

PREVISÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO NAS CET

A4.1. Metodologia de Previsão do desempenho térmico pelo Modelo adoptado no RCCTE

Num mesmo edifício podem identificar-se diversos espaços com diferentes funções e, consequentemente, caracterizar diversas fronteiras. Através das fronteiras entre espaços contíguos terão lugar as trocas de calor determinadas pelas diferenças entre as temperaturas de um e outro lado, condicionadas pelas características da fronteira e ainda fluxos de ar que possam passar de um para o outro espaço. Se em termos genéricos, identificarmos um dado espaço com um dado objectivo (neste caso, uma temperatura mínima ambiente a satisfazer) cuja fronteira é toda com o exterior, cujo clima conhecemos, e se nos for dada a natureza da fronteira, é possível calcular o balanço de ganhos e perdas de energia, isto é, calcular (Fernandes e Maldonado 1991):

- Qual a energia complementar que é necessário fornecer (aquecimento – Q_{aq}) ao espaço num dado período de tempo para que a temperatura no interior não desça abaixo dum determinado valor prescrito seguindo a equação de balanço energético de Inverno:

$$Q_{aq} = Q_{pe} + Q_{pv} - Q_{gi} - Q_{gs} \quad (A4.1.1)$$

Com:

Q_{gs} : ganhos solares

Q_{gi} : ganhos internos

Q_{pv} : perdas por ventilação

Q_{pe} : perdas pela envolvente

- Qual a energia que é necessário retirar (arrefecimento – Q_{arref}) ao espaço num dado período para que as temperaturas no interior não excedam um certo valor seguindo a equação de balanço energético de Verão:

$$Q_{arref} = Q_{ge} + Q_{gv} + Q_{gi} \quad (A4.1.2)$$

Com:

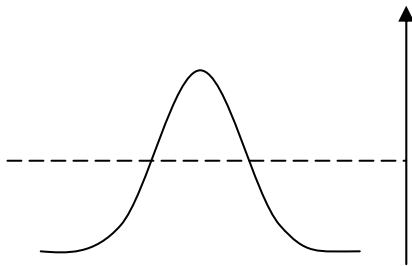
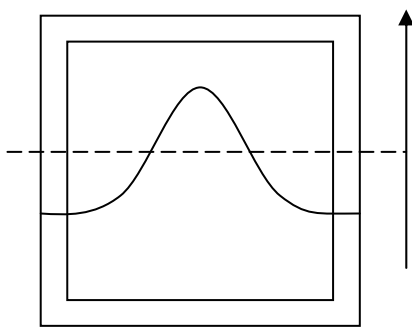
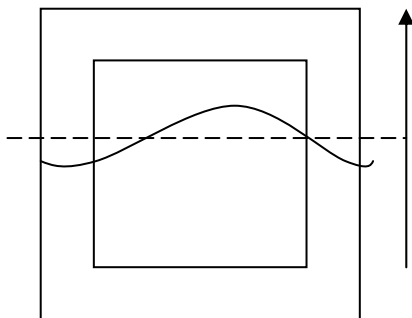
Q_{ge} : ganhos pela envolvente;

Q_{gi} : ganhos internos;

Q_{gv} : ganhos por ventilação (Fernandes e Maldonado 1991).

Se o balanço for referido a todo o período de aquecimento, a energia complementar calculada corresponde às *Necessidades Nominais de Aquecimento* a que faz referência o RCCTE e que é um parâmetro típico daquele espaço naquelas condições construtivas, de clima e de funcionamento.

No entanto, se a mesma equação se aplica ao instante em que a temperatura exterior é a mais baixa do período obtém-se um valor de uma potência máxima que é uma outra forma de caracterizar o espaço e a que se chama *Carga Térmica de Aquecimento*.

TEMPERATURA DO
AR EXTERIORTEMPERATURA AMBIENTE INTERIOR COM
ENVOLVENTE E NÚCLEO LEVESTEMPERATURA AMBIENTE INTERIOR COM
ENVOLVENTE E/OU NÚCLEO PESADOS**Figura A4.1.1.** Efeito da inércia térmica na
temperatura interior

Da análise das equações de balanço pode referir-se que o objectivo de temperatura de conforto no espaço em questão - 18°C no Inverno ou 25°C no Verão - pode ser conseguido mesmo sem recurso a sistemas mecânicos de climatização, através das chamadas tecnologias solares passivas (Fernandes e Maldonado 1991):

- **No caso do Inverno:**
 - a) aumentando o isolamento térmico da envolvente exterior, o que significa reduzir as perdas;
 - b) aumentando os ganhos solares, através de envidraçados dispostos estrategicamente, de preferência orientados a Sul e convenientemente dimensionados e de preferência com sistemas solares passivos e ganhos indirectos;
 - c) controlando as trocas de ar com o exterior por infiltrações ou aberturas.
- **No caso do Verão:**
 - a) tirando partido do isolamento térmico previsto para o Inverno para atenuar os ganhos por transmissão;
 - b) reduzindo a incidência da radiação solar, por dispositivos de sombreamento e adoptando cores claras nas superfícies exteriores;
 - c) controlando as trocas de ar.

Um outro factor que é muito importante em térmica de edifícios, particularmente em climas temperados, é a Inércia Térmica. O efeito da inércia térmica na temperatura ambiente interior tem a ver com o tipo de envolvente exterior, considerando apenas a massa térmica interior ao isolamento, bem como as massas térmicas de todos os elementos interiores de compartimentação e lajes de pavimento e tecto, sempre que não haja isolamento. Este efeito é mostrado na Figura A4.1.1.

No Inverno um espaço dito leve pode sofrer um sobreaquecimento excessivo em dias frios mas com sol descoberto, quando este incide através de envidraçados orientados a Sul, ao mesmo tempo que arrefece rapidamente logo que o sol desaparece; ao contrário, se a radiação que atravessa o envidraçado incide em superfícies com massa, ou com inércia térmica, o sobreaquecimento não será tão grande e a energia captada será armazenada para ser libertada mais tarde quando a temperatura do espaço (ar, ou demais superfícies) for mais baixa (Fernandes e Maldonado 1991).

No Verão, a inércia térmica conjugada com adequadas estratégias de arrefecimento por ventilação nocturna, traduz-se num efeito de "esponja" do calor excedentário no espaço durante o dia (Fernandes e Maldonado 1991).

