nomeado de E1918A, que faz uso de um piranômetro para medir uma área de 1m<sup>2</sup> de superfícies uniformes, multicoloridas, segundo a ASTM 1918 (2006). Junto do piranômetro se faz uso de dois discos de referência no aparato experimental, um negro e um branco, para estabelecer uma relação através de equação apropriada. Um total de 14 amostras de 2x2m foram analisada conforme a E1918 e E1918A, entre telhas curvas multicoloridas, telhas curvas de uma cor e telhas planas com uma cor. Apesar dos autores reconhecerem que as variações entre E1918 e E1918A para telhados multicoloridos pode indicar que a área de 1m<sup>2</sup>, não representa bem a área de 10m<sup>2</sup>, recomendada E1918, eles afirmam que E1918A pode ser usada no lugar da E1918 com boa aproximação. Citam também que a refletância da energia solar de um telhado pode ser de 10% a 15% menor que a da telha que compõe o telhado, sendo esta telha testada fora do telhado.

### 3 PROJETO E MONTAGEM DA BANCADA

#### 3.1 Projeto da bancada

O projeto foi desenvolvido utilizando ferramentas computacional CAD (programa Solidworks®) após discussões e levantamento de ideias baseadas nas recomendações da ASTM 1918 (2006), para se chegar a uma concepção definitiva. Buscou-se atender as necessidades de estabilidade, posição e fixação dos sensores, regulagens de altura e nível, suporte para sistema de aquisição e determinação do contrapeso. Na Figura 3 é apresentada a vista geral da concepção desenvolvida computacionalmente.



**Figura 3.** Bancada (renderização, sem sensores).

O detalhamento das peças constituintes da bancada está explicitado na Figura 4 e relacionado na Tabela 1.

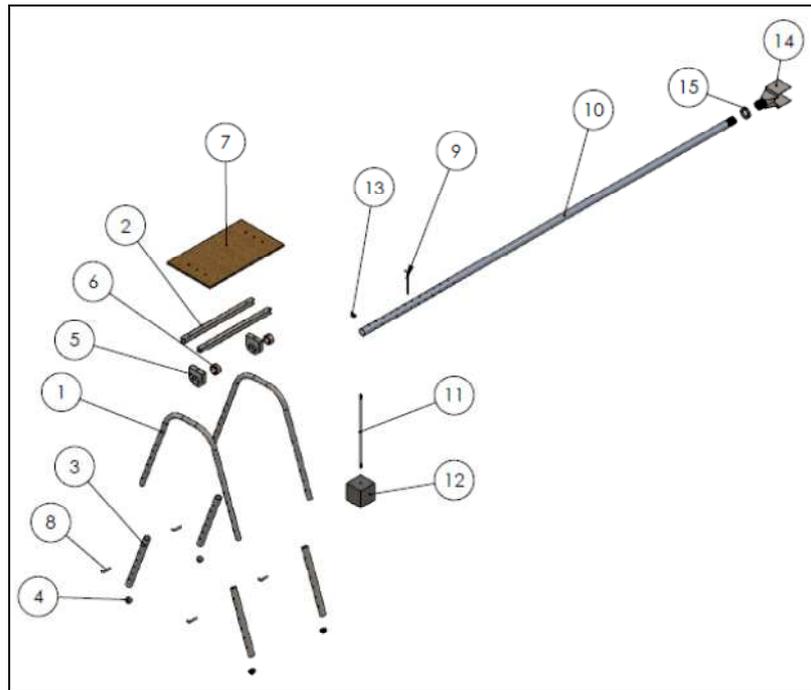


Figura 4. Vista explodida da bancada.

Tabela 1. Elementos constituintes da bancada.

Número Item	Nome da peça	Quantidade	Material
1	Suporte	2	Tubo de aço 1" x 2,77 mm
2	Travessa	2	Perfil quadrado de aço 1" x 1,7 mm
3	Pé regulável	4	Tubo de aço 1.1/4" x 2,65 mm
4	Base do pé regulável	4	Plástico
5	Suporte do mancal	2	Aço
6	Mancal	2	Plástico Poliéster
7	Mesa	1	Madeira
8	Trava do pé regulável	4	Aço
9	Trava do tubo	1	Aço
10	Tubo	1	Tubo de aço 1.1/2" x 1,58mm
11	Haste do contra-peso	1	Aço
12	Contrapeso	1	Aço
13	Porca borboleta M8x1,25	1	Aço
14	Suporte dos sensores	1	Aço
15	Porca de ajuste	1	Aço

O suporte da bancada servirá para sustentar a mesa onde ficará o sistema de aquisição de dados, bem como o tubo onde serão aplicados os sensores. Na Figura 5 se tem uma visão renderizada da estrutura de suporte.



**Figura 5.** Detalhe da estrutura de suporte da bancada.

Na Figura 6 é mostrado o suporte da bancada com a mesa e o contrapeso, destaque para a posição dos pés reguláveis.



**Figura 6.** Suporte da bancada

A norma ASTM 1918 prevê que o uso de apenas um sensor que pode ser movimentado (rotação) para ficar voltado para o céu e para a superfície em análise, efetuando leituras em sequência. Mas, uma implementação importante deste projeto em relação ao especificado na

norma é a utilização de dois sensores de radiação solar (piranômetros). Desta forma, as leituras de radiação podem ser realizadas simultaneamente sem a necessidade de intervenção do operador na posição (voltado para cima e para baixo) dos sensores, reduzindo a possibilidades de erros ou incertezas.

Dois sensores (piranômetros marca kippzonen, modelo CMP21) serão aplicados na extremidade do tubo em um suporte exclusivo, como mostrado na Figura 7. Além do suporte dos sensores, é possível visualizar a rosca feita no tubo e a porca que será utilizada para o ajuste fino da posição do suporte, garantindo a correta posição dos sensores.

Além disso, o braço de 2,5m de comprimento afasta os sensores da estrutura de suporte, minimizando o efeito da sombra na medição da radiação refletida.



**Figura 7.** Suporte dos piranômetros na extremidade do tubo

OBS.: Mais detalhes sobre o projeto da bancada são apresentados no APÊNDICE 1 deste relatório.

### **3.2 Especificações técnicas dos sensores**

Nessa pesquisa foram utilizados piranômetros de precisão tipo Secondary Standard, modelo CMP 21, da marca Kipp&Zonen. As especificações técnicas do próprio fabricante para este modelo estão logo abaixo (Figura 8).



Specifications		CMP 21	
ISO CLASSIFICATION		Secondary Standard	
Response time (95%)		5 s	
Zero offsets			
(a) thermal radiation (200 W/m <sup>2</sup> )		± 7 W/m <sup>2</sup>	
(b) temperature change (5 K/hr)		± 2 W/m <sup>2</sup>	
Non-stability (change/year)		± 0.5%	
Non-linearity (0 to 1000 W/m <sup>2</sup> )		± 0.2%	
Directional error (at 80° with 1000 W/m <sup>2</sup> beam)		± 10 W/m <sup>2</sup>	
Temperature dependence of sensitivity		± 0.5% (-20 to +50°C)	
Tilt error (at 1000W/m <sup>2</sup> )		± 0.2%	
Other specifications			
Sensitivity		7 to 14 μV/W/m <sup>2</sup>	
Impedance		10 to 100 Ω	
Level accuracy		0.1°	
Operating temperature		-40 to +80°C	
Spectral range (50% points)		310 to 2800 nm	
Typical signal output for atmospheric applications		0 to 15 mV	
Maximum irradiance		4000 W/m <sup>2</sup>	
Expected daily uncertainty		± 2%	
Recommended applications		Meteorological networks, reference measurements in extreme climates, polar or arid	



**Figura 8.** Especificações técnicas dos piranômetros

As leituras do sinal ( $\mu\text{V}$ ) dos sensores são realizadas com o auxílio de um multímetro digital (6 ½ dígitos – recomendado). Os valores de sensibilidade (constantes) utilizados para calcular a irradiação solar recebida de cada piranômetro são apresentados na Tabela 2:

**Tabela 2.** Constantes dos piranômetros

Piranômetro	$\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$	$\text{W}/\text{m}^2 / \mu\text{V}$
1 (CMP21 sn120959)	8,74	$1144,16 \times 10^{-4}$
2 (CMP21 sn120960)	11,31	$884,17 \times 10^{-4}$

### 3.3 Montagem da bancada

Os componentes da bancada (em aço inox, madeira e poliéster) foram fabricados por uma empresa especializada terceirizada e posteriormente a montagem realizada na UFSC. Detalhes dos componentes e da bancada montada podem ser observados nas imagens a seguir (Figura 9, Figura 10, Figura 11).



**Figura 9.** Vista da bancada desmontada



**Figura 10.** Detalhe da base de fixação dos piranômetros em chapas paralelas



**Figura 11.** Vista da bancada montada (ainda sem os sensores)

### **3.4 Recomendações básicas para uso da bancada**

A seguir são apresentadas algumas recomendações para uso da bancada, baseada na ASTM 1918 (2006).

#### **3.4.1 Calibração dos sensores**

- A maioria dos piranômetros é pré-calibrada pelos fabricantes. É recomendado recalibrá-los periodicamente segundo as especificações do fabricante (a cada um ou dois anos).

#### **3.4.2 Procedimento**

- A medição deve ser feita em superfícies secas.
- Nuvens e neblina afetam significativamente a medição, por isso o teste deve ser realizado em um dia claro e ensolarado sem nuvens ou neblina.

