



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

VII ELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

ABSORTÂNCIAS E EMITÂNCIAS EFETIVAS DE SUPERFÍCIES: UM MÉTODO PARA ESTIMÁ-LAS E EXEMPLOS DE SUAS IMPORTÂNCIAS

Victor F. Roriz (1); Rosana Maria Caram (2); Maurício Roriz (3)

- (1) Mestre, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, vroriz@terra.com.br
Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.
- (2) Doutora, Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da EESC USP, rcaram@sc.usp.br.
Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos
- (3) Doutor, Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, m.roriz@terra.com.br
Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

RESUMO

Saliências e reentrâncias existentes nas superfícies típicas das edificações, tanto na escala da rugosidade quanto das ondulações (de uma telha, por exemplo), constituem obstáculos que podem alterar significativamente o comportamento das mesmas em relação aos fluxos por radiação que ocorrem em superfícies perfeitamente lisas e planas. Assim, os procedimentos usuais de cálculo, que adotam a simplificação de que todas as superfícies de uma construção são planos perfeitos, deveriam aplicar correções nas propriedades radiativas daquelas superfícies. Denominam-se efetivas às absortâncias e emitâncias que resultam dessas correções.

O presente artigo apresenta um método simples, desenvolvido para avaliar estas influências e exemplifica a importância das correções acima mencionadas, apresentando resultados de simulações elaboradas no programa EnergyPlus, para uma edificação de geometria simples, submetida ao longo de 1 ano ao clima da cidade de Brasília. Adotando-se absortâncias e emitâncias efetivas, os resultados das simulações revelam diferenças acima de 2.5°C nas temperaturas internas do ar, em relação às obtidas desprezando-se as influências que as ondulações das telhas exercem sobre os fluxos radiantes. Considerando o uso de condicionadores de ar, esta diferença pode representar uma variação superior a 20% nas estimativas de consumo de energia.

Palavras-chave: absortividade, emissividade, absortância efetiva, emitância efetiva

ABSTRACT

On surfaces perfectly flat and smooth, there are no obstacles to the radiant flow. However, typical surfaces of buildings have bumps and hollows that can significantly change the behaviour of them. Therefore, the usual calculation procedures, which adopt the simplification that all surfaces of a construction are perfect plans, should apply corrections in the radiative properties of those surfaces. The absorptances and emittances resulting from these surface irregularities could be called effective.

This paper presents a simple method developed to evaluate these influences and exemplifies the importance of such aspects, presenting results of simulations developed in the EnergyPlus for a simple geometry building, over 1 year in the city of Brasilia. Adopting effective absorptances and emittance, simulation results show differences above 2.5 ° C in the internal air temperature, compared to those obtained ignoring the influences that the ripples of the tiles have on radiant flows. Considering the use of air conditioners, this could represent more than 20% variation in the energy consumption estimative.

Keywords: absorptivity, emissivity, effective emittances, effective absorptances.

1. INTRODUÇÃO

Nos cálculos de fluxo de calor e avaliação de consumo energético, as superfícies dos edifícios são geralmente supostas como planos perfeitos, sem ondulações ou rugosidade. Entretanto, nesta simplificação, alguns cuidados devem ser tomados a fim de serem consideradas as características reais das superfícies.

Diferentes definições são encontradas na literatura para as propriedades radiativas das superfícies. No presente trabalho, adota-se o sufixo “ade” para propriedades de materiais e “ancia” para propriedades de corpos ou superfícies. Desta forma, as absorvidades e emissividades são propriedades dos materiais, já as absorvâncias e emitâncias são características das superfícies, sendo influenciadas não apenas pelo material de que são constituídas, mas também por sua geometria e acabamento superficial, que podem causar sombras e interreflexões nas superfícies.

Vale ressaltar que os procedimentos usuais de avaliação de absorvâncias solares são relacionados apenas às cores das superfícies, sendo estas classificadas em 5 ou 6 intervalos, de modo extremamente impreciso, principalmente por desconsiderarem as parcelas não visíveis da radiação solar, nas faixas de infravermelho e ultravioleta. Para a avaliação da emissividade este fato é ainda mais impreciso, adotando-se apenas 2 ou 3 categorias para sua classificação. Além disso, muitas vezes confunde-se o que são propriedades do material e propriedades da superfície e suas diferenças são ignoradas ou desprezadas.

Superfícies perfeitamente lisas e planas não oferecem obstáculos à troca radiativa de calor. No entanto, saliências e reentrâncias das superfícies, tanto na escala da rugosidade quanto das ondulações (de uma telha por exemplo), podem alterar significativamente o comportamento das mesmas em relação aos fluxos por radiação (Berdahl & Bretz, 1997; Seker & Tavitil, 1996).

