



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CTC - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**LabEEE**

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

DISCIPLINA: ECV 5161

# **DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES**



Roberto Lamberts, PhD

Enedir Ghisi, M.Eng. – 1ª edição, 1994

Ana Lígia Papst de Abreu, M. Eng. – 2ª edição, 1999

Joyce C. Carlo, M. Eng. – 3ª edição, 2005

Juliana Oliveira Batista, M. Eng – 4ª edição, 2006

Deivis Luis Marinoski, M. Eng – 5ª edição, 2007

Alejandro Naranjo, Arq. - 6ª edição, 2011

Florianópolis, maio de 2011

## SUMÁRIO

<b>Conforto térmico.....</b>	<b>5</b>
1.1	Mecanismos de termo-regulação ..... 5
1.2	A pele ..... 5
1.3	Trocas térmicas entre corpo e ambiente ..... 6
1.4	As variáveis de conforto térmico..... 6
1.4.1	Metabolismo ..... 6
1.4.2	A vestimenta..... 8
1.4.3	Temperatura radiante média ..... 9
1.4.4	Temperatura do ar..... 11
1.4.5	Velocidade do ar..... 11
1.4.6	Umidade relativa do ar ..... 12
1.5	Índices de conforto ..... 13
1.5.1	O voto médio predito..... 13
1.5.2	O programa Analysis CST..... 15
1.5.3	A teoria adaptativa..... 17
1.6	exercícios..... 20
1.6.1	Exercício 1..... 20
1.6.2	Exercício 2..... 22
<b>2</b>	<b>Bioclimatologia ..... 23</b>
2.1	Variáveis do clima ..... 23
2.1.1	Radiação solar ..... 23
2.1.2	Temperatura..... 24
2.1.3	Umidade ..... 26
2.1.4	Vento ..... 26
2.2	Estratégias bioclimáticas ..... 28
2.2.1	Zona de conforto..... 28
2.2.2	Ventilação..... 28
2.2.3	Resfriamento evaporativo..... 29
2.2.4	Inércia térmica para resfriamento ..... 30
2.2.5	Resfriamento artificial ..... 30
2.2.6	Umidificação ..... 31
2.2.7	Inércia térmica e aquecimento solar ..... 31
2.2.8	Aquecimento solar passivo ..... 32
2.2.9	Aquecimento artificial ..... 33
2.3	O programa Analysis BIO ..... 33
2.4	Zoneamento bioclimático ..... 38
2.5	Exercício..... 39
<b>3</b>	<b>Geometria solar ..... 42</b>
3.1	RADIAÇÃO SOLAR ..... 42
3.2	Movimentos da Terra ..... 43
3.2.1	Rotação..... 43
3.2.2	Translação ao redor do Sol ..... 43
3.3	Azimute e altura solar..... 44
3.4	Diagramas solares..... 45
3.5	Aplicações práticas dos diagramas solares ..... 47
3.6	Transferidor de ângulos..... 50
3.7	a máSCARA DE SOMBRa ..... 52
3.8	TIPOS de PROTEÇÕES SOLARES..... 58
3.8.1	Traçado de máscaras..... 58
3.8.2	Brise horizontal infinito..... 58
3.8.3	Brise vertical infinito ..... 59
3.8.4	Brise horizontal finito ..... 59
3.8.5	Brise vertical finito ..... 60
3.8.6	Brisas mistos..... 61
3.9	O programa Sol-ar ..... 61
3.10	EXEMPLOS RESOLVIDOS ..... 63
3.11	CATÁLOGO DE BRISES ..... 68

---

<b>4</b>	<b>Desempenho térmico de paredes e coberturas .....</b>	<b>87</b>
4.1	Desempenho térmico de paredes .....	87
4.2	Formas de transmissão de calor .....	88
4.2.1	Condução .....	88
4.2.2	Convecção .....	88
4.2.3	Radiação .....	88
4.2.4	Condensação .....	89
4.3	Comportamento dos materiais opacos diante da radiação solar .....	90
4.4	Desempenho térmico de coberturas .....	92
4.5	Exemplo .....	93
4.6	TERMOGRAFÍA .....	95
<b>5</b>	<b>Desempenho térmico de janelas .....</b>	<b>97</b>
5.1	Vidro comum .....	98
5.2	Vidros especiais .....	99
5.3	Fluxo de calor através da janela .....	99
5.4	Exemplos .....	100
<b>6</b>	<b>Ventilação .....</b>	<b>102</b>
6.1	Ventilação de inverno e de verão .....	102
6.2	Mecanismos de ventilação .....	102
6.2.1	Ventilação natural por diferença de temperatura .....	102
6.2.2	Ventilação natural por diferença de pressão causada pelo vento .....	103
6.2.3	Cálculo de ventilação por efeito do vento .....	103
6.2.4	Exemplo .....	107
<b>7</b>	<b>Diretrizes Construtivas para Habitações no Brasil .....</b>	<b>109</b>
7.1	NBR 15220-3: Habitações Unifamiliares de Interesse Social no Zoneamento Bioclimático Brasileiro	109
	Exemplo de aplicação .....	111
7.1.1	Conclusão do exercício .....	114
7.2	NBR 15575: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho .....	114
7.2.1	Introdução .....	114
7.2.2	Requisitos Gerais .....	115
7.2.3	Sistemas de vedações verticais internas e externas .....	115
7.2.4	Sistemas de coberturas .....	118
<b>8</b>	<b>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....</b>	<b>120</b>
8.1	SELO CASA AZUL .....	120
8.1.1	Categorias e critérios do Selo Casa Azul CAIXA .....	121
8.1.2	Orientações gerais .....	123
8.2	ETIQUETAGEM DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS .....	125
8.2.1	CLASSIFICAÇÃO .....	125
8.2.2	Tipos de etiqueta .....	126
8.2.3	Pré-requisitos: .....	127
8.2.4	CALCULO DE UHS: .....	128
8.2.5	Quadro resumo do etiquetagem residencial .....	132
8.2.6	Publicações .....	133
<b>9</b>	<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>137</b>
<b>10</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>142</b>

---

## Apresentação

Esta apostila, preparada para a Disciplina ECV 5161 - Desempenho Térmico de Edificações - do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina está estruturada de forma a tratar do tema **Desempenho Térmico de Edificações** através de 8 diferentes módulos.