O RCCTE assenta na fixação de dois índices fundamentais: o valor das necessidades nominais de aquecimento (N_h) e de arrefecimento (N_c) de um edifício (ou zona independente de um edifício). Estes dois índices (ver expressões A4.1.3 e A4.1.4) representam a energia que, num ano médio, seria preciso fornecer (em aquecimento) ou retirar (em arrefecimento) a um dado edifício (ou zona independente) para compensar o calor perdido ou ganho, respectivamente, através da sua envolvente quando no seu interior é mantido um ambiente

termostatzado a uma temperatura de referência (18°C no Inverno e 25°C no Verão). Estes valores não representam contudo os consumos reais de um edifício, pelas seguintes razões (Fernandes e Maldonado 1991):

- O clima exterior varia de ano para ano e só por coincidência terá valores médios anuais iguais aos admitidos.
- Na generalidade dos casos, as condições interiores não são termostatzadas e, quando o são, as temperaturas interiores são normalmente outras e os padrões de utilização (por exemplo, abertura de janelas) são altamente variáveis.

$$N_i = \left[\frac{1,3 K_{fr} A_f + K_{hr} A_h + K_{env} A_{env}}{A_p} + 0,34 P_d \right] (0,024) GD \quad (A4.1.3)$$

$$N_v = \frac{0,36 (1,3 \Delta T_f K_{fr} A_f + \Delta T_h K_{hr} A_h) + G_{ref} A_{ref}}{A_p} \cdot M \quad (A4.1.4)$$

Com:

N_i : Necessidades nominais de aquecimento

N_v : Necessidades nominais de arrefecimento

A_f : Área de fachada opaca (m²)

A_h : Área de cobertura (m²)

A_{env} : Área dos envidraçados (m²) – Máximo 15 % de A_p

A_p : Área útil de pavimento (m²)

K_{fr} : Coeficiente de transmissão térmica de referencia para as fachadas (W/m².°C)

K_{hr} : Coeficiente de transmissão térmica de referencia para as coberturas (W/m².°C)

K_{env} : Coeficiente de transmissão térmica de referencia para os envidraçados (W/m².°C)

P_d : Pé direito (m)

GD: Graus dias de aquecimento (°C.dia)

ΔT_f : Diferença efectiva de temperatura nas paredes opacas no dia de projecto de Verão (°C)

ΔT_h : Diferença efectiva de temperatura nas coberturas no dia de projecto de Verão (°C)

G_{ref} : Ganhos solares de referencia através dos envidraçados (kWh/m².mês)

M: Duração efectiva da estação de arrefecimento (meses)

Estes índices permitem a comparação entre edifícios (ou zonas independentes), pois os seus valores representam o grau de permeabilidade da envolvente às trocas caloríficas. Desta forma, quanto maior for o seu valor, mais energia será necessário consumir para manter o ambiente no nível pretendido de temperatura ou, em regime não termostatzado, como acontecerá numa grande maioria dos edifícios portugueses, maior será a diferença entre as condições de referencia e as condições reais no interior.

No caso de uma construção não convencional, como a que se propõe neste estudo, não se pode aplicar a verificação automática do RCCTE. A principal razão para este facto, advém da existência duma solução híbrida entre paredes opacas e envidraçados com ganhos indirectos.

Método global: Este processo de verificação consiste no preenchimento de folhas de cálculo apresentadas no RCCTE. Estas Folhas de cálculo são a tradução prática dos métodos de cálculo das necessidades energéticas de aquecimento e de arrefecimento. Os valores apresentados no Capítulo VI foram determinados por este método (RCCTE 1990).

A4.2. Metodologia de Cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento de um edifício pelo Modelo do RCCTE

No caso em estudo, a existência de ganhos solares através de uma estufa anexa e de paredes de Trombe não pode ser calculada através da metodologia preconizada no RCCTE, pelo que foi feito um cálculo específico para esta situação, adoptando a metodologia preconizada na Norma Francesa Th-BV de 1988 (CSTB 1988).

A4.2.1. Paredes com ganhos indirectos a Sul

A4.2.1.1. Paredes Acumuladoras com efeito de estufa

Este tipo de parede é constituído por uma parede opaca interior e um vidro exterior (simples ou duplo), sem convecção.

Para o cálculo do Factor de transmissão solar usa-se a seguinte expressão:

$$F_{ts} = S \cdot \alpha \cdot \frac{U}{X_e} \quad (\text{A4.2.1})$$

Com:

S: Factor solar do envidraçado

α : Factor de absorção solar

U: Coeficiente U da parede

X_e : Soma das resistências térmicas exteriores

Nota:

De um modo geral o valor de α é função da cor da parede, como se pode ver na Tabela A4.2.1:

Tabela A4.2.1. Factores de absorção solar α

Cor da parede	α
Preto, castanho-escuro	0,90
Castanho, Azul-escuro, Verde escuro, Azul	0,70
Azul-claro, verde-claro, vermelho-escuro	0,50
Vermelho-claro, laranja, creme, branco	0,30

A4.2.1.2. Paredes Dinâmicas com efeito de estufa

Os esquemas apresentados no Capítulo V (Figuras 5.1.13, 5.1.15 e 5.1.16) mostram os diferentes tipos de paredes estudadas, apresentando assim as diferentes soluções construtivas. Pelos esquemas é possível verificar que as 2ª e 3ª paredes possuem recirculação de ar enquanto que a 1ª não.

Para o sistema funcionar correctamente é necessário cumprir as seguintes regras:

- **Classe 1:** as entradas de ar podem ser naturais;
- **Classe 2:** as entradas de ar não podem ser naturais se as saídas forem mecânicas;
- **Classe 3:** entradas de ar mecânicas.

O cálculo das perdas é resultado de dois efeitos contrários

- A diminuição das perdas pela renovação de ar, devido ao aquecimento pelo ar que atravessa a parede;
- O aumento das perdas por transmissão.

O 1º efeito é mais significativo do que o segundo.

De uma forma geral a eficiência das paredes (E_{ta}) pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$E_{ta} = \frac{K_0^2}{K_i \cdot K_e} \cdot \gamma \quad (A4.2.2)$$

Com:

γ : coeficiente dado em função do caudal e a soma dos coeficientes de transmissão térmica

Para o caso de γ , pode recorrer-se à curva da Figura 6.4.2. Com $K_i + K_e$ e Q/A como variáveis, ou a partir da seguinte expressão:

$$\gamma = 1 - e^{-\left(\frac{10(K_i + K_e)}{0,34 \frac{Q}{A}(K_i + K_e + 10)} \right)} \quad (A4.2.3)$$

Com:

K_0 : Coeficiente U da parede

K_i : Coeficiente de transmissão térmica da parede interior

K_e : Coeficiente de transmissão térmica da parede exterior

A curva que mostra a variação de $\frac{K_0^2}{K_i \cdot K_e}$ com $\frac{K_0}{K_i}$ ou $\frac{K_0}{K_e}$ tem como máximo o valor de 0,25, no caso de $K_e = K_i$, ou seja, quando o isolamento está igualmente repartido dos dois lados da camada de ar.