Na avaliação da emissividade, por exemplo, normas internacionais de medição desta propriedade, como a ASTM C1371 (2004) e a JIS A1423 (1983), exigem que as amostras sob análise sejam lisas e planas. Da mesma forma, a ASTM C1549 (2009) faz a mesma exigência para a medição da refletância. Para superfícies perfeitamente planas e lisas, refletividade e refletância se equivalem.

No tocante à radiação, é possível estimar o efeito que as irregularidades criam e adotar a simplificação de planos perfeitos, através do uso de propriedades efetivas para as superfícies. Sparrow e Jonsson (1963), modelaram este efeito para algumas superfícies e demonstraram a importância do fenômeno. Sua dedução entretanto, se refere a geometrias simples e específicas, restringindo sua aplicação a uma série limitada de casos. No presente artigo, apresenta-se um modelo simplificado, válido para qualquer geometria, e compara-se seus resultados aos obtidos pelo método de Sparrow e Jonsson.

Roriz, Caram e Roriz (2011) apresentam um experimento que demonstra os efeitos deste fenômeno e exemplifica a importância de tais aspectos. Na avaliação dos fluxos de calor e da eficiência energética de um ambiente, estes efeitos podem ser muito relevantes. No caso de avaliações de coberturas, por exemplo, uma telha pode ter seu comportamento térmico diferenciado de outra, dependendo de suas formas, mesmo que sejam feitas do mesmo material e tenham a mesma pintura, etc. No caso de uma parede, a adoção de uma textura poderia influenciar o comportamento radiativo e a temperatura da superfície.

O modelo apresentado permite estimar esta influência e, assim, pode contribuir para a elaboração de cálculos mais realistas.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar a dedução de um método de avaliação do efeito que as irregularidades de uma superfície (rugosidade e ondulação) causam nas relações entre absorvâncias efetivas e absorvidades e entre emitâncias efetivas e emissividades, demonstrando a relevância destes parâmetros, pela comparação entre valores de temperatura do ar obtidos por simulação do comportamento térmico de uma edificação.

3. MÉTODO

O método adotado no trabalho está dividido em duas etapas principais:

- a. Equacionamento dos efeitos geométricos nas propriedades radiativas de uma superfície.
- b. Simulações no programa EnergyPlus do comportamento térmico de edificações considerando ou não os efeitos das absorvâncias e emitâncias efetivas.

3.1. Equacionamento

Considere-se uma superfície isotérmica e difusa que emite calor e o entorno da mesma, representados na Figura 1 pelas superfícies 1 e 2, respectivamente. Se toda a energia emitida pela superfície 1 (E) for

representada em um único ponto, uma parcela da mesma poderá ser emitida para o exterior (vetor \vec{A}) e uma segunda parcela (vetor \vec{B}) em direção à própria superfície (Eq. 1 e 2 respectivamente).

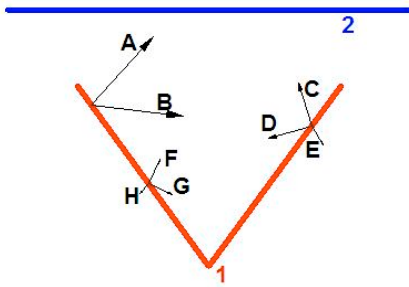


Figura 1 – Energia emitida por uma superfície côncava (1) para o seu entorno (2).

$$\vec{A} = E.FF_{12} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\vec{B} = E.FF_{11} \quad (\text{Eq. 2})$$

O Fator de Forma (FF_{12}) da superfície 1 em relação à superfície 2, é a razão entre a parcela da toda a energia radiante que sai de 1 e é interceptada por 2 e a energia radiante que sai de 1. Pelo mesmo conceito, FF_{11} se refere à parcela de energia emitida por 1 e que é interceptada pela própria superfície 1.

Considerando que a parcela representada por \vec{B} incide sobre um ponto da superfície 1, uma fração de \vec{B} , que denominaremos \vec{C} , também será refletida para o exterior, somando-se ao vetor \vec{A} , enquanto uma parte \vec{D} será refletida sobre a própria superfície e uma parcela \vec{E} será absorvida pela superfície. Repetindo o raciocínio, é possível considerar então 3 opções. Na primeira, a energia efetivamente sai da superfície 1 e alcança a superfície 2. Na segunda, a energia sai de 1 e volta para 1. Na terceira, a energia é absorvida pela superfície 1. A Tabela 1 resume estes casos. Vale destacar que α e ρ se referem aos intervalos de comprimentos de onda pertinentes a cada estudo.

Tabela 1– Energia emitida pela superfície 1.