- O ângulo do sol para com a normal da superfície deve ser menor que 45°. Para superfícies planas e pouco inclinada o teste deve ser feito entre as 9:00 e 15:00h (horário solar local). Nesse período a irradiação solar está pelo menos em 70% do valor obtido no meio-dia. Nos meses de inverno os testes devem ser conduzidos entre as 10:00 e 14:00h (horário solar local).
- O alinhamento do suporte deve ser de tal forma que a extremidade do braço fiquem em direção ao sol (isso elimina a sombra de pessoas que realizam o teste e minimiza os efeitos da sombra do próprio equipamento). Não deve haver qualquer outra sombra no local de medição exceto a mínima sombra do próprio piranômetro e suporte.
- O piranômetro deve ser posicionado paralelo com a superfície onde a medição está sendo realizada.
- O piranometro deve ser posicionado a uma altura mínima de 50 cm acima da superfície em análise, para minimizar o efeito da sombra na medição da radiação refletida.
- O tempo de leitura entre a medição do piranômetro voltado para cima e o piranômetro voltado para a superfície não devem exceder 2 minutos.
- O procedimento de leitura deve ser repetido pelo menos 3 vezes.
- A refletância solar calculada deve ter precisão de 0,01 numa escala de refletância entre 0,00 e 1,00.
- A refletância solar varia de material para material e também com o intemperismo. Para uma boa caracterização da superfície, um mínimo de 3 medidas em locais bem espaçados (locais separados por mais de 10 vezes a altura do sensor até a superfície medida) são recomendadas.
- A refletância é o resultado da razão da radiação refletida pela recebida enquanto a absorvância é seu complemento, dado por: absorvância = 1-refletância.

### **3.4.3 Relatório de teste**

Deve informar:

- O lugar, data e tempo de teste.
- Descrição geral da superfície (condição da superfície, sujeira na superfície, idade, se possível).

- Uma avaliação qualitativa de nuvens ou neblina. (as medidas podem precisar ser repetidas se forem realizadas sob céu nublado ou com neblina.)
- A irradiação solar recebida, a refletida e a refletância solar calculada para as 3 medições aceitáveis para cada local. A refletância é a média dos três valores aceitos.

### 3.5 Aplicação em campo

No dia 18 de fevereiro de 2013, entre as 11 e 12h, um teste preliminar foi realizado para avaliar o posicionamento da estrutura da bancada e o funcionamento do sistema leitura do sinal dos piranômetros (Figura 12 e Figura 13).

Dois medidas da refletância foram realizadas em uma superfície de teste de 4x4m de pavimento do tipo pedra “Petit Pavé” branca, construída pelo Laboratório de Pavimentação da UFSC. A Tabela 3 apresenta os resultados da refletância encontrada em cada medição. Observa-se uma variação de apenas 1% (ou 0,01 absoluto) entre as duas medidas.

Novos testes utilizando a bancada estão planejados para o período de 2013 e 2014. Em um projeto de cooperação com o Laboratório de Pavimentação da UFSC, serão avaliadas as absorptâncias/refletâncias de diferentes tipos de pavimentos.

Também dentro do projeto “Construção Sustentável Avançada” (PNPD 02412/09-8 – linha MEC / CAPES) estão previstas avaliações de elementos construtivos comumente aplicados nas coberturas das edificações brasileiras (telhas cerâmicas, fibrocimento, entre outros).



**Figura 12.** Colocação da bancada em campo



**Figura 13.** Detalhe do posicionamento dos piranômetros

**Tabela 3. Resultados do teste preliminar (pedra Petit Pavé branca)**

Medição 1	Voltagem, $\mu V$	12588	4877	<b>Refletância (%)</b>
	Radiação, $W/m^2$	1112,99	558,01	<b>50%</b>
Medição 2	Voltagem, $\mu V$	13030	5105	<b>Refletância (%)</b>
	Radiação, $W/m^2$	1152,07	584,09	<b>51%</b>

## **4 OUTRAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO PÓS-DOCTORAL**

### **4.1 APOIO AS DICIPLINAS DE GRADUAÇÃO E POS-GRADUAÇÃO**

#### **4.1.1 Graduação**

- (2010 – 2012) ECV5161 - Desempenho Térmico das Edificações (em conjunto com o prof. Roberto Lamberts)
- (08/2010 - 12/2010) ECV5331 - Construção Civil (em conjunto com a profa. Fernanda Marchiori e prof. Roberto de Oliveira)

#### **4.1.2 Pós-Graduação**

- (2010) ECV4297 Transferência de Calor e Umidade em Edificações I (em conjunto com prof. Roberto Lamberts e prof. Saulo Guths)
- (2011-2012) Eficiência Energética em Edificações (em conjunto com prof. Roberto Lamberts)

### **4.2 Co-orientação de alunos de graduação e pós-graduação**

#### **4.2.1 Iniciação científica**

- Leandro Pessi Orige. A definir. Início: 2013. Iniciação científica (Graduando em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
- Gustavo Andreas Hochheim. Montagem de uma bancada de uso em campo para medição de refletâncias/absortâncias á radiação solar em superfícies opacas. 2012. Iniciação científica (Graduando em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. (Orientador).

- Ricardo Silveira. Avaliação térmica de telhas de fibrocimento utilizadas nas coberturas de edificações do campus da UFSC. 2012. Iniciação Científica. (Graduando em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
- Fabricio Pereira. Projeto e construção de um radiômetro de abertura portátil para uso didático. 2011. Iniciação Científica. (Graduando em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Fundação de ensino e Engenharia de Santa Catarina.
- Isadora Limas Coimbra. Medição de Absortância Solar de Elementos Opacos. 2011. Iniciação Científica. (Graduando em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
- Bruno Cani. Análise térmica de edificações através de imagens em infravermelho. 2011. Iniciação Científica. (Graduando em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
- Gabriela Triches de Souza. Utilização de imagens em infravermelho para análise térmica de componentes construtivos. 2010. Iniciação Científica. (Graduando em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
- Fabricio Pereira. Determinação do Fator Solar em vidros e elementos de sombreamento para janelas. 2010. Iniciação Científica. (Graduando em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

#### **4.2.2 Pós-graduação**

- Elisiane Iza dos Santos. Comparação de métodos para medição de absortância solar em elementos opacos. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

### **4.2.3 Outra natureza**

- Karran Besen. Suporte de informática ao LabEEE e CB3E. Início: 2012. Orientação de outra natureza. Universidade Federal de Santa Catarina. Fundação de ensino e Engenharia de Santa Catarina.

### **4.3 Participação em outros projetos de pesquisa**

- (2012 – Atual) Atualização e melhorias nos regulamentos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações
- (2010 – 2013) Construção, Conforto Ambiental e Uso Racional de Energia em Edificações
- (2011 – 2012) Implantação do Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações CB3E

### **4.4 Participação em eventos**

- ENTAC 2012 - XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC 2012). Juiz de Fora/MG, 2012. (Encontro).
- 3ª Oficina: Proposta de política de ciência, tecnologia e inovação para construção. Florianópolis/SC, 2011. (Oficina).
- ENCAC 2011 - XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, Buzios/RJ 2011. (Encontro).
- ENTAC 2010 - XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - Entac 2010, Gramado/RS, 2010. (Encontro).
-



## **4.5 Participação em bancas examinadoras**

### **4.5.1 Graduação**

MARINOSKI, D. L.; FOSSATI, Michele; LAMBERTS, R. Participação em banca de Matheus Barros. Aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais em um Edifício Residencial Multifamiliar. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina.

MARINOSKI, D. L.; ORDENES, M.; LAMBERTS, Roberto. Participação em banca de Rodrigo Mendes de Freitas Lopes. Otimização do desempenho energético de um edifício residencial em Portugal. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina.

MARINOSKI, D. L.; ORDENES, M.; LAMBERTS, Roberto. Participação em banca de Pedro Filipe Delgado Constantino. Avaliação da eficiência energética de uma residência unifamiliar em diferentes zonas climáticas de Portugal pelo RCCTE. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina.

### **4.5.2 Pós-graduação**

TRICHÊS, G.; SOUZA, Léa. C. L.; CERATTI, J. A. P.; LAMBERTS, R; MARINOSKI, D. L.; MARCON, Antônio Fortunato. Participação em banca de Joe Armando Villena Del Carpio. Uso de pigmentos de óxido de metais mistos na pavimentação para a mitigação da ilha de calor urbano. 2012. Exame de qualificação (Doutorando em Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O método proposto pela ASTM E1819 (2006) é aplicado para grandes superfícies, as quais por vezes têm acabamento irregular, o que não permite uma caracterização apropriada da refletância em laboratório, como por exemplo, telhados, ruas e estacionamentos.

Novas medições em campo utilizando a bancada estão planejadas para o decorrer do ano de 2013 e 2014. Em um projeto de cooperação com o Laboratório de Pavimentação da UFSC, serão avaliadas as absortâncias/refletâncias de diferentes tipos de pavimentos. Também dentro do projeto “Construção Sustentável Avançada” (PNPD 02412/09-8 – linha MEC / CAPES) estão previstas avaliações de elementos construtivos comumente aplicados nas coberturas das edificações brasileiras (telhas cerâmicas, fibrocimento, laje exposta, entre outros).

Dado o exposto, pode-se verificar que os objetivos propostos para o pós-doutorado foram atingidos e os resultados esperados foram alcançados com a realização de uma revisão bibliográfica sobre o tema, o projeto e montagem de uma bancada de testes que permite a aplicação de norma ASTM E1819 (2006), e apoio a outras atividades do departamento de engenharia civil da UFSC em nível de graduação e pós-graduação.