Por fim é possível concluir que a E_{ta} vem em função de:

- Fracção $\frac{Q}{A}$;
- K_0 ;
- Fracção $\frac{K_0^2}{K_i \cdot K_e}$.

Ainda é importante realçar que, tendo em conta as características de certas paredes opacas, o método de cálculo apresentado para a sua eficiência poderá conduzir a resultados de inferior qualidade, quando comparados com os métodos específicos de cada parede. Como tal, serão apresentados em seguida os métodos de cálculo para dois tipos de paredes - parede dinâmica com efeito de estufa e parede de Trombe com efeito de estufa.

a) As paredes dinâmicas com efeito de estufa são de um modo geral semelhantes às paredes com efeito de estufa, diferindo apenas em possuir uma entrada de ar regulável.

O cálculo do factor de transmissão solar rege-se pela seguinte expressão:

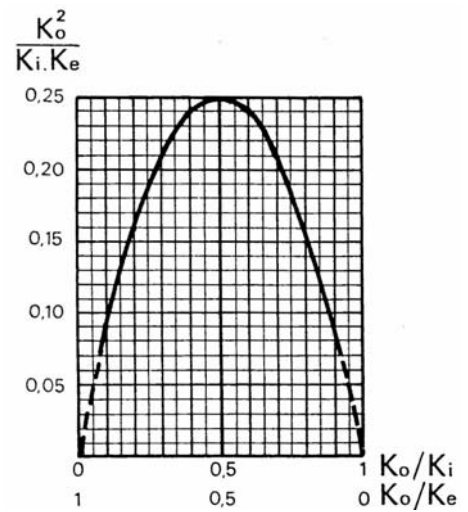


Figura A4.2.1. Curva da variação de $K_0^2/(K_i \cdot K_e)$ com K_0/K_i ou K_0/K_e

$$F_{ts} = S \cdot \alpha \cdot \left(\frac{K_0}{X_e} + \frac{I \cdot \frac{K_0^2}{K_i \cdot K_e}}{X_i} \right) \quad (\text{A4.2.4})$$

Com:

X_i : Soma das resistências térmicas interiores

I : coeficiente dado em função do caudal e a soma dos coeficientes de transmissão térmica

A4.2.1.3. Paredes de Trombe com efeito de estufa

Estas paredes são de uma forma geral semelhantes às paredes dinâmicas com efeito de estufa, com a diferença de possuírem um sistema de reciclagem de ar controlado, também se tem que supor a existência de um dispositivo automático que:

- Quando a temperatura do espaço de ar é inferior à temperatura da habitação, a circulação de ar é fechada;
- Quando a temperatura do espaço de ar é superior à da habitação, tem de haver circulação de ar através da parede, a débito constante, por um dispositivo mecânico.

Ganhos solares no espaço de ar, por m²

$$S \cdot \alpha \cdot \frac{K_i}{X_i} \cdot F_e \cdot C_1 \cdot E \quad (\text{A4.2.5})$$

Com:

E : Energia solar recebida no período de aquecimento por uma superfície virada a sul em kWh/m²

Perdas

$$K_e \cdot GH$$

Com:

GH : Milhares de graus-hora de aquecimento

Então:

$$Y = \frac{S \cdot \alpha}{X_i} \cdot \frac{K_i}{K_e} \cdot F_e \cdot C_1 \cdot \frac{E}{GH} \quad (\text{A4.2.6})$$

Determinação da proporção de energia solar que penetra no compartimento interior:

Grelha de ar fechada

$$F_{tsf} = S \cdot \alpha \cdot \frac{K_0}{X_e} \quad (\text{A4.2.7})$$

Com:

F_{tsf} : Factor de transmissão solar com a grelha de ar fechada

Grelha de ar aberta:

$$F_{tsa} = S \cdot \alpha \cdot \left(\frac{K_0}{X_e} + \frac{\gamma \cdot \frac{K_0^2}{K_i \cdot K_e}}{X_i} \right) \quad (A4.2.8)$$

Com:

F_{tsa} : Factor de transmissão solar com a grelha de ar aberta

Factor de transmissão solar médio:

$$F_{tsm} = S \cdot \alpha \cdot \left(\frac{K_0}{X_e} + \frac{l \cdot \frac{K_0^2}{K_i \cdot K_e}}{X_i} \cdot \varepsilon \right) \quad (A4.2.9)$$

Com:

F_{tsm} : Factor de transmissão solar médio

ε : Fração solar correspondente aos graus-hora de aquecimento

Determinação do suplemento de perdas devido à abertura da grelha:

$$\Delta = l \cdot \left(\frac{K_0}{K_i} \right)^2 \quad (A4.2.10)$$

Com:

Δ : Suplemento de perdas por grau de diminuição de temperatura entre o interior e o exterior

Determinação do factor de transmissão solar:

$$F_{ts} = S \cdot \alpha \cdot \left(\frac{K_0}{X_e} + \frac{l \cdot \frac{K_0^2}{K_i \cdot K_e}}{X_i} \cdot \left(\varepsilon - \frac{\delta}{Y} \right) \right) \quad (A4.2.11)$$

Com:

δ : Graus-hora de aquecimento correspondentes à abertura da grelha de ar

A4.2.2. Estufa Adossada Sul

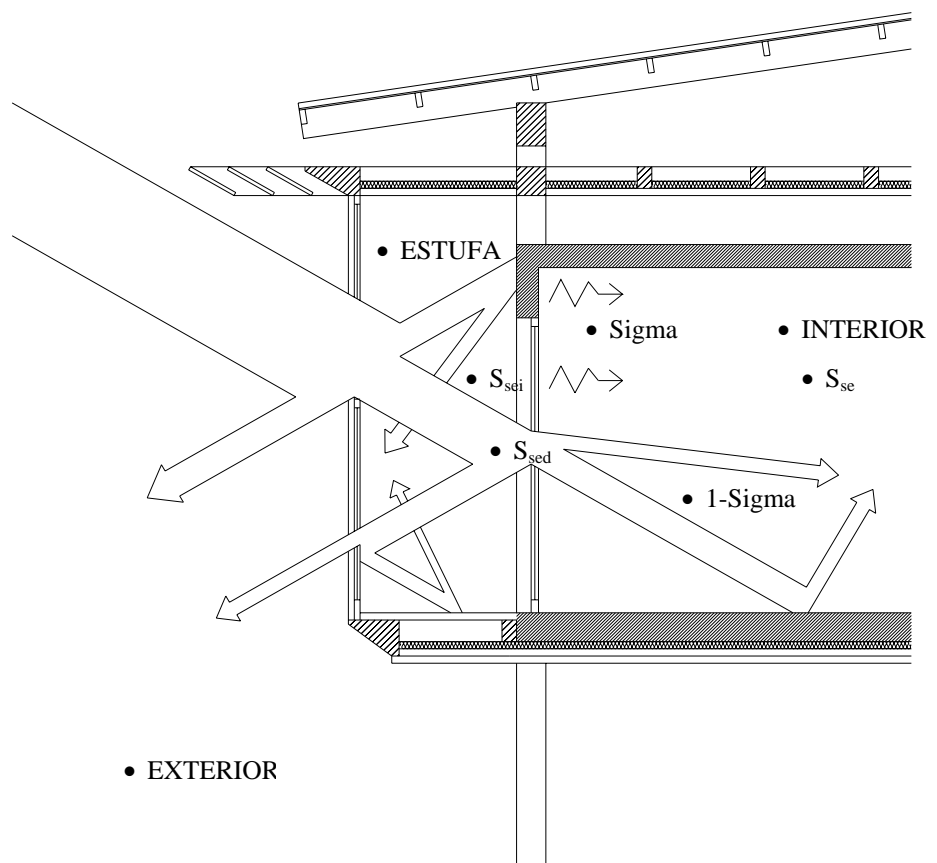


Figura A4.2.2. Representação esquemática dos ganhos pela estufa integrada

O esquema da Figura A4.2.2 mostra os diferentes fluxos energéticos solares que intervêm no balanço térmico numa varanda envidraçada / estufa adossada.

Na norma Th-BV é apresentada uma metodologia de cálculo sendo esta a adoptada nos cálculos efectuados neste caso específico, por ser a que melhor se adapta ao conceito de varanda envidraçada (já que neste caso não existem ganhos nem tantas perdas pela cobertura, que é opaca).

Esta metodologia limita-se às varandas e só considera o caso, clássico, em que os paramentos de separação compartimento / varanda envidraçada estabelecem uma ventilação permanente por orifícios ou pela pouca estanquidade na vedação dos próprios caixilhos.

O cálculo consiste em distinguir (CSTB 1988):

- 1- Os ganhos solares directos S_{sed} , devidos à radiação que atinge a fachada interior depois de atravessar a varanda envidraçada.
- 2- Os ganhos solares indirectos S_{sei} , devidos ao aquecimento da varanda pelo sol e à transferência destes para o compartimento da habitação pela fachada e entradas de ar.

Soma dos ganhos solares S_{se} :

O conjunto dos ganhos solares traduzem-se na Superfície transparente Sul equivalente (S_{se}), que resulta da soma das componentes dos ganhos directos (S_{sed}) e indirectos (S_{sei}), devidos à varanda envidraçada. Podem traduzir-se na seguinte expressão (CSTB 1988):

$$S_{se} = S_{sed} + S_{sei} \quad (A4.2.12)$$

Ou seja:

$$S_{se} = S_{sed}(1 - \text{Sigma}) + S_{sei} \cdot \text{Sigma} \quad [m^2] \quad A4.2.13)$$

Cálculo dos ganhos solares directos da varanda envidraçada S_{sed} :

Estes ganhos traduzem-se na Superfície transparente Sul equivalente "directa", S_{sed} , que se calcula com um coeficiente de redução, que se considera com um valor de 0,6 tendo em conta que parte da radiação solar é anulada pelos caixilhos do envidraçado, pela não transparência absoluta do vidro e pela presença eventual de objectos na varanda. S_{sed} tem então como expressão (CSTB 1988):

$$S_{sed} = 0,6 \sum (A \cdot F_{ts} \cdot F_e \cdot C_1) \quad [m^2] \quad (A4.2.14)$$

Com:

S_{sed} : Superfície transparente Sul equivalente "directa"

A: Área de envidraçado

F_e : Factor de obstrução

F_{ts} : Factor de transmissão solar

C_1 : Coeficiente de orientação e de inclinação, igual a 1 para uma superfície vertical orientada a Sul. Para outras inclinações e orientações, pode consultar-se a Tabela A4.2.2.

Tabela A4.2.2. Coeficientes de orientação e de inclinação para paramentos exteriores

Inclinação do paramento sobre a horizontal, em graus	Orientação do paramento				
	SSE α SSO	SSE α ESE e SSO α OSO	ESE α ENE e OSO α ONO	ENE α NNE e ONO α NNO	NNE α NNO
De 85 a 90	1	0,85	0,55	0,30	0,20
De 70 a 84	1,15	0,95	0,60	0,35	0,20
De 55 a 69	1,20	1,05	0,65	0,35	0,25
De 40 a 54	1,20	1,05	0,75	0,40	0,30
De 25 a 39	1,15	1,00	0,75	0,50	0,40
De 10 a 24	1,00	0,95	0,80	0,65	0,55
De 0 a 9	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

Fonte: (CSTB 1988)

O somatório Σ aplica-se a todas as superfícies do compartimento, opacas ou vidradas em contacto com a varanda envidraçada.

Notas:

- No cálculo da superfície Sul equivalente das paredes opacas que dão para a varanda, pode substituir-se 0,3 pelo valor real α do factor de absorção solar destas paredes. São de facto paredes que não dão directamente para o exterior e assim

não recebem radiação de grande comprimento de onda do céu;

- No cálculo de F_{ts} , convém substituir h_e por h_i , porque estas paredes dão para um local fechado. É também h_i , e não h_e , que entra no cálculo do coeficiente U ;
- F_e corresponde não apenas aos obstáculos exteriores do edifício F_{e1} , mas também às eventuais sombras provocadas pelas paredes opacas da varanda sobre a fachada interior F_{e2} , donde:

$$F_e = F_{e1} \cdot F_{e2} \quad (A4.2.15)$$

O método de cálculo de F_e é apresentado em (CSTB Annexes – Annexe2). Quando não existem obstáculos de qualquer espécie $F_e = 1$.