Efetivamente emitido para a sup. 2	Emitido sobre a superfície 1	Absorvido pela superfície 1
$\vec{A} = E.FF_{12}$	$\vec{B} = E.FF_{11}$	-
$\vec{C} = E.FF_{11} \cdot \rho_1.FF_{12}$	$\vec{D} = E.FF_{11}^2 \cdot \rho_1$	$\vec{E} = E.FF_{11} \cdot \alpha_1$
$\vec{F} = E.FF_{11}^2 \cdot \rho_1^2.FF_{12}$	$\vec{G} = E.FF_{11}^3 \cdot \rho_1^2$	$\vec{H} = E.FF_{11}^2 \cdot \rho_1 \cdot \alpha_1$

A parcela de E que efetivamente é emitida para 2 (E_e), pode então ser calculada pela série:

$$E_e = \vec{A} + \vec{C} + \vec{F} + \dots$$

$$E_e = E.FF_{12} + E.FF_{11} \cdot \rho_1.FF_{12} + E.FF_{11}^2 \cdot \rho_1^2.FF_{12} + \dots \quad (\text{Eq. 3})$$

Resolvendo-se a série, obtém-se:

$$E_e = \frac{E.FF_{12}}{1 - (FF_{11} \cdot \rho_1)} \quad (\text{Eq. 4})$$

Portanto, a energia que realmente sai da cavidade, ou seja, que cruza a superfície 2 (reta na figura 2), pode ser calculada através da equação 4.

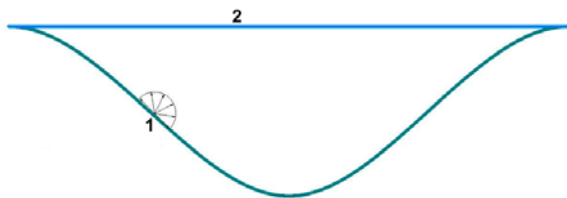


Figura 2 – Corte de uma cavidade.

Considerando a superfície de estudo como uma cavidade como a exemplificada pela superfície 1 na figura 2 e seu entorno como um plano que limita esta cavidade (superfície 2 na figura 2), é possível considerar a equação 5 e calcular pela equação 6 os fatores de forma entre a superfície e o entorno.

$$FF_{11} = 1 - FF_{12} \quad (\text{Eq. 5})$$

$$FF_{12} = \left(\frac{A_2}{A_1} \right) \quad (\text{Eq. 6})$$

De 4 e 5:

$$E_e = \frac{E.FF_{12}}{1 - \rho_1 + FF_{12} \cdot \rho_1} \quad (\text{Eq. 7})$$

Da definição de emitância:

$$\varepsilon = \frac{E}{E_{CN}} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

$$E = A_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot \sigma \cdot T_1^4 \quad (\text{Eq. 9})$$

$$E_{CN} = A_2 \cdot \sigma \cdot T_1^4 \quad (\text{Eq. 10})$$

Aplicando 7 e 10 em 8, vem:

$$\varepsilon_e = \frac{\frac{E \cdot FF_{12}}{A_2 \cdot \sigma \cdot T_1^4}}{1 - \rho_1 + FF_{12} \cdot \rho_1} \quad (\text{Eq. 11})$$

Aplicando 9 em 11 e manipulando a equação obtém-se:

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_1 \cdot FF_{12}}{1 - \rho_1 + FF_{12} \cdot \rho_1} \cdot \frac{A_1}{A_2} \quad (\text{Eq. 12})$$

De 12 e 6, vem:

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_1}{1 - \rho_1 + FF_{12} \cdot \rho_1} \quad (\text{Eq. 13})$$

Considerando a superfície como cinza, da lei de Kirchoff vem:

$$\varepsilon = \alpha = 1 - \rho \quad (\text{Eq. 14})$$

Portanto:

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1 + FF_{12} - \varepsilon_1 FF_{12}} \quad (\text{Eq. 15})$$

Ou, de 6:

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_1 \cdot A_1}{A_2 - \varepsilon_1 \cdot A_2 + \varepsilon_1 \cdot A_1} \quad (\text{Eq. 16})$$

Um raciocínio similar pode ser desenvolvido para a absorptância. Através da soma de n parcelas absorvidas, fruto de n-1 inter-reflexões, obtém-se a seguinte equação para a energia absorvida (E_a) considerando uma irradiância I:

$$E_a = \alpha_e \cdot I = \alpha_1 \cdot I + (\alpha_1 \cdot FF_{11} \cdot \rho_1 \cdot I) + (\alpha_1 \cdot FF_{11}^2 \cdot \rho_1^2 \cdot I) + \dots$$

$$E_a = \alpha_e \cdot I = \sum_{i=0}^n \alpha_1 \cdot FF_{11}^i \cdot \rho_1^i \cdot I \quad (\text{Eq. 17})$$