## REFERÊNCIAS

AKBARI, H., LEVINSON, R., STERN, S. Procedure for measuring the solar reflectance of flat or curved roofing assemblies, *Solar Energy*, Volume 82, Issue 7, Pages 648–655, July 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). G173-03: standard tables for reference solar spectral irradiances - direct normal and hemispherical on 37° tilted surface, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). C1549-02: standard test method for determination of solar reflectance near ambient temperature using a portable solar reflectometer, 2002.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E903-96: standard test method for solar absorptance, reflectance, and transmittance of materials using integrating spheres, 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E1918-06: standard test method for measuring solar reflectance of horizontal and low-slope surface in the field, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E1980-01: standard practice for calculation of solar reflectance index of horizontal and low-sloped opaque surfaces, 2001.

ASHRAE. Handbook of Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, GA, USA, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220-1: Desempenho Térmico de Edificações – parte 1: Definições, símbolos e unidades, Rio de Janeiro, 2005.

CARMODY, J.; SELKOWITZ, S. and HESHONG, L. Residential Windows: a guide to new technologies and energy performance. 1° Edition, NY, USA, 1996.

CASTRO, A.P.A.S.. Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica. 2002. 127 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas, 2002.

Cool Roof Rating Council. (CRRC). CRRC-1 Method #1: Standard practice for measuring solar reflectance of a flat, opaque, and heterogeneous surface using a portable solar reflectometer, 2007. Online em: <http://coolroofs.org/documents/CRRCMethod1Final072605.pdf>.

DORNELLES, Kelen Almeida. Absortância solar de superfícies opacas: conceitos, métodos de determinação e base de dados para tintas imobiliárias. 2008. 135 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

DORNOLLES, K.A. Absortância solar da superfícies opacas: base de dados de tintas látex acrílica e PVA e a influência da rugosidade superficial. X Encontro nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009.

GIVONI, B. Man, climate and architecture. London: Applied Science Publishers, 1981.

KARLESSI, T., SANTAMOURIS, M., POSTOLAKIS, K., SYNNEFA, A., LIVADA, I. Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures, Solar Energy, Volume 83, Issue 4, Pages 538–551, April 2009.

McCLUNEY, R. Determinig solar radiant heat gain of fenestration systems. Passive solar journal, vol. 4, n° 4, pages 439-487, 1987

NFRC. Glossary and teminology. National Fenestration Rating Council, 2001.

ON. Glossário. Observatório Nacional, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasil, 2004. Disponível em: <  
<http://www.on.br/glossario/> >.

SANTOS, E. I.; MARINOSKI, D. L. M.; LAMBERTS, R. Influencia do ambiente de medição sobre a verificação da absortância de superfícies opacas utilizando um espectrômetro portátil. X Encontro nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, 2009.

SPARROW, E. M. and CESS, R. D. Radiation Heat Transfer. Brooks/Cole Publishing Company. Belmont, California, 1966.

SYNNEFA, A., SANTAMOURIS, M., APOSTOLAKIS, K. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment, Solar Energy, Volume 81, Issue 4, Pages 488–497, April 2007a.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; AKBARI, H. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions, Energy and Buildings, Volume 39, Issue 11, Pages 1167–1174, November 2007b.

WRAY, C.; AKBARI, H. The effects of roof reflectance on air temperatures surrounding a rooftop condensing unit, Energy and Building, Volume 40, Issue 1, Pages 11–28, 2008.

## **AGRADECIMENTOS**

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelos recursos financeiros aplicados no financiamento deste estudo, através do Programa Nacional de Pós-Doutorado (PNPD).

Ao CB3E (Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações) pelo empréstimo dos piranômetros e do multímetro digital.

Ao Prof. Roberto Lamberts.

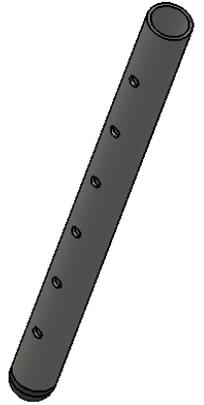
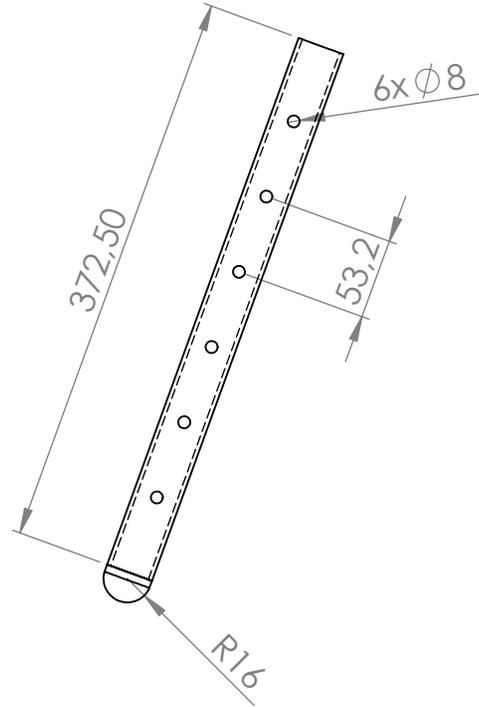
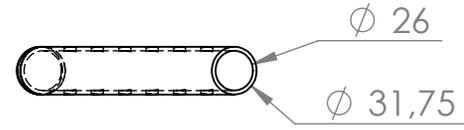
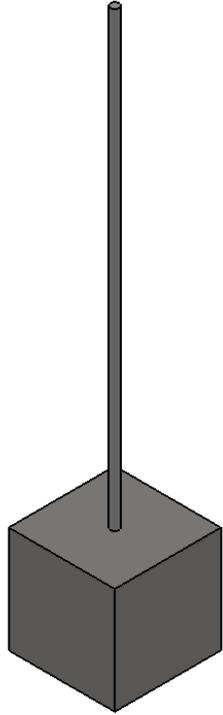
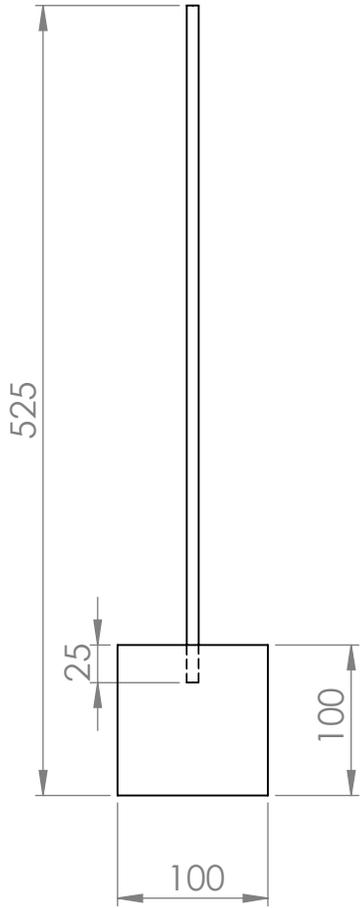
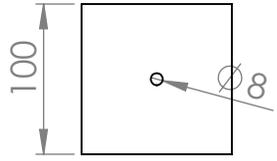
Aos colegas Fabricio Pereira , Gustavo A. Hochheim, Joe A. Villena e Elisiane I. dos Santos, que contribuíram diretamente para esta pesquisa.

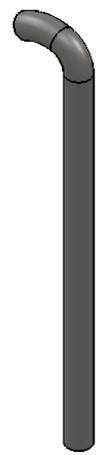
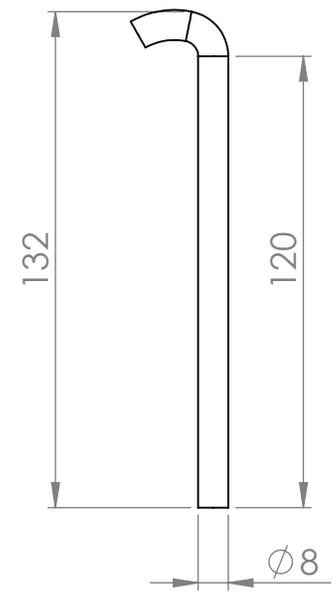
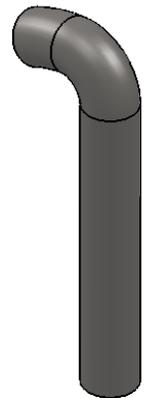
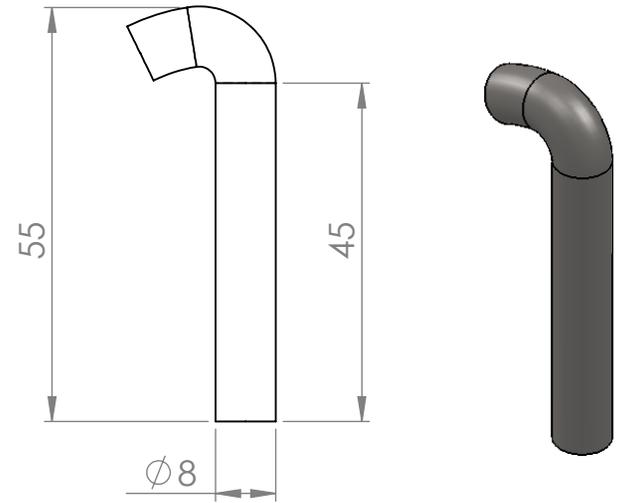
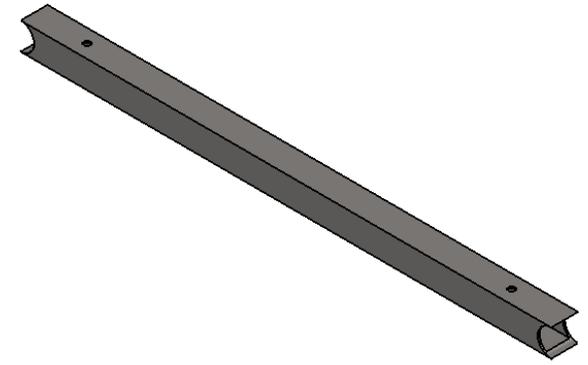
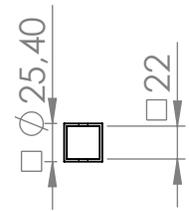
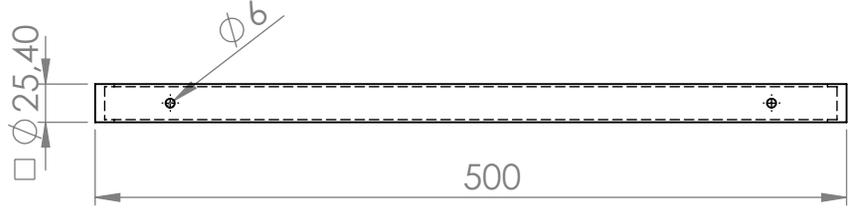
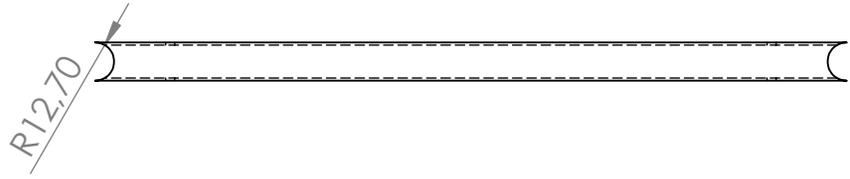
Aos demais colegas do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE),