Cálculo dos ganhos solares indirectos da varanda envidraçada S_{se}

Calcula-se a superfície transparente S_{se} equivalente correspondente aos ganhos solares da varanda. Tem por expressão:

$$S_{sev} = \left[\left(0,8 \cdot A_p \cdot S + A_p \cdot 0,3 \frac{U}{h_e} \right) F_e \cdot C_1 \right] \text{ [m}^2\text{]} \quad (A4.2.16)$$

Com:

S : Factor Solar;

A_p : Área da parede (m^2);

U : Coeficiente de transmissão térmica da parede;

h_e : Convecção exterior.

Retomam-se as expressões correspondentes às fachadas exteriores clássicas com as seguintes excepções:

- O factor de transmissão solar dos envidraçados, normalmente igual a $0,85 \cdot S$, é considerado igual a S pois os vidros da varanda não têm geralmente estores ou portadas;
- O factor solar S dos vidros é superior ao das janelas pois a importância dos caixilhos é menor e não existem cortinas, sendo adoptados os valores:
 - a) Caixilho metálico: com vidro simples: 0,70;
com vidro duplo: 0,60;
 - b) Caixilho em madeira: com vidro simples: 0,65;
com vidro duplo: 0,55;
- O coeficiente de minoração, 0,8, traduz o facto de que uma parte da radiação solar perde-se por reflexão para o exterior (para os ganhos através das janelas dum compartimento admite-se que não há perdas por reflexão pois a sua superfície é pequena, contrariamente à varanda envidraçada).

O calor absorvido pela varanda traduz-se na diferença $S_{sev} - S_{sed}$. Uma fracção, Σ , é dissipada para o compartimento pelas paredes e pela ventilação. Os ganhos solares indirectos, resultantes,

podem ser traduzidos pela superfície transparente Sul equivalente "indirecta", S_{sej} , pela expressão (CSTB 1988):

$$S_{sej} = (S_{sev} - S_{sed}) \text{ Sigma} \quad (\text{A4.2.17})$$

Cálculo de Sigma

O cálculo de Sigma depende do peso que a varanda envidraçada tem na ventilação do compartimento.

Os compartimentos que dão para a varanda envidraçada (estufa adossada) recebem ar através desta. É o caso das varandas envidraçadas para as quais se abrem entradas de ar dos compartimentos adjacentes, com o esquema de ventilação da Figura 6.4.4.

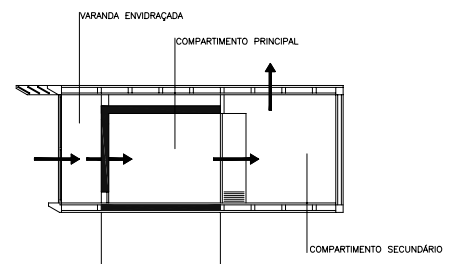


Figura A4.2.3. Ventilação natural com ar proveniente da varanda envidraçada

O valor de Sigma pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\text{Sigma} = \frac{T_{ii} + 0,34 Q}{T_{ie} + T_{ii} + 0,34 Q} \quad (\text{A4.2.18})$$

Com

T_{ii} : Trocas por condução através da fachada que separa a varanda do compartimento principal, para uma diferença de temperatura de um grau entre estes;

T_{ie} : Trocas por condução através dos paramentos que separam a varanda do exterior (maioritariamente envidraçado) para uma diferença de um grau entre estes;

Q : Caudal de ar específico que entra no compartimento principal através da varanda. Quando este não é conhecido, toma-se o valor de 1,65 renovações por hora a superfície habitável dos compartimentos principais assim ventilados, expresso em m^2 (CSTB annexes).

Os valores de Sigma quando os compartimentos principais que ligam à varanda são ligados por elementos com orifícios permitindo a ventilação, podem ser dados pela Tabela A4.2.3:

Tabela A4.2.3. valores de Sigma (CSTB 1988)

Vidro	Relação A_p/A_v	Relação A_f/A_v					
		até 0,07	de 0,08 a 0,11	de 0,12 a 0,15	de 0,16 a 0,19	de 0,20 a 0,23	de 0,24 e mais
Simples	até 0,49	0,07	0,09	0,12	0,14	0,16	0,18
	de 0,50 a 0,74	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19
	De 0,75 a 0,99	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21
	De 1,00 a 1,24	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22
	1,25 e mais	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,23
Duplo	Até 0,49	0,06	0,08	0,10	0,11	0,12	0,14
	De 0,50 a 0,74	0,08	0,09	0,11	0,13	0,14	0,16
	De 0,75 a 0,99	0,09	0,11	0,13	0,14	0,16	0,17
	De 1,00 a 1,24	0,11	0,13	0,14	0,16	0,17	0,19
	1,25 e mais	0,13	0,14	0,16	0,17	0,19	0,20

A_p : paredes de ligação varanda envidraçada / compartimento principal ventiladas.

A_f : janelas e portas de ligação varanda envidraçada / compartimento principal.

A_v : envidraçados fixos - não praticáveis.

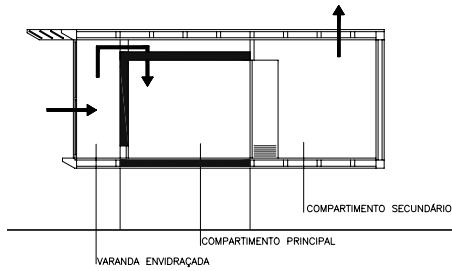


Figura A4.2.4. Ventilação mecânica com ar proveniente da varanda envidraçada

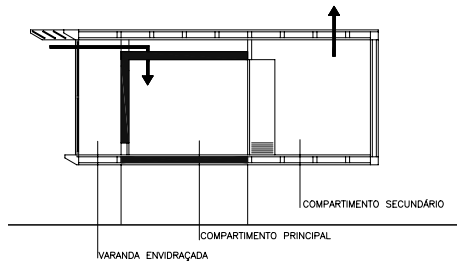


Figura A4.2.5. Ventilação mecânica com ar proveniente directamente do exterior

A expressão de Sigma mantém-se quando o ar que entra no compartimento principal através dum sistema de ventilação mecânica é proveniente da varanda envidraçada segundo o esquema representado na Figura A4.2.4.

Quando a entrada de ar por ventilação mecânica é feita directamente do exterior, o esquema é o representado na Figura A4.2.5 a expressão de Sigma é:

$$\text{Sigma} = \frac{T_{\text{fl}}}{T_{\text{te}} + T_{\text{fl}} + 0,34 Q} \quad (6.4.23)$$

Com:

Q: Caudal de ar específico que entra no compartimento principal directamente do exterior calculado com uma taxa horária de 0,3.