E portanto, resolvendo a série obtém-se:

$$\alpha_e = \frac{\alpha_1}{1 - (FF_{11} \cdot \rho_1)} \quad (\text{Eq. 18})$$

Para uma superfície opaca ($\alpha + \rho = 1$) fica:

$$\alpha_e = \frac{\alpha_1}{1 - FF_{11} + FF_{11} \cdot \alpha_1} \quad (\text{Eq. 19})$$

Ou, considerando as equações 5 e 6:

$$\alpha_e = \frac{\alpha_1 \cdot A_1}{A_2 - \alpha_1 \cdot A_2 + \alpha_1 \cdot A_1} \quad (\text{Eq. 20})$$

Assim, através das equações 16 e 20, é possível calcular os valores efetivos das emitâncias e absorptâncias, respectivamente, sendo que os mesmos podem apresentar diferenças significativas em relação aos valores de referência.

Na modelagem da equação 19 não há qualquer restrição ao comprimento de onda e, portanto, este desenvolvimento vale para as frequências da radiação solar, onde grande impacto pode ser esperado pela alta quantidade de energia envolvida.

4. RESULTADOS

O efeito da forma na emitância efetiva, calculado pela equação 16, é apresentado na figura 3. Nesta figura, é possível observar que a redução da razão entre as áreas A_2 e A_1 , indicada pela redução de FF_{12} (vide equação 6), implica no aumento da emitância efetiva da superfície teórica (superfície 2 na figura 2). Este efeito é coerente, uma vez que na realidade representa uma maior área real de emissão de calor.

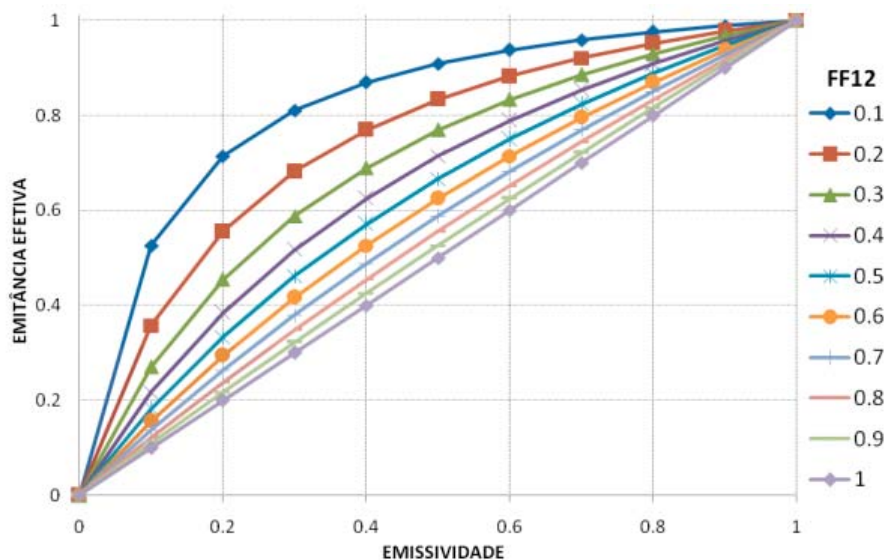


Figura 3 - Efeito da forma na emitância efetiva (Eq. 15).

Sparrow e Jonsson (1963) desenvolveram modelos bastante precisos para avaliação deste efeito, entretanto, seu método de cálculo é baseado em integrações das superfícies de estudo, sendo portanto aplicável a casos bastante restritos e específicos.

Comparando os resultados obtidos pela equação 16 aos apresentados por Sparrow e Cess (1978), obtém-se as curvas apresentadas nas figuras 4 e 5. Na figura 4 o eixo das abscissas representa a razão entre a profundidade e a espessura da cavidade (L/h). Na figura 5 este eixo representa o ângulo de abertura da cavidade (ϕ).

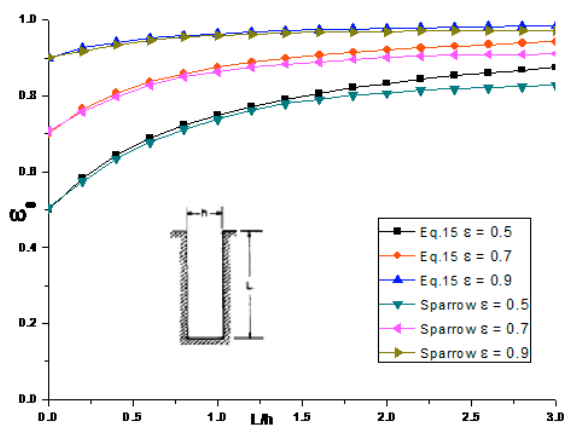


Figura 4 – Efeito cavidade para ranhura retangular. Comparação da equação 16 a resultados teóricos apresentados por Sparrow e Cess (1978).