Aos demais colegas do Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termo-físicas (LMPT).

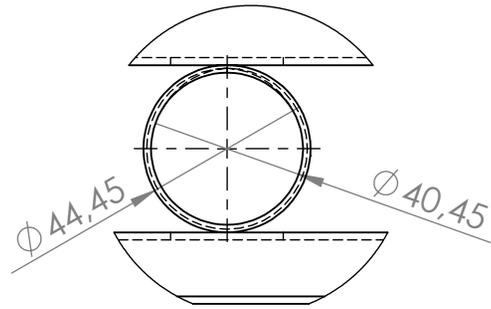
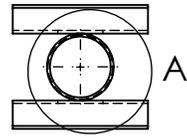
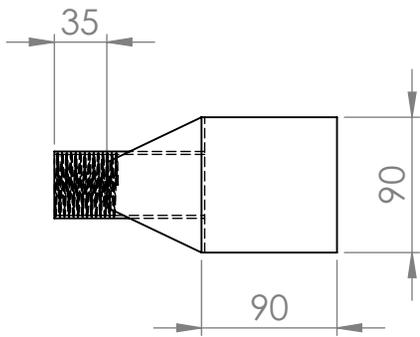
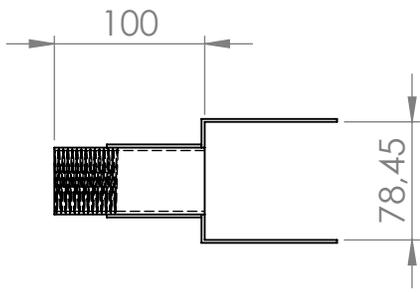
Aos demais professores, colegas e funcionários do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC).

## **APÊNDICE 1 - Detalhamento do projeto da bancada**

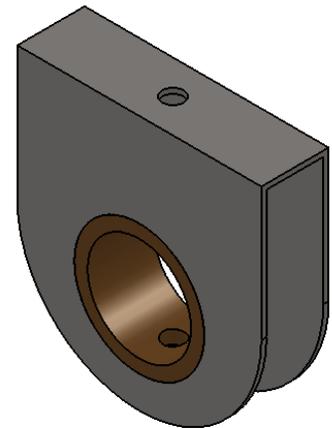
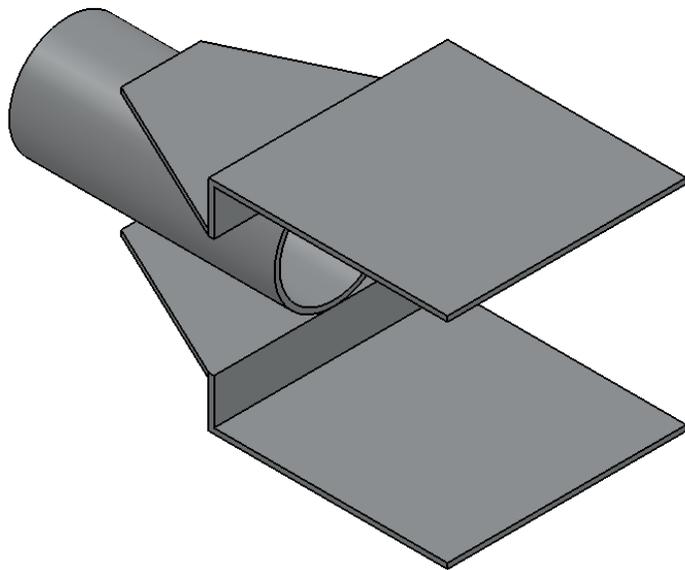
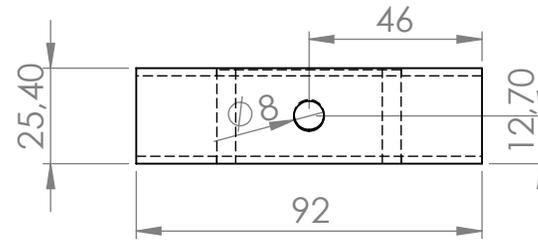
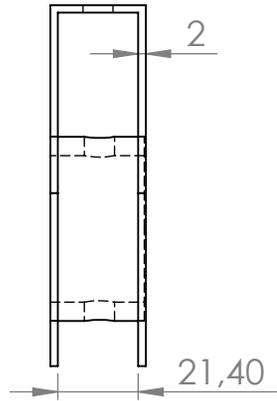
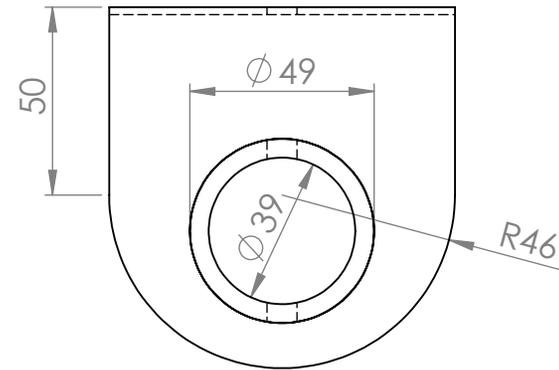


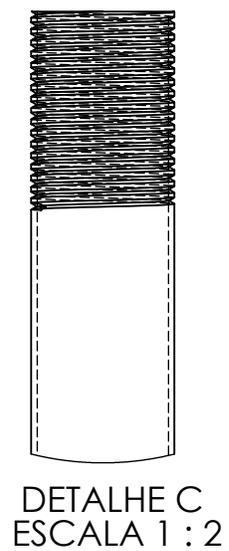
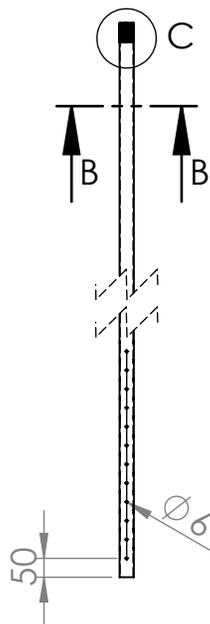
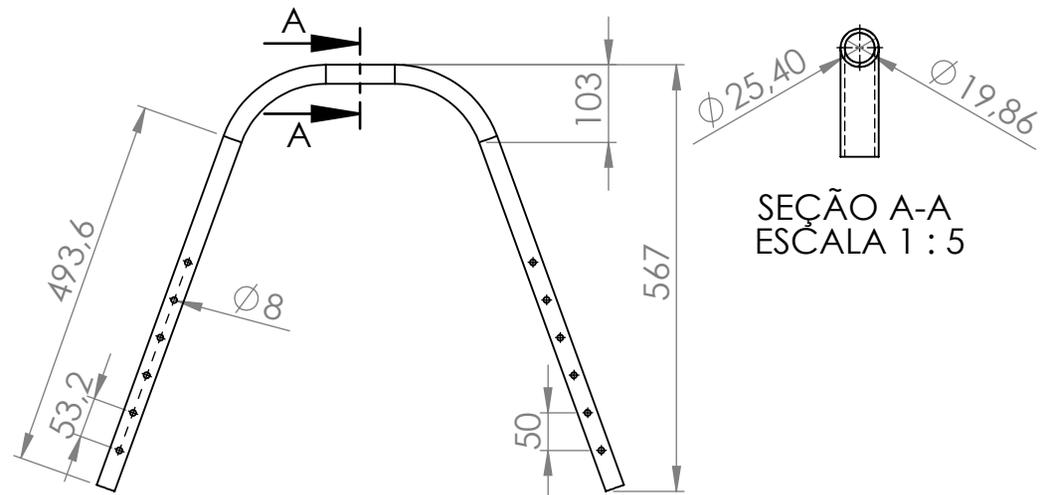
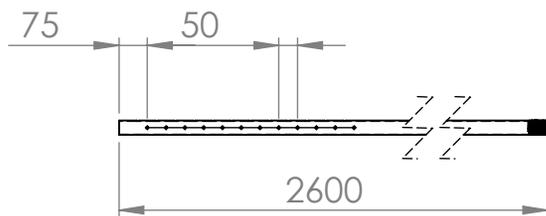
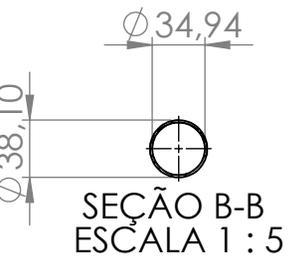