Com o valor da “superfície transparente Sul equivalente” S_{se} da habitação em estudo podem calcular-se os ganhos solares através da expressão dos ganhos solares (CSTB 1988):

$$A_s = S_{\text{se}} \cdot E \quad [\text{kWh}] \quad (6.4.24)$$

Com:

E: Energia solar média incidente [$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$].

A4.3. Cálculo dos ganhos solares com soluções de Ganho Solar Passivo Indirecto não previstas no RCCTE

A4.3.1. CET Convencional com Paredes de ganho indirecto Sul

a) Cálculo do Factor de transmissão solar da parede acumuladora com efeito de estufa

$$F_{ts} = S \cdot \alpha \cdot \frac{K}{X_e} \quad (A4.3.1)$$

Para o cálculo do Factor de transmissão solar usa-se a seguinte expressão, para obter os valores de K_0 , X_e :

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + R_i + R_l + R_e + \frac{1}{h_e} = 0,04 + 1,94 + 0,17 + 0,005 + 0,12 = 2,27$$

$$K = 0,44 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

Com:

h_i : Resistência à transferência de calor superficial interior;

R_i : Resistência térmica da parede interior;

R_l : Resistência térmica da camada de ar;

R_e : Resistência térmica da parede exterior;

h_e : Resistência à transferência de calor superficial exterior.

$$\frac{1}{X_e} = R_l + R_e + \frac{1}{h_e} = 0,17 + 0,005 + 0,12 = 0,295$$

$$X_e = 3,40 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

Por fim chega-se a um valor do factor de transmissão solar de:

$$F_{ts} = 0,72 \cdot 0,90 \cdot \frac{0,44}{3,40} = 0,084$$

b) Cálculo do Factor de transmissão solar da parede dinâmica com efeito de estufa

$$F_{ts} = S \cdot \alpha \cdot \left(\frac{K_0}{X_e} + \frac{I \cdot \frac{K_0^2}{K_i \cdot K_e}}{X_i} \right) \quad (A4.3.2)$$

Para obter o factor de transmissão solar é necessário calcular K_0 , K_i , K_e . Usam-se as seguintes expressões para o cálculo destas variáveis:

$$\frac{1}{K_i} = \frac{1}{h_i} + R_i + \frac{R_l}{2} = 0,04 + 1,94 + \frac{0,17}{2} = 2,06$$

$$K_i = 0,485 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

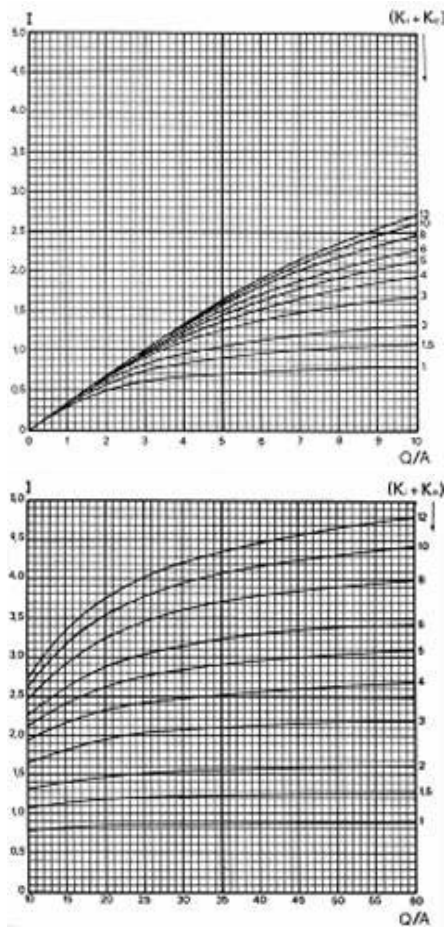


Figura A4.3.1. Curva para a obtenção de I para diferentes Q/A

$$\frac{1}{K_e} = \frac{1}{h_e} + R_e + \frac{R_i}{2} = 0,12 + 0,005 + \frac{0,17}{2} = 0,21$$

$$K_e = 4,77 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

$$\frac{1}{K_0} = \frac{1}{h_i} + R_i + R_l + R_e + \frac{1}{h_e} = 0,04 + 1,94 + 0,17 + 0,005 + 0,12 = 2,27$$

$$K_0 = 0,44 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

Para o caso de X_i e usam-se as seguintes expressões:

$$\frac{1}{X_e} = R_i + R_e + \frac{1}{h_e} = 0,17 + 0,005 + 0,12 = 0,295$$

$$X_e = 3,40 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

$$\frac{1}{X_i} = \frac{1}{h_i} + R_i = 0,04 + 1,94 = 1,98$$

$$X_i = 0,506 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

Enquanto que para o caso de I , recorre-se ao gráfico da Figura A4.3.1, com $K_i + K_e$ e Q/A como variáveis.

É então possível calcular o factor de transmissão solar:

$$F_{ts} = 0,72 \cdot 0,9 \cdot \left(\frac{0,44}{3,40} + \frac{1,75 \cdot \frac{0,44^2}{0,485 \cdot 4,77}}{0,506} \right) = 0,272$$

c) Cálculo do Factor de transmissão solar da parede de Trombe com efeito de estufa

$$F_{ts} = S \cdot \alpha \cdot \left(\frac{K_0}{X_e} + \frac{I \cdot \frac{K_0^2}{K_i \cdot K_e}}{X_i} \cdot \left(\varepsilon - \frac{\delta}{Y} \right) \right) \quad (\text{A4.3.3})$$

Para o obter o Y calcula-se K_i e K_e pelas seguintes expressões:

$$\frac{1}{K_i} = \frac{1}{h_i} + R_i + \frac{R_l}{2} = 0,04 + 1,94 + \frac{0,17}{2} = 2,06$$

$$K_i = 0,485 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

e

$$\frac{1}{K_e} = \frac{1}{h_e} + R_e + \frac{R_l}{2} = 0,12 + 0,005 + \frac{0,17}{2} = 0,21$$

$$K_e = 4,77 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

Seguidamente foi calculado X_i , E e GH . Para obter X_i usa-se a expressão abaixo indicada enquanto que para E e GH recorre-se aos dados disponíveis no RCCTE (Quadro III.2 Anexo III).