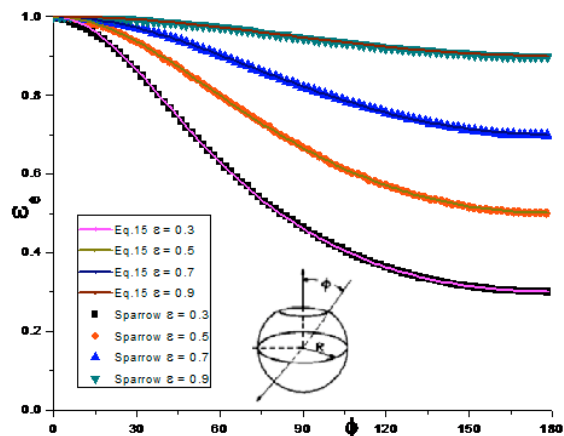


Figura 5 – Efeito cavidade para cavidade esférica. Comparação da equação 16 a resultados teóricos apresentados por Sparrow e Cess (1978).

A diferença entre estes modelos é resultado de que, no modelo proposto por Sparrow e Jonsson, considera-se a variação na radiosidade entre os pontos da superfície. No caso da ranhura retangular (figura 4), por exemplo, a proximidade da abertura implicaria em radiosidades mais altas que em pontos mais profundos, implicando também em um limite a este efeito cavidade. No modelo aqui proposto, considera-se que todos os pontos da superfície tenham o mesmo comportamento. Para cavidades esféricas, as soluções são idênticas, enquanto para ranhuras retangulares a aproximação é admissível até uma relação L/h de aproximadamente 1.5, conforme indicam as Figuras 4 e 5. Estes limites satisfazem à maior parte dos componentes da construção civil.

As vantagens do uso da equação 16 são sua simplicidade de cálculo e sua possibilidade de aplicação a quaisquer formas.

4.1. Simulação computacional

Para exemplificar a importância de tais aspectos, simulações foram elaboradas no programa EnergyPlus (DOE, 2010), para uma edificação de geometria simples, submetida ao clima da cidade de

Brasília (DF). Simulou-se simultaneamente 2 ambientes idênticos, exceto quanto às propriedades radiativas da cobertura (absortância e emitância). Em uma zona denominada Z1, adotou-se que as absortâncias são iguais às absortividades e as emitâncias iguais às emissividades, caso de superfície perfeitamente lisa e plana. Para uma segunda zona (Z2), considerou-se as correções propostas pelas equações 15 e 19 e cobertura composta por telhas conforme a figura 6, de onde é possível obter o fator de forma (FF_{12}) pela equação 6.

$$FF_{12} = \left(\frac{A_2}{A_1} \right) \approx \frac{1964}{3002} = 0.65 \quad (\text{Eq. 6})$$

Para ambas as zonas, adotou-se paredes de 10 cm de alvenaria cerâmica e piso de 5 cm de concreto.

4.1.1. Primeiro exemplo

Em um primeiro caso, considerou-se o edifício como um paralelepípedo de 6 x 9 x 2.8 (m), sem janelas, portas ou aberturas envidraçadas (Figura 7). Conforme apresentado na norma ABNT-NBR 15575 (2008), definiu-se um fluxo de ar de 1 renovação por hora e desconsiderou-se cargas térmicas internas. Considerando a emissividade da telha de 0.9, através da equação 15 obtém-se uma emitância efetiva de 0.933. Da mesma forma, considerando uma absortividade de 0.6, pela equação 19 obtém-se uma absortância efetiva de 0.698. A princípio desconsiderou-se o fluxo com o solo, simulando os casos de dia típico de verão e inverno. A tabela 2 apresenta as propriedades dos elementos construtivos adotadas nas simulações.

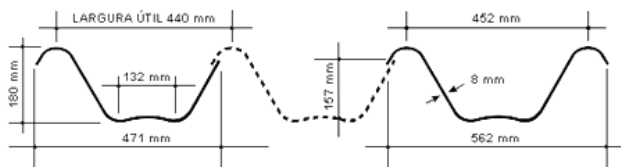


Figura 6 – Geometria da telha adotada nos exemplos

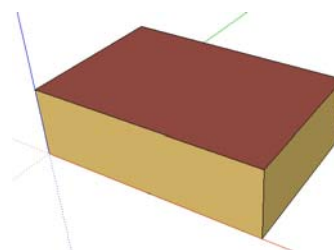


Figura 7 – Geometria do ambiente simulado nos casos dos exemplos 1 a 3.