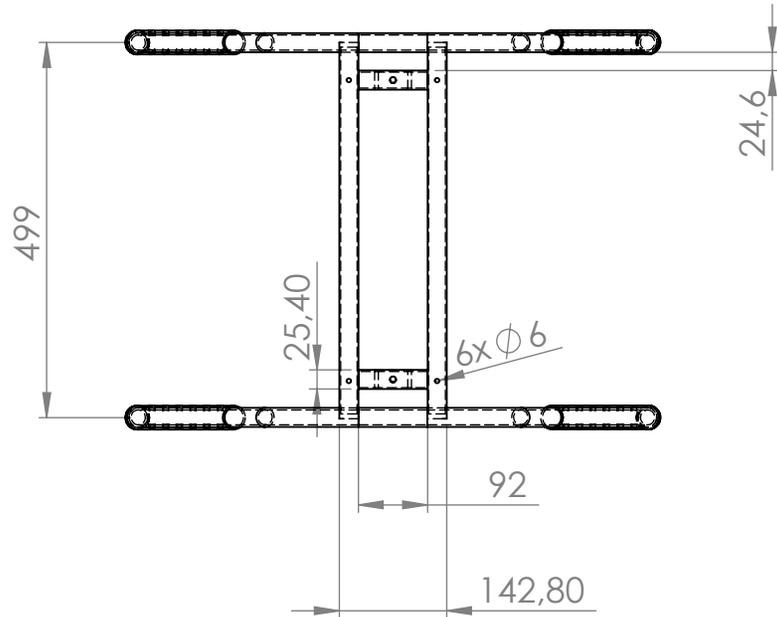
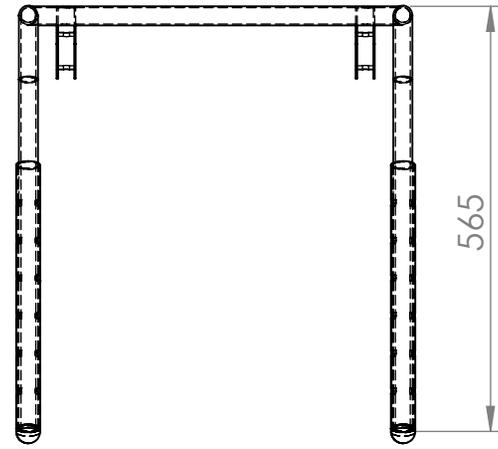
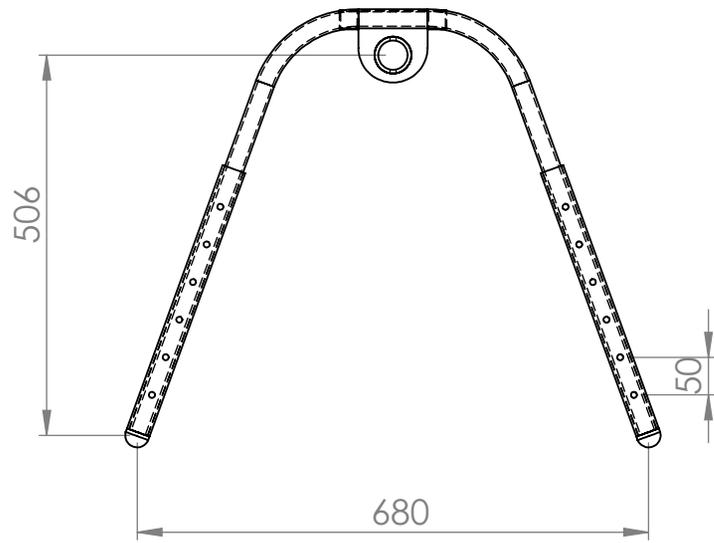