$$\frac{1}{X_i} = \frac{1}{h_i} + R_i = 0,04 + 1,94 = 1,98$$

$$X_i = 0,506 \quad [\text{W/m}^2\text{°C}]$$

$$E = 500 \text{ kWh/m}^2$$

$$GH = 159,71$$

Assim chega-se a um valor de Y de:

$$Y = \frac{0,72 \cdot 0,9}{0,506} \cdot \frac{0,485}{4,77} \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{500}{159,71} = 0,41$$

Para o cálculo do Factor de transmissão solar usam-se as seguintes expressões para obter os valores de K_0 , X_e :

$$\frac{1}{K_0} = \frac{1}{h_i} + R_i + R_l + R_e + \frac{1}{h_e} = 0,04 + 1,94 + 0,17 + 0,005 + 0,12 = 2,27$$

$$K_0 = 0,44 \quad [\text{W/m}^2\text{°C}]$$

$$\frac{1}{X_e} = R_l + R_e + \frac{1}{h_e} = 0,17 + 0,005 + 0,12 = 0,295$$

$$X_e = 3,40 \quad [\text{W/m}^2\text{°C}]$$

Enquanto que para o caso de I, recorre-se aos ábacos da Figura A4.3.1. Com $K_i + K_e$ e Q/A como variáveis. Para ε e δ recorre-se ao Ábaco da Figura A4.3.2 com Y como variável.

Pode então determinar-se o factor de transmissão solar F_{ts} :

$$F_{ts} = 0,72 \cdot 0,9 \cdot \left(\frac{0,44}{3,39} + \frac{1,1 \cdot \frac{0,44^2}{0,485 \cdot 4,77}}{0,506} \cdot \left(0,6 - \frac{0,09}{0,408} \right) \right) = 0,155$$

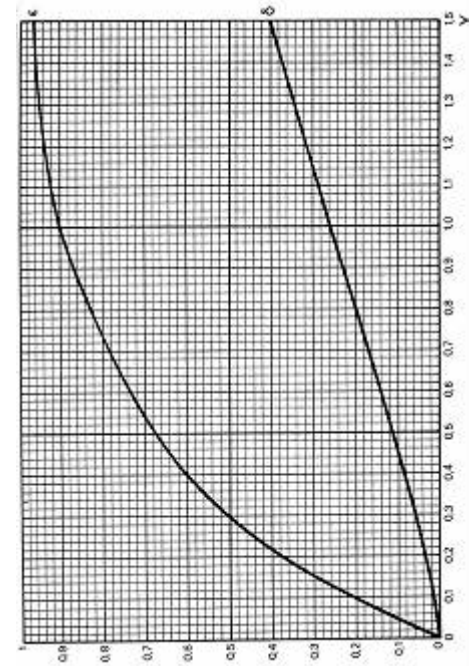


Figura A4.3.2. Curva para a obtenção de ε ou δ

A4.3.2. CET Proposta com Paredes de ganho indirecto Sul

a) Cálculo do Factor de transmissão solar da parede com efeito de estufa

$$F_{ts} = S \cdot \alpha \cdot \frac{K}{X_e} \quad (\text{A4.3.3})$$

Para o cálculo do Factor de transmissão solar usa-se a seguinte expressão para obter os valores de K_0 , X_e :

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + R_i + R_l + R_e + \frac{1}{h_e} = 0,04 + 0,95 + 0,17 + 0,005 + 0,12 = 1,28$$

$$K = 0,78 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

Com:

h_i : Resistência à transferência de calor superficial interior;

R_i : Resistência térmica da parede interior;

R_l : Resistência térmica da camada de ar;

R_e : Resistência térmica da parede exterior;

h_e : Resistência à transferência de calor superficial exterior.

$$\frac{1}{X_e} = R_l + R_e + \frac{1}{h_e} = 0,17 + 0,005 + 0,12 = 0,295$$

$$X_e = 3,40 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

Por fim chega-se a um valor do factor de transmissão solar de:

$$F_{ts} = 0,72 \cdot 0,90 \cdot \frac{0,78}{3,40} = 0,15$$

b) Cálculo do Factor de transmissão solar da parede dinâmica com efeito de estufa

$$F_{ts} = S \cdot \alpha \cdot \left(\frac{K_0}{X_e} + \frac{I \cdot \frac{K_0^2}{K_i \cdot K_e}}{X_i} \right) \quad (\text{A4.3.4})$$

Para obter o factor de transmissão solar calcula-se K_0 , K_i , K_e . São usadas as seguintes expressões para o cálculo destas variáveis:

$$\frac{1}{K_i} = \frac{1}{h_i} + R_i + \frac{R_l}{2} = 0,04 + 0,95 + \frac{0,17}{2} = 1,07$$

$$K_i = 0,93 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

$$\frac{1}{K_e} = \frac{1}{h_e} + R_e + \frac{R_i}{2} = 0,12 + 0,005 + \frac{0,17}{2} = 0,21$$

$$K_e = 4,77 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

$$\frac{1}{K_0} = \frac{1}{h_i} + R_i + R_i + R_e + \frac{1}{h_e} = 0,04 + 0,95 + 0,17 + 0,005 + 0,12 = 1,28$$

$$K_0 = 0,78 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

Para o caso de Xi e Xe usam-se as seguintes expressões:

$$\frac{1}{X_e} = R_i + R_e + \frac{1}{h_e} = 0,17 + 0,005 + 0,12 = 0,295$$

$$X_e = 3,40 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

$$\frac{1}{X_i} = \frac{1}{h_i} + R_i = 0,04 + 0,95 = 0,99$$

$$X_i = 1,01 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

Para determinar I, recorre-se ao gráfico da Figura A4.3.1, com $K_i + K_e$ e Q/A como variáveis

É então possível calcular o factor de transmissão solar:

$$F_{ts} = 0,72 \cdot 0,9 \cdot \left(\frac{0,77}{3,40} + \frac{1,8 \cdot \frac{0,77^2}{0,93 \cdot 4,77}}{1,01} \right) = 0,31$$

c) Cálculo do Factor de transmissão solar da parede de Trombe com efeito de estufa

$$F_{ts} = S \cdot \alpha \cdot \left(\frac{K_0}{X_e} + \frac{I \cdot \frac{K_0^2}{K_i \cdot K_e}}{X_i} \cdot \left(\varepsilon - \frac{\delta}{Y} \right) \right) \quad (\text{A4.3.5})$$