Tabela 2– Características dos componentes utilizados nas simulações computacionais.

Exemplo	Componente	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)	Emitância	Absortância
	Paredes	0.1	0.75	1500	960	0.9	0.4
	Piso	0.05	1.7	2300	960	0.9	0.4
1 Fibrocimento	Telha 1	0.006	1.7	2300	960	0.9	0.6
	Telha 2	0.006	1.7	2300	960	0.933	0.698
2 Fibrocimento	Telha 3	0.006	1.7	2300	960	0.9	0.3
	Telha 4	0.006	1.7	2300	960	0.933	0.397
3 Metálica	Telha 5	0.001	52	7780	460	0.3	0.3
	Telha 6	0.001	52	7780	460	0.397	0.397

As temperaturas do ar internas às zonas simuladas Z1 (perfeitamente lisa e plana) e Z2 (admitindo as correções das equações 15 e 19) e as temperaturas do ar externo (TBS) são apresentadas na figura 8, onde observa-se uma diferença máxima de 1.46 °C.

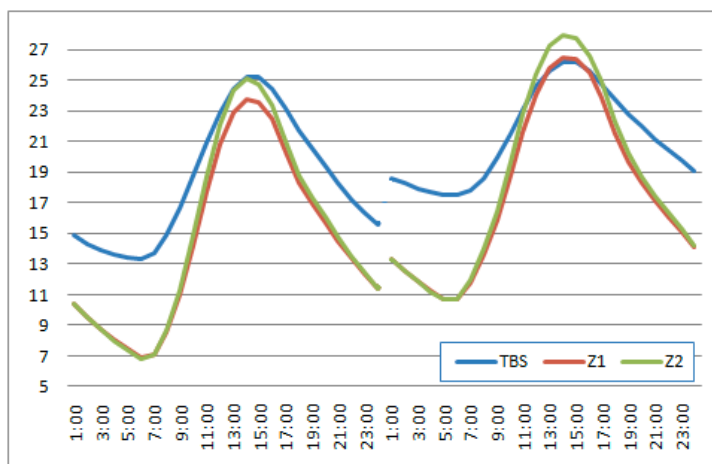


Figura 8 – Temperaturas obtidas na simulação do caso 1.

4.1.2. Segundo exemplo

Considerando uma cobertura pintada em cor clara, com absorvidade de 0.3, pela equação 18 obtém-se uma absorvância efetiva de 0.397 e, mantendo-se as demais características do exemplo 1, obtém-se uma diferença máxima de temperaturas de 1.62°C, como apresentado na figura 9.

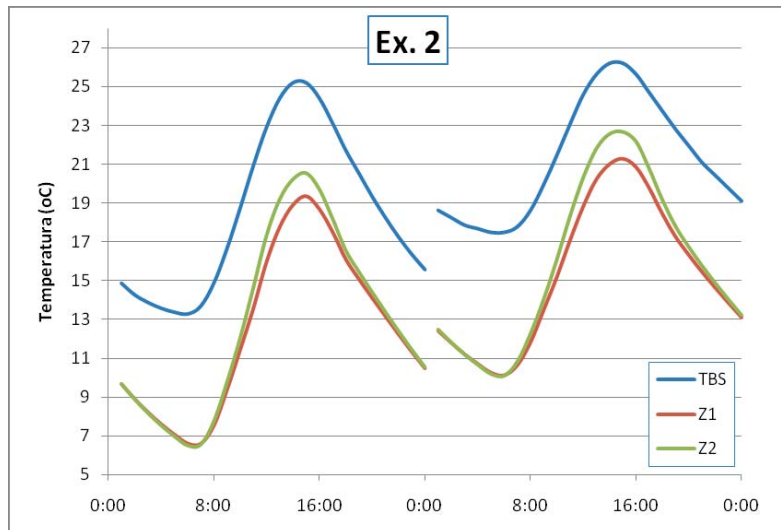


Figura 9 – Temperaturas obtidas na simulação do caso 2.

4.1.3. Terceiro exemplo

Considerando uma cobertura metálica clara, de mesma geometria que a anterior, com absorvidade e emissividade de 0.3, obtém-se absorvância e emitância efetivas de 0.397. Considerando zona Z1 coberta com a telha 5 e a zona Z2 coberta com a telha 6 descritas na tabela 2 e mantendo as demais características do exemplo 1, as diferenças entre as temperaturas simuladas também são significativas no caso noturno, conforme apresentado na figura 10. As diferenças de temperaturas ($T_{Z2}-T_{Z1}$) ficam entre 1.07 e -0.78 °C.