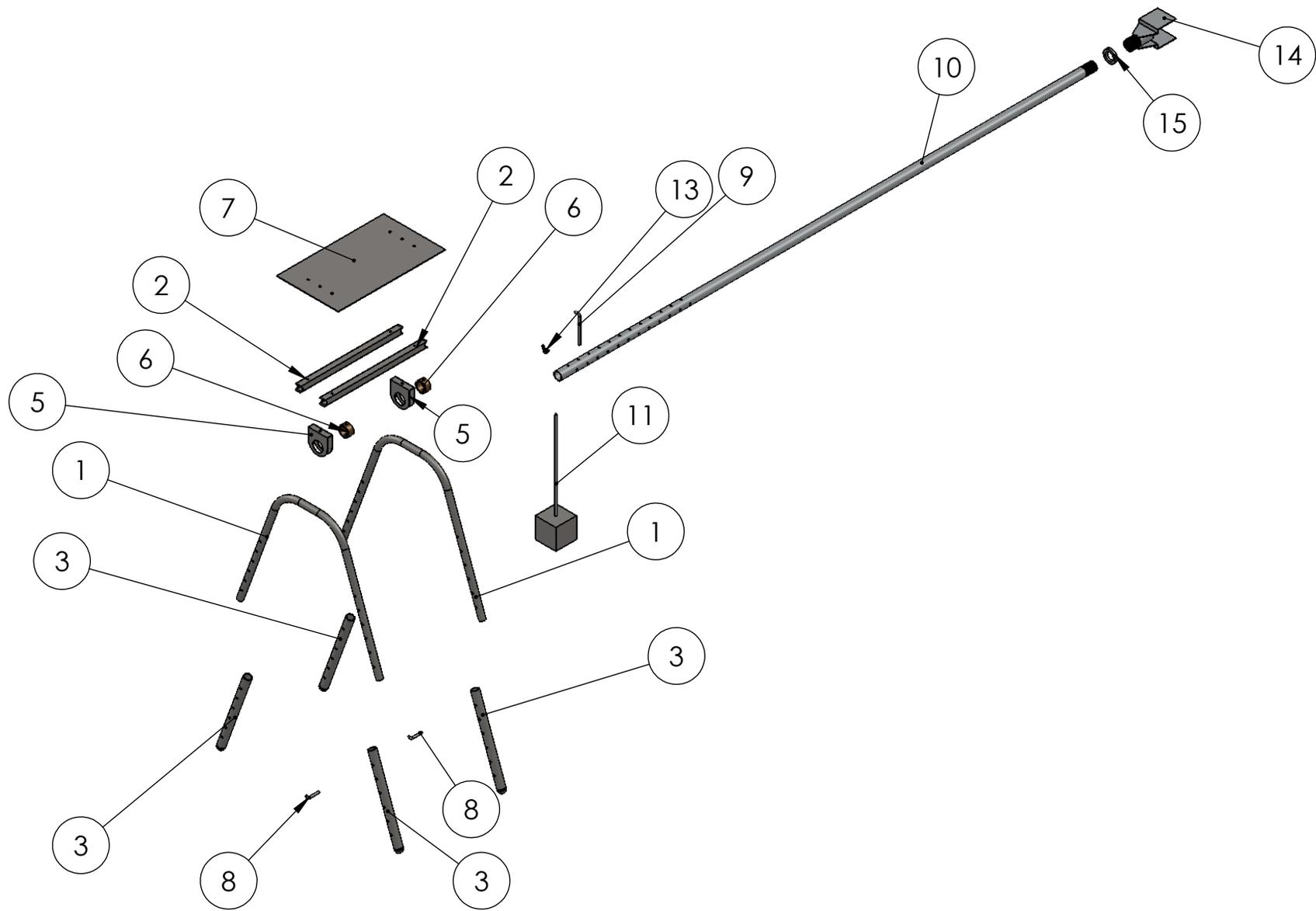


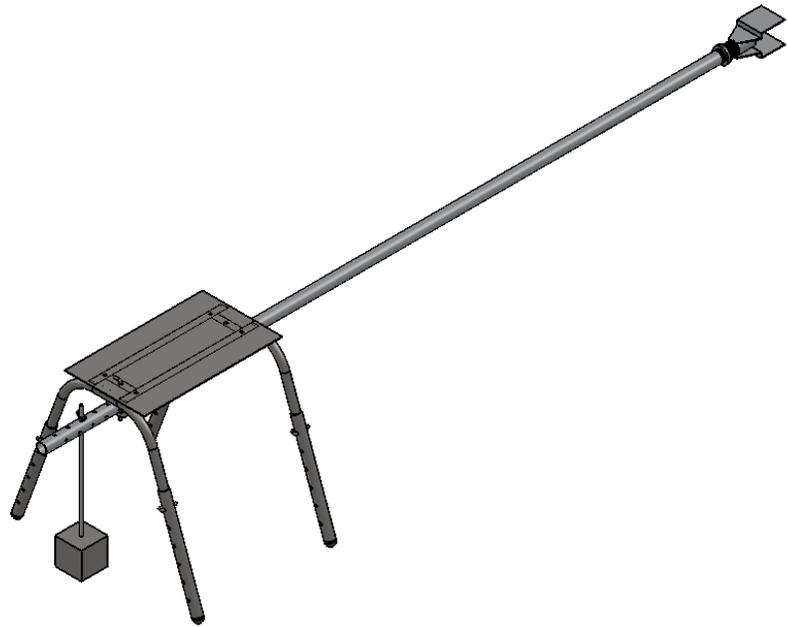
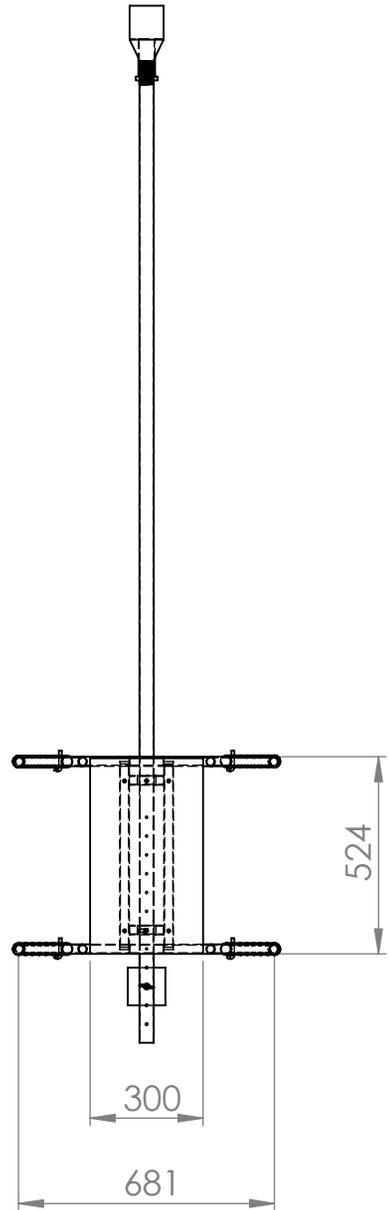
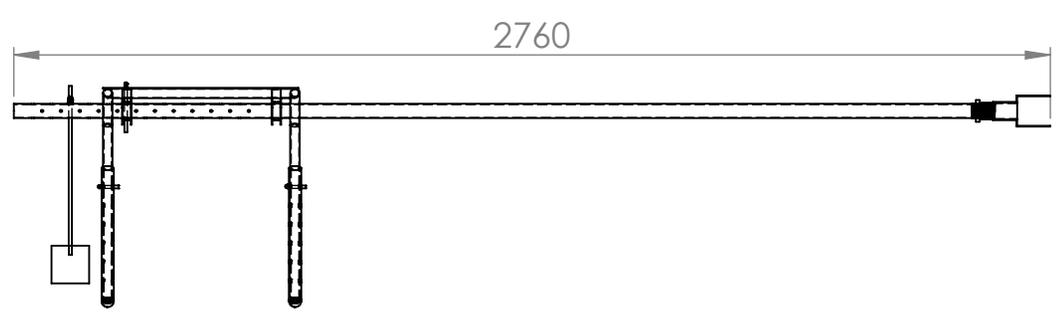
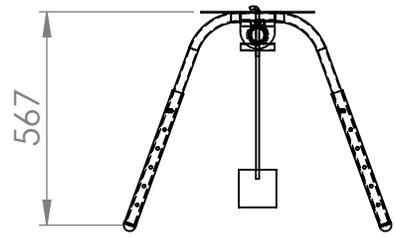
DETALHE A











## **APÊNDICE 2 – Produção acadêmica durante o estágio pós-doutoral**

### **Artigos completos publicados em periódicos**

MARINOSKI, D. L. ; GÜTHS, Saulo ; LAMBERTS, Roberto . Development of a calorimeter for determination of the solar factor of architectural glass and fenestrations. Building and Environment, v. 47, p. 232-242, 2012.

### **Trabalhos completos publicados em anais de congressos**

CANI, BRUNO F. ; MARINOSKI, D. L. ; LAMBERTS, R . Aplicação da termografia infravermelha para verificação da temperatura em telhas cerâmicas com diferentes teores de umidade e condições de limpeza da superfície. In: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012, Juiz de Fora. Anais do ENTAC 2012, 2012.

SILVEIRA, Ricardo ; MARINOSKI, D. L. ; LAMBERTS, R . Avaliação da absorvância à radiação solar e temperatura superficial de telhas de fibrocimento utilizadas nas coberturas de edificações do campus da ufsc. In: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012, Juiz de Fora. Anais do ENTAC 2012, 2012.

MARINOSKI, D. L. ; GÜTHS, S. ; LAMBERTS, R . Determinação do fator solar de vidros planos utilizando um calorímetro solar. In: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012, Juiz de Fora. Anais do ENTAC 2012, 2012.

SANTOS, Elisiane I. ; COIMBRA, I. L. ; MARINOSKI, D. L. ; LAMBERTS, Roberto ; DORNELLES, K. A. Influência da rugosidade superficial sobre os valores da absorvância solar determinados com o espectrômetro portátil alta II. In: ENCAC 2011, 2011, BUZIOS - RJ. Anais do ENCAC 2011, 2011.

SANTOS, Elisiane I. ; MARINOSKI, D. L. ; LAMBERTS, Roberto . Utilização do espectrômetro Portátil ALTA II: Verificação de absorvância solar em superfícies opacas, influência do ambiente de medição e aspectos de funcionamento. In: XVIII Jornadas de Jovens Investigadores da AUGM, 2010, Santa Fé. Anais da XVIII Jornadas de Jovens Investigadores da AUGM, 2010.

MARINOSKI, D. L. ; SOUZA, Gabriela Trichês ; SANGOI, Juliana May ; LAMBERTS, Roberto . Utilização de imagens em infravermelho para análise térmica de componentes construtivos. In: ENTAC - 2010, 2010, CANELA-RS. Anais do ENTAC 2010, 2010.



## Development of a calorimeter for determination of the solar factor of architectural glass and fenestrations

Deivis L. Marinowski<sup>a,\*</sup>, Saulo Güths<sup>b,1</sup>, Roberto Lamberts<sup>a,2</sup>

<sup>a</sup>Laboratory of Energy Efficiency in Buildings, Civil Engineering Department, Federal University of Santa Catarina, PO Box 476, Postal Code 88040-970, Florianópolis, SC, Brazil

<sup>b</sup>Laboratory of Porous Media and Thermophysics, Mechanical Engineering Department, Federal University of Santa Catarina, PO Box 476, Postal Code 88040-970, Florianópolis, SC, Brazil

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 21 March 2011

Received in revised form

8 July 2011

Accepted 22 July 2011

#### Keywords:

Solar factor

Calorimeter

Outdoor measurement

Architectural glass

Fenestrations

### ABSTRACT

This work presents the development of a calorimeter used to determine the Solar Factor of glazing and windows, including shading devices or not. Solar Factor is an index used around the world for comparing the thermal performance of fenestrations. The development of the calorimeter includes its project, construction, instrumentation particularities and calibration. The calorimeter has two systems of thermal gain measurement: the first one depends on the temperature difference of the fluid used for refrigeration of the main cavity (employed in tests with elements in full-scale); the second system is applied in a secondary cavity, where heat flow transducers are used to measure the solar gain through fenestrations. During the calibration stage, a new formulation for the determination of the Solar Factor was proposed and applied. After this, a reference glass sample (3 mm clear monolithic glass) was tested simultaneously in the two cavities. All tests were conducted under outdoor conditions. The measurement surface was always maintained in vertical position and facing north. The results of Solar Factor measurements were compared to theoretical values determined by ISO 9050. The uncertainty of measurement (absolute) was on average  $\pm 0.04$  for the secondary cavity, and ranged between  $\pm 0.10$  and  $\pm 0.16$  in the main cavity. In general, experimental values showed good agreement with theoretical values. Therefore, the calorimeter can be used for research purposes or as an alternative to determine the Solar Factor of new products, which are not covered by the calculation procedures presented in the existing standardization.

© 2011 Elsevier Ltd. All rights reserved.

### 1. Introduction

In hot-climate countries like Brazil, solar heat gain through fenestrations is largely responsible for the increase of thermal load inside buildings. Apart from implicating on users' comfort, this thermal gain influences power consumption. Considering that houses and buildings are increasingly being built with air conditioning systems, the control of solar heat gain through fenestrations is important to make buildings more efficient, reducing individual energy consumption and demand peaks in the electrical system, especially during the summer.

In Brazil the concern about the impact that fenestrations cause on energy consumption is still incipient. Most of the regulations

\* Corresponding author. Tel.: +55 48 3721 5185; fax: +55 48 3721 5191.

E-mail addresses: [deivis@labeee.ufsc.br](mailto:deivis@labeee.ufsc.br) (D.L. Marinowski), [saulo@lmpt.ufsc.br](mailto:saulo@lmpt.ufsc.br) (S. Güths), [lamberts@ecv.ufsc.br](mailto:lamberts@ecv.ufsc.br) (R. Lamberts).

<sup>1</sup> Tel.: +55 48 3721 7709.

<sup>2</sup> Tel.: +55 48 3721 7090.

directed to the sector are related to the constructive aspects of windows and there are practically no national regulations related to their energy efficiency. It was only in 2009 that an official resolution was applied in this field, when the Brazilian government instituted a regulation, initially voluntary, for the certification of energy efficiency levels in commercial and public buildings [1,2]. With this regulation, the knowledge over properties of windows and their components has become essential for a global evaluation of the energy efficiency of buildings.