Para obter o Y calcula-se K_i e K_e pelas seguintes expressões:

$$\frac{1}{K_i} = \frac{1}{h_i} + R_i + \frac{R_i}{2} = 0,04 + 0,95 + \frac{0,17}{2} = 1,07$$

$$K_i = 0,93 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

e

$$\frac{1}{K_e} = \frac{1}{h_e} + R_e + \frac{R_i}{2} = 0,12 + 0,005 + \frac{0,17}{2} = 0,21$$

$$K_e = 4,77 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

Seguidamente calcula-se X_i , E e GH . Para obter X_i usa-se a expressão abaixo indicada enquanto que para E e GH recorre-se aos dados disponíveis no RCCTE (Quadro III.2 Anexo III).

$$\frac{1}{X_i} = \frac{1}{h_i} + R_i = 0,04 + 0,95 = 0,99$$

$$X_i = 1,01 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

$$E = 500 \text{ kWh/m}^2$$

$$GH = 159,71$$

Assim chega-se a um valor de Y de:

$$Y = \frac{0,72 \cdot 0,9}{1,01} \cdot \frac{0,93}{4,77} \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{500}{159,71} = 0,39$$

Para o cálculo do Factor de transmissão solar são usadas as seguintes expressões para obter os valores de K_0 , X_e :

$$\frac{1}{K_0} = \frac{1}{h_i} + R_i + R_i + R_e + \frac{1}{h_e} = 0,04 + 0,95 + 0,17 + 0,005 + 0,12 = 1,28$$

$$K_0 = 0,78 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

$$\frac{1}{X_e} = R_i + R_e + \frac{1}{h_e} = 0,17 + 0,005 + 0,12 = 0,295$$

$$X_e = 3,40 \text{ [W/m}^2\text{°C]}$$

Enquanto que para o caso de I, recorre-se aos ábacos da Figura A3.2.1 com $K_i + K_e$ e Q/A como variáveis. Para ε e δ recorre-se ao Ábaco da Figura A3.2.2 com Y como variável.

Pode então determinar-se o factor de transmissão solar F_{ts} :

$$F_{ts} = 0,72 \cdot 0,9 \cdot \left(\frac{0,77}{3,40} + \frac{1,1 \cdot \frac{0,77^2}{0,93 \cdot 4,77}}{1,01} \cdot \left(0,59 - \frac{0,088}{0,391} \right) \right) = 0,205$$

A4.4.3. CET Convencional com Estufa adossada Sul

A partir da metodologia proposta pelo CSTB e descrita no Capítulo 6 da Teste, determinam-se os ganhos solares passivos através da varanda envidraçada sob a forma da Superfície equivalente Sul.

Na expressão de cálculo da Área equivalente Sul “directa”;

$$S_{sed} = 0,6 \sum (A.F_{ts}.F_e.C_1) \quad [m^2] \quad (A4.3.6)$$

substituiu-se 0,6 por 0,85, pois este factor de redução incluía uma parte referente à existência de obstáculos resultantes da ocupação, facto que nos módulos em estudo não se verifica. O factor solar dos vidros F_{ts} (simples incolores de 6mm) é de 0,85. O factor de obstrução F_e considerado foi de 1, visto não existirem quaisquer obstáculos que provoquem sombra durante o Inverno. Sendo assim:

$$S_{sed} = 0,85 \times (8,84 \times 0,85 \times 1 \times 1)$$

$$S_{sed} = 6,40 m^2$$

Calcula-se seguidamente a Área transparente Sul equivalente

correspondente aos ganhos solares da varanda:

$$S_{sev} = \left[\left(0,8 \times 3,15 \times 0,72 + 3,7 \times 0,3 \times \frac{0,49}{16,67} \right) \times 1 \times 1 \right]$$

$$S_{sei} = (1,85 - 6,4) \times \text{Sigma}$$

$$S_{sev} = 1,85 m^2$$

$$\frac{A_f}{A_v} = \frac{1,75}{1,75} = 1$$

Para o cálculo do calor absorvido pela varanda:

Cálculo do Sigma, pela consulta da Tabela A4.2.3:

$$\text{Sigma} = 0,23$$

$$\frac{A_f}{A_v} = \frac{3,50}{1,75} = 2,11$$

$$S_{sei} = -1,05$$

$$S_{sei} = (1,85 - 6,4) \times 0,23$$

Sabendo os valores de S_{sed} e de S_{sei} pode-se então determinar a “Área equivalente total de vidro a Sul” S_{se} .

$$S_{se} = 6,4 - 1,05 = 5,31 m^2$$

A4.4.4. CET Proposta com Estufa adossada Sul

Para o Cálculo de A_s

Na fórmula da Área equivalente Sul "directa";

$$S_{sed} = 0,6 \sum (A_i F_{ts} F_e C_i) \text{ [m}^2\text{]} \quad (\text{A4.3.7})$$

Substituiu-se 0,6 por 0,85, pois este factor de redução incluía uma parte referente à existência de obstáculos resultantes da ocupação, facto que nas CET em estudo não se verifica. O factor solar dos vidros F_{ts} (simples incolores de 6mm) é de 0,85. O factor de obstrução F_e considerado foi de 1, visto não existirem quaisquer obstáculos que provoquem sombra durante o Inverno. Sendo assim:

$$S_{sed} = 0,85 \times (8,84 \times 0,85 \times 1 \times 1)$$

$$S_{sed} = 6,40 \text{ m}^2$$

Calculou-se seguidamente a Área transparente Sul equivalente correspondente aos ganhos solares da varanda:

$$S_{sev} = \left[\left(0,8 \times 2,16 \times 0,72 + 5,14 \times 0,3 \times \frac{4,76}{16,67} \right) \times 1 \times 1 \right]$$

$$S_{sev} = 1,68 \text{ m}^2$$

Para o cálculo do calor absorvido pela varanda:

$$S_{sei} = (1,68 - 6,4) \times \text{Sigma}$$

$$\frac{A_f}{A_v} = \frac{1,75}{1,75} = 1$$

Cálculo do Sigma, pela consulta da Tabela A4.2.3:

$$\text{Sigma} = 0,23$$

$$S_{sei} = (1,68 - 6,4) \times 0,23$$

$$S_{sei} = -1,09$$

$$\frac{A_f}{A_v} = \frac{3,50}{1,75} = 2,11$$

Sabendo os valores de S_{sed} e de S_{sei} podemos então determinar a "Área equivalente total de vidro a Sul" S_{se} .

$$S_{se} = 6,4 - 1,09 = 5,31 \text{ m}^2$$