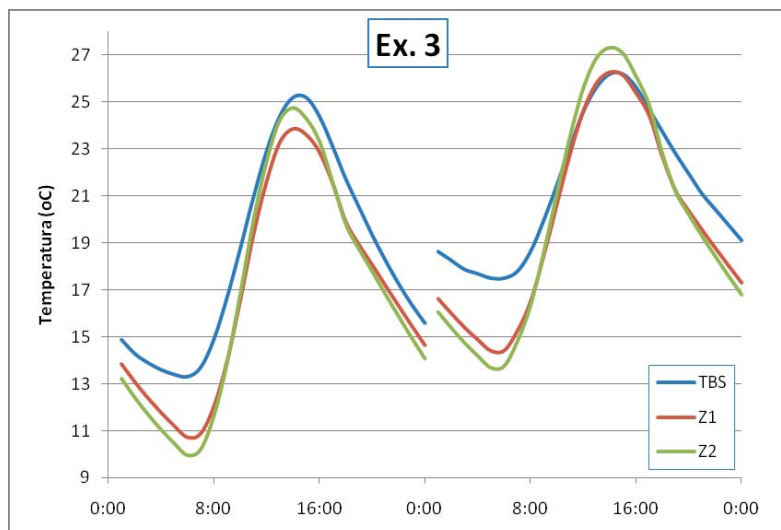


Figura 10 – Temperaturas obtidas na simulação do caso 3.

4.1.4. Quarto exemplo

Neste caso, considerou-se o edifício como um paralelepípedo de 6 x 9 x 2.8 (m), com 4 m² de janelas sombreadas voltadas para o norte, conforme a figura 11. Manteve-se 1 renovação por hora e considerou-se cargas internas de pessoas e equipamentos conforme apresenta a tabela 3. Adotou-se as telhas do exemplo 2, com absorvidade de 0.3 e emissividade 0.9 e desconsiderou-se o fluxo com o solo. Simulou-se o arquivo climático EPW de Brasília (DOE, 2010) para o ano todo, obtendo-se uma diferença máxima de temperaturas ($T_{Z2}-T_{Z1}$) de 2.83°C. A figura 12 ilustra os resultados obtidos.

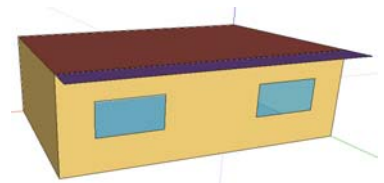


Figura 11 – Geometria do ambiente simulado no exemplo 4 (fachada norte).

Tabela 3– Cargas térmicas consideradas.

Número de pessoas em atividade sedentária (x100 W)																								
hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Sala											1	2	1		1	2	3	4	4	4	4	2	2	
Cozinha						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
Dormitório 1	2	2	2	2	2	1	1																1	1
Dormitório 2	2	2	2	2	2	1	1																1	1

Número de equipamentos na sala																								
hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Lâmpadas (100 W)						1	1										1	2	2	2	1	1	1	1
TV (50 W)															1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Geladeira (90 W)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fogão (60 W)						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						

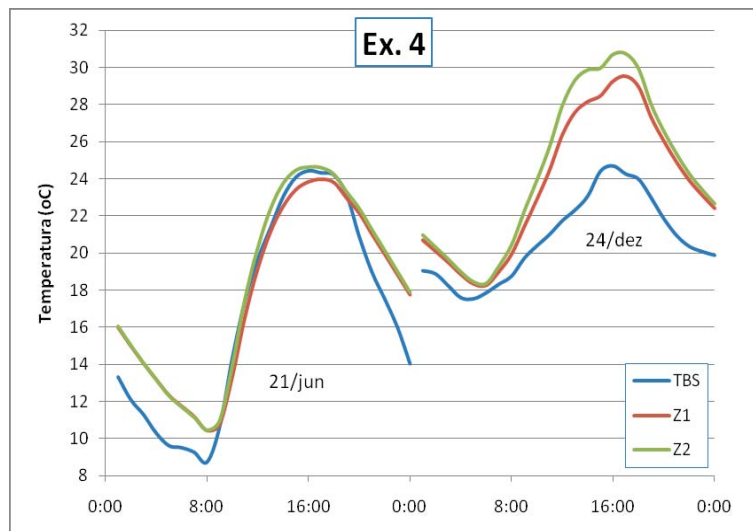


Figura 12 – Temperaturas obtidas na simulação do caso 4.