One of the window properties mentioned above is the Solar Factor (*SF*), also known as Solar Heat Gain Coefficient (SHGC). The Solar Factor is one of the most important indexes of energy performance of windows and fenestrations. It represents the fraction of heat gain due to solar radiation that the fenestration directly transmits, added to the portion that is absorbed and re-emitted to the interior of the building by the fenestration itself. Its definition is expressed in Eq. (1), where  $\tau$  and  $\alpha$  are the optical properties (transmittance and absorptance) of each element, and  $N$  is the fraction of absorbed heat flow that reaches the interior of the

# APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA PARA VERIFICAÇÃO DA TEMPERATURA EM TELHAS CERÂMICAS COM DIFERENTES TEORES DE UMIDADE E CONDIÇÕES DE LIMPEZA DA SUPERFÍCIE

**Bruno de Freitas Cani; Deivis Luis Marinoski; Roberto Lamberts**

LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

CTC/ECV/NPC/LabEEE, Caixa Postal 476 – CEP 88040-970

E-mail: [brunofcani@gmail.com](mailto:brunofcani@gmail.com)

E-mail: [deivis@labeee.ufsc.br](mailto:deivis@labeee.ufsc.br)

E-mail: [roberto.lamberts@ufsc.br](mailto:roberto.lamberts@ufsc.br)

## Resumo

*Este trabalho apresenta medições de temperatura superficial em amostras de telhas cerâmicas expostas à radiação solar, com diferentes teores de umidade e diferentes condições de limpeza da superfície. As medições foram realizadas através de uma câmera que produz imagens em infravermelho, permitindo observar os gradientes de temperatura na superfície das amostras. Foram obtidas em laboratório a massa e absorção de água das telhas. Os resultados apresentam a comparação da temperatura em amostras do mesmo tipo de telha (limpa) com diferentes teores de umidade (seca, 50%, 100%). Também foi realizada a verificação da temperatura de dois tipos de telhas (plan e portuguesa) com diferentes idades e condições de limpeza. Os testes demonstraram que a presença de umidade coopera com a redução da temperatura da telha. Já a presença da sujeira, acumulada ao longo dos anos, reduz a absorção de água e faz com que a superfície da telha sofra um maior aquecimento.*

**Palavras-chave:** *Telhas cerâmicas, temperatura superficial, umidade, termografia infravermelha.*

## Abstract

*This work presents surface temperature measurements in samples of ceramic roof tiles exposed to solar radiation, with different moisture contents and different conditions of surface cleanliness. Measurements were accomplished using a camera that produces infrared images, allowing to observe the temperature gradients on the sample surface. Water absorption index of tiles was obtained in the laboratory. The results show the comparison of the temperature samples of the same type of roof tile (clean) with different levels of moisture (dry, 50%, 100%). Also, the temperature of two types of roof tiles (plan and Portugal) at different ages and cleaning conditions was verified. Tests shown that the moisture presence cooperates with the roof tile temperature reduction. Moreover, the presence of dirt accumulated over the years causes a reduce water absorption and a rise of heating of the roof tile surface.*

**Keywords:** *Ceramic roof tile, surface temperature, moisture, infrared thermography.*

## 1. INTRODUÇÃO

Observando o aumento da temperatura devido ao aquecimento global e também a busca pela melhoria da eficiência energética, o setor da construção civil estuda cada vez mais alternativas para evitar o desconforto térmico nas edificações. Uma dessas alternativas é avaliar os materiais que compõe a edificação, através da observação do comportamento térmico de



# AValiação DA ABSORTÂNCIA À RADIAÇÃO SOLAR E TEMPERATURA SUPERFICIAL DE TELHAS DE FIBROCIMENTO UTILIZADAS NAS COBERTURAS DE EDIFICAÇÕES DO CAMPUS DA UFSC

**Ricardo Silveira; Devis Luis Marinowski; Roberto Lamberts**

LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações  
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina  
CTC/ECV/NPC/LabEEE, Caixa Postal 476 – CEP 88040-970  
E-mail: ricardo-silveira-18@hotmail.com  
E-mail: devis@labeee.ufsc.br  
E-mail: roberto.lamberts@ufsc.br

## **Resumo**

*Este trabalho apresenta uma avaliação comparativa dos valores de absorptância e temperatura superficial entre telhas de fibrocimento com diferentes acabamentos superficiais utilizadas na cobertura de edificações construídas no campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Para esta avaliação foram obtidas amostras planas recortadas das telhas de fibrocimento sob as seguintes condições: Telha nova (limpa), Telha pintada de branco (acrílico fosco), Telha suja (condição normal da telha depois de vários anos), Telha lavada. A absorptância das amostras foi medida em laboratório através do uso de um espectrômetro portátil. Posteriormente as amostras foram levadas a campo e expostas a radiação solar direta em um dia de céu claro e condições típicas de verão. A temperatura superficial das amostras foi obtida através de uma câmera especial que produz imagens em infravermelho. Os resultados das medições de absorptância e temperatura para cada amostra foram comparados. Na pior condição (telha pintada de branco versus telha suja) a variação da absorptância da telha chega 0,73 (absoluto), e da temperatura superficial em média a quase 12°C.*

**Palavras-chave:** *Telha de fibrocimento, Absortância, Temperatura superficial, Termografia infravermelha.*

## **Abstract**

*This work presents a comparative evaluation of fiber-cement tiles with different surfaces finish. Tiles are used in covering buildings constructed on the campus of Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Fragment were cut from flat area of tile and used like samples. In this evaluation, the samples presented the following conditions: new (clean), painted white (acrylic), dirty (normal condition after several years), washed. The absorptance of the samples was measured in the lab by using a portable spectrometer. Subsequently the samples were taken to the field and exposed to direct sunlight in a day of clear skies and typical summer conditions. The surface temperature of the samples was obtained through the use of a special camera that produces infrared images. The results of measurements of absorptance and temperature for each sample were compared. In the worst condition (dirty tile versus painted white tile), the variation of the absorptance reached 0.73 (absolute), and the variation of the average surface temperature almost 12 °C*

**Keywords:** *Fiber-cement tiles , absorptance, surface temperature, infrared thermography.*

## **1. INTRODUÇÃO**

A radiação solar é um dos fatores de maior contribuição para o ganho térmico em edifícios, sendo as coberturas normalmente a parte do envelope construtivo mais exposta à radiação solar. Entre as características relacionadas aos efeitos da radiação

## DETERMINAÇÃO DO FATOR SOLAR DE VIDROS PLANOS UTILIZANDO UM CALORÍMETRO SOLAR

Deivis Luis Marinoski <sup>1</sup>; Saulo Guths <sup>2</sup>; Roberto Lamberts <sup>1</sup>

<sup>1</sup> LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações  
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina  
CTC/ECV/NPC/LabEEE, Caixa Postal 476 – CEP 88040-970

<sup>2</sup> LMPT - Laboratório Meios Porosos e Propriedades Termofísicas  
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina  
CTC/EMC/LMPT, Caixa Postal 476 – CEP 88040-970

E-mail: [deivis@labeee.ufsc.br](mailto:deivis@labeee.ufsc.br)

E-mail: [saulo@lmpt.ufsc.br](mailto:saulo@lmpt.ufsc.br)

E-mail: [roberto.lamberts@ufsc.br](mailto:roberto.lamberts@ufsc.br)

### Resumo

*O conhecimento das propriedades das janelas e seus componentes é essencial para a avaliação do conforto e da eficiência energética dos edifícios. Uma destas propriedades é o Fator Solar (FS), conhecido internacionalmente como Solar Heat Gain Coefficient (SHGC). O Fator Solar é um dos mais importantes índices de desempenho energético de vidros e janelas. Este trabalho apresenta os resultados da medição do fator solar de três tipos de vidros planos comumente utilizados nas edificações brasileiras (vidro verde 6mm; vidro refletivo prata neutro 8mm laminado; e vidro plano incolor 6mm). As medições foram realizadas em campo, sob condições climáticas reais, utilizando um calorímetro solar. As amostras foram submetidas a dois métodos de medição (fluximétrico e calorimétrico). Os resultados apresentam os valores do fator solar medidos para cada tipo de vidro, sendo estes também comparados entre si e com valores obtidos a partir do processo de cálculo proposto pela ISO 9050.*

**Palavras-chave:** Vidros, Fator Solar, Calorímetro, Métodos de medição.

### Abstract

*The knowledge of the properties of windows and its components is essential to evaluate the comfort and energy efficiency of buildings. Solar Factor (SF) or Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) is one of the most important indexes of energy performance of glasses and windows. This work presents the results of measuring the Solar Factor of three types of flat glass commonly used in Brazilian buildings (green glass 6mm, neutral silver reflective laminate glass 8mm, and colorless flat glass 6mm). Measurements were performed in the field under real weather conditions using a solar calorimeter. The samples were subjected to two measuring methods (fluximetric and calorimetric). The results show the Solar factor values measured for each type of glass. The Solar factor values are compared with each other and also are compared with values obtained from calculation process proposed by the ISO 9050.*

**Keywords:** Glass, Solar Factor, Calorimeter, Measurement methods.

## 1. INTRODUÇÃO

As janelas podem ocupar desde uma pequena fração da área da fachada ou até mesmo chegar a compor grandes paredes envidraçadas, constituindo a maior parte do envelope construtivo. Por isso, em muitos casos, elas são consideradas um elemento dominante na aparência da edificação. A variedade de formas, cores e materiais utilizados permitem modificações na aparência e na estética arquitetônica. Além dos fatores estéticos, as aberturas apresentam originalmente outras funções, tais como permitir a passagem da luz e a ventilação. Também é



## **INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL SOBRE OS VALORES DA ABSORTÂNCIA SOLAR DETERMINADOS COM O ESPECTRÔMETRO PORTÁTIL ALTA II**

**Elisiane I. dos Santos<sup>a</sup> (1); Isadora L. Coimbra<sup>a</sup> (2);  
Deivis L. Marinoski<sup>a</sup> (3); Roberto Lamberts<sup>a</sup> (4); Kelen A. Dornelles<sup>b</sup> (5).**

<sup>a</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Cx Postal 476, CEP 88040-970, Florianópolis-SC