4.1.5. Quinto exemplo

Para as condições do exemplo 4, simulou-se o uso de condicionadores de ar ideais em ambas as zonas, a fim de avaliar seus impactos no consumo de energia. Adotou-se limite de 24°C para a temperatura interna máxima e comparou-se a soma dos consumos necessários para manter as temperaturas internas abaixo deste valor durante todo o ano. As temperaturas internas obtidas e respectivas cargas de refrigeração são ilustradas na figura 13. Para a zona Z1, a soma da carga anual ficou em 43496 MJ, enquanto para a zona Z2 este valor ficou em 56401 MJ, apresentando assim um acréscimo de 30% em relação à verificada em Z1.

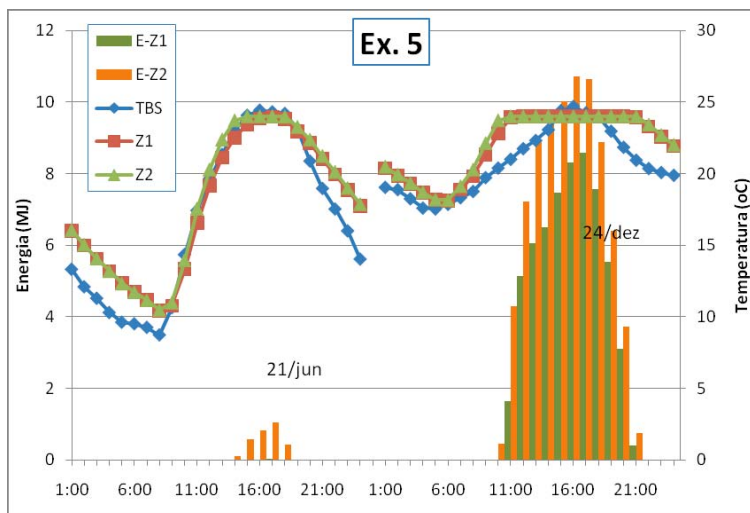


Figura 13 – Temperaturas obtidas na simulação do caso 4.

5. CONCLUSÕES

As variáveis em estudo apresentam alta relevância para avaliações do conforto térmico e da eficiência energética dos ambientes construídos.

Para as superfícies normalmente encontradas em edificações, o modelo simplificado aqui descrito apresenta boa correlação com o modelo clássico desenvolvido por Sparrow e Jonsson, tendo a vantagem de não ser restrito a apenas algumas formas.

Os resultados das simulações, revelaram diferenças acima de 2.5°C nas temperaturas internas do ar, entre os cálculos que consideram ou não as correções propostas para as propriedades efetivas das superfícies. No caso do uso de condicionadores de ar, a diferença encontrada entre as estimativas de consumo de energia chegou a 30%.

LISTA DE SÍMBOLOS

Tabela 4– Lista de símbolos utilizados nas equações.

A	Área (m ²)
E	Energia emitida (j)
FF	Fator de forma
α	Absortividade - Absortância
ρ	Refletividade - Refletância
ε	Emissividade - Emitância
Subscritos	
e	Efetivo
CN	Corpo Negro
1	Referente à superfície 1
2	Referente à superfície 2
a	Absorvida

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15 575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2008
- ASTM C 1371-04. (2004). **Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emissometers**.
- ASTM C1549 – 09 (2009) **Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer**
- BARBIRATO, G. M., SILVA, C. A., MACHADO, I. B., & OITICICA, M. L. (2000). **Refletância de cores em superfícies construtivas**. Anais do VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído ENTAC. Salvador.
- BERDAHL, P., & BRETZ, S. E. (1997). **Preliminary Survey of the solar reflectance of cool roofing materials**. Energy and buildings , 25.
- DOE – U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Building Energy Software Tools Directory**. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm>. Acesso em: 24 abr. 2010.
- INCROPERA, F. P., & DEWITT, D. F. (1996). **Fundamentals of heat and mass transfer** (4. ed. ed.). New York:: John Wiley and Sons.
- JIS A 1423. (1983). **Simplified test method for emissivity by infrared radio meter**.
- RORIZ, V., CARAM, R. M., & RORIZ, M. (2011). **Absortâncias e emitâncias efetivas de superfícies: Um modelo experimental**. Anais do XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído ENTAC. Búzios.
- SEKER, D. Z., & TAVIL, A. Ü. (1996). **Evaluation of exterior building surface roughness degrees by photogrammetric methods**. Building and Environment , 31, pp. 393-398.
- SPARROW, E. M., & CESS, R. D. (1978). **Radiation Heat Transfer**. London: Hemisphere Publishing Corp.
- SPARROW, E., & JONSSON, V. (1963). **Radiant Emission Characteristics of Diffuse Conical Cavities**. Journal of the Optical Society of America , 53, pp. 816-821.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pela bolsa de doutorado que permitiu o desenvolvimento da pesquisa.