<sup>b</sup> Universidade do Estado de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Av. Trabalhador São-Carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos-SP

(1) Física e Matemática, Mestranda em Engenharia Civil PPGEC/UFSC, [elisiane@labeee.ufsc.br](mailto:elisiane@labeee.ufsc.br)

(2) Acad. de Eng. Mecânica, Bolsista IC PIBIC/CNPq [isadoralimas@gmail.com](mailto:isadoralimas@gmail.com)

(3) Eng. Civil, Dr, Pesquisador PNPd/CAPES, [deivis@labeee.ufsc.br](mailto:deivis@labeee.ufsc.br)

(4) Eng. Civil, PhD, Professor do Dep. de Eng. Civil da UFSC, [lamberts@labeee.ufsc.br](mailto:lamberts@labeee.ufsc.br)

(5) Eng.<sup>a</sup> Civil, Dra, Pesquisadora FAPESP, [kelend@terra.com.br](mailto:kelend@terra.com.br)

### **RESUMO**

Este trabalho apresenta um estudo sobre a influência da rugosidade superficial sobre os valores da absorptância solar, determinados com o espectrômetro portátil ALTA II. Foram utilizadas 24 amostras de testes em cinco cores (branco, preto, verde, vermelho, azul) de tintas disponíveis comercialmente. Algumas das cores selecionadas têm mais de um tipo de acabamento, tal como: emborrachada, acrílica semibrilho, acrílica fosca e PVA. As tintas foram aplicadas sobre superfícies com três texturas diferentes, sendo estas superfícies: cerâmica; lixa com granulometria P24 e lixa com granulometria P36. Os testes foram realizados em uma câmara escura e os valores encontrados no intervalo espectral de medição são ajustados ao espectro solar padrão. Valores de referência para a absorptância das amostras cerâmicas e o perfil de rugosidade dos três substratos utilizados foram determinados com equipamentos de precisão. A influência das diferentes rugosidades superficiais para cada tipo de tinta é apresentada por meio de suas curvas espectrais. Os resultados da absorptância solar total, para todas as amostras, também são comparados com os valores de referência. Observa-se que, praticamente, todos os valores de absorptância nas amostras cerâmicas são inferiores aos valores obtidos nas amostras de lixas.

Palavras-chave: Tintas, Absortância à Radiação Solar, Espectrômetro Portátil, Rugosidade.

### **ABSTRACT**

This paper presents a study about the influence of surface roughness on the values of solar absorptance, determined with the portable spectrometer ALTA II. We used 24 test samples in 5 colors (white, black, green, red, blue) of paints commercially available. Some colours have different types of finishing (rubber, acrylic semi-gloss, matte acrylic and PVA). Paints were applied on surfaces with 3 texture types. The surface textures are: ceramic surface and sandpapers type P24 and P36. The tests were accomplished into a dark chamber and the values of the spectral range of measurement were adjusted to standard solar spectral. Reference values of absorptance for ceramic samples and too roughness profiles of the 3 substrates were determined with precision equipments in laboratory. The influence of surface roughness variability for each type of paints is presented through spectral curves. Also, results of total solar absorptance for all samples and reference values are compared. It is observed that almost all values of absorptance in ceramic samples are lower than those obtained from samples of sandpaper.

Keywords: Paints, Solar Radiation Absortance, Portable Spectrometer, Roughness.



UNIVERSIDAD: **Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC**  
NUCLEO DISCIPLINARIO: **Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC**

TITULO DEL TRABAJO: **ESPERCTRÔMETRO PORTÁTIL ALTA II: VERIFICAÇÃO DE ABSORTÂNCIA SOLAR EM SUPERFÍCIES OPACAS, INFLUÊNCIA DO AMBIENTE DE MEDIÇÃO E ASPECTOS DE FUNCIONAMENTO**

AUTOR(ES): **Elisiane Iza dos Santos, Deivis Luis Marinowski, Roberto Lamberts**  
CORREOS ELECTRONICOS DE LOS AUTORES: [elisiane@labeee.ufsc.br](mailto:elisiane@labeee.ufsc.br),  
[deivis@labeee.ufsc.br](mailto:deivis@labeee.ufsc.br), [lamberts@ecv.ufsc.br](mailto:lamberts@ecv.ufsc.br)

## RESUMEN

A radiação solar é um dos fatores que mais contribui para o ganho térmico em edificações. As trocas de energia (luz e calor) entre os meios exterior e interior das edificações dependerão, fundamentalmente, do envelope construtivo e de suas propriedades termo físicas, em especial a propriedade de absorvência para os componentes opacos. As absorvências dos componentes opacos do envelope construtivo determinam parte do impacto da radiação solar na edificação, pois indicam qual fração da energia solar que chega à edificação será absorvida por seu envelope, afetando seu ganho de calor e as temperaturas internas. Este trabalho apresenta um estudo sobre a aplicação do espectrômetro portátil Alta II na verificação de valores de absorvência solar em elementos opacos, para radiações em onze diferentes comprimentos de onda (entre 470 nm e 940 nm). O Alta II é um equipamento de baixo custo para sua aquisição e é de fácil manuseio. Para a realização do trabalho foram utilizadas como amostras de teste cinco cores de tintas disponíveis comercialmente, aplicadas sobre a face de tijolos cerâmicos. Os testes foram realizados em três condições de medição: ambiente interno (exposição à luz artificial), ambiente externo (exposição à luz natural) e em uma câmara escura. Os valores encontrados no intervalo espectral de medição são ajustados ao espectro solar padrão. Após isso, os resultados das absorvências totais em cada ambiente de medição foram comparados para as condições ambiente interno versus ambiente externo, e dentro da câmara escura versus fora da câmara. Em alguns casos foram observadas variações significativas valores da absorvência devido à influência do ambiente de medição. Esta mesma análise foi aplicada também a duas amostras com a mesma cor, porém com diferente acabamento superficial, para observar eventuais diferenças nas absorvências de tintas que apresentam composições químicas distintas, mas com cores iguais. Os valores obtidos com o espectrômetro em ambiente interno e externo foram também comparados com resultados de absorvência encontrados com o uso de um Luxímetro digital. Para verificação dos aspectos de funcionamento do espectrômetro, foram realizados testes com dois espectrômetros Alta II, observando a influência da regulagem dos equipamentos sobre os seus dados de resposta. Nestes testes duas amostras cerâmicas de cor verde e branca foram utilizadas, sendo as medições realizadas com o uso da câmara escura.

**PALABRAS CLAVES: Tintas, Absorvência Solar, Espectrômetro Portátil. / Pinturas, Absorción Solar, Espectrómetro Portátil**



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

**ENTAC 2010**

XIII Encontro Nacional de Tecnologia  
do Ambiente Construído

## UTILIZAÇÃO DE IMAGENS EM INFRAVERMELHO PARA ANÁLISE TÉRMICA DE COMPONENTES CONSTRUTIVOS

**Deivis Luis Marinoski; Gabriela Triches de Souza;  
Juliana May Sangoi; Roberto Lamberts**

LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações  
Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Universitário – Trindade  
ECV/NPC/LabEEE, Caixa Postal 476 – CEP 88040-900

E-mail: [deivis@labeee.ufsc.br](mailto:deivis@labeee.ufsc.br)

E-mail: [gabitriches@hotmail.com](mailto:gabitriches@hotmail.com)

E-mail: [julimaysangoi@hotmail.com](mailto:julimaysangoi@hotmail.com)

E-mail: [lamberts@ecv.ufsc.br](mailto:lamberts@ecv.ufsc.br)

### RESUMO

Em edificações localizadas em países de clima quente (como o Brasil), a aplicação de materiais que tenham aquecimento reduzido, em função da menor absorção da radiação solar, pode proporcionar menores ganhos de calor melhorando o bem estar dos ocupantes e reduzindo o consumo de energia com condicionamento de ar. Uma das técnicas inovadoras para observação do comportamento térmico de materiais com diferentes texturas e cores é o uso de imagens térmicas geradas a partir da detecção da radiação infravermelha. Para isto, utilizam-se câmeras especiais que permitem mapear os gradientes de temperatura na superfície dos objetos analisados. Este trabalho demonstra como esta técnica pode ser utilizada para a verificação de temperaturas superficiais e avaliação do ganho de calor através de elementos opacos utilizados em coberturas ou fachadas de edificações. Além de propor recomendações para a execução das medições, também é analisada a influência dos valores atribuídos às variáveis de entrada da câmera infravermelha (emissividade e temperatura refletida) sobre o resultado da temperatura medida. Como exemplo, um teste de campo foi realizado, verificando a temperatura superficial de 9 amostras de telhas com diferentes cores de acabamento superficial.

Palavras-chave: Termográfica infravermelha, Emissividade, Temperatura, Edificações, Telhas.

### ABSTRACT

The application of materials that have reduced heating, due to lower absorption of solar radiation, can provide lower heat gains in buildings located in warm climate countries (eg. Brazil). This improves the welfare of the occupants and reduces the energy consumption with air conditioning. One of the innovative techniques for observing the thermal behavior of materials with different textures and colors is the use of thermal images generated from the detection of infrared radiation. For this, special cameras which allow mapping the temperature gradients on the surface of objects are used. This work demonstrates how this technique can be used to check surface temperatures and evaluation of heat gain through opaque elements used in roofs or facades of buildings. In addition, some recommendations are proposed for the measurement. Besides, the influence of the values assigned to input variables of the infrared camera (emissivity and reflected temperature) on the result of temperature measurement are analyzed. As an example, a field test to check the surface temperature of 9 samples of roof tiles with different colors was conducted.

Keywords: Infrared thermography; Emissivity; Temperature; Buildings; Roof tiles.