O primeiro deles está relacionado às variáveis de conforto térmico humano em edificações e aos índices de avaliação de conforto. A seguir, ressalta-se a importância da adoção de padrões arquitetônicos relacionados ao clima no qual se insere a edificação através da bioclimatologia. O projeto e a avaliação de proteções solares são apresentados no terceiro módulo. No quarto e quinto módulo avalia-se o desempenho térmico de paredes, coberturas e janelas como forma de alertar para a escolha adequada de componentes construtivos. No sexto módulo discute-se a necessidade de ventilação do ambiente construído e apresenta-se um algoritmo para cálculo das condições de ventilação em ambientes. No sétimo módulo apresentam-se as diretrizes construtivas existentes no Brasil. O oitavo e último módulo apresenta uma série de temas relacionados como a sustentabilidade de modo geral e algumas iniciativas que estão sendo implementadas no Brasil.

## Ementa

Conforto térmico: variáveis e índices de conforto. Arquitetura bioclimática. Desempenho térmico de paredes, coberturas e janelas. Proteções solares: diagramas solares e projeto de brises. Ventilação: ventilação de inverno e verão, mecanismos de ventilação, cálculo de ventilação natural por efeito do vento. Consumo e uso final de eletricidade em edificações: simulações computacionais.

Fotos da capa:

Centro Cultural Jean Marie Tjibaou – Nova Caledonia (Esquerda)

Council House CH2 Building – Melbourne (Centro)

National Renewable Energy Laboratory – Colorado (Direita)

---

# CONFORTO TÉRMICO

Define-se Conforto Térmico como o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. A não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente (Figura 1). A norma internacional para averiguar o conforto térmico em ambientes é a ISO 7730 (1994).

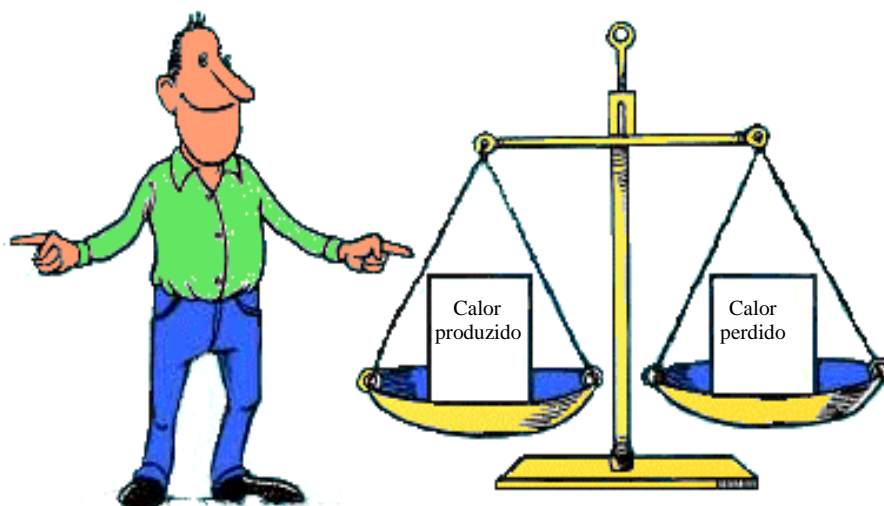


Figura 1. Equilíbrio no balanço térmico gera a sensação de conforto.

Fonte: [www.innova.dk](http://www.innova.dk)

## 1.1 MECANISMOS DE TERMO-REGULAÇÃO

### Reação ao calor

Com o verão existem dificuldades para eliminar o calor devido a alta temperatura do meio. Desta forma, origina-se a vasodilatação. Esta aumenta o volume de sangue, acelerando o ritmo cardíaco e provocando a transpiração.

### Reação ao frio

Com o frio existem as dificuldades para manter o calor devido a baixa temperatura do meio. Desta forma origina-se a vasoconstrição. Esta provoca a diminuição do volume de sangue e do ritmo cardíaco. O arrepio e o tiritar provocam atividade, gerando calor.

## 1.2 A PELE

Em função do que já foi visto, pode-se afirmar que é através da pele que se realizam as trocas de calor, ou seja, a pele é o principal órgão termo-regulador do organismo humano.

A temperatura da pele é regulada pelo fluxo sanguíneo que a percorre, ou seja, quanto mais intenso o fluxo, mais elevada sua temperatura.

Ao sentir desconforto térmico, o primeiro mecanismo fisiológico a ser ativado é a regulação vasomotora do fluxo sanguíneo da camada periférica do corpo, a camada

subcutânea, através da vasodilatação ou vasoconstrição, reduzindo ou aumentando a resistência térmica dessa camada subcutânea.

Outro mecanismo de termo-regulação da pele é a transpiração, que tem início quando as perdas por convecção e radiação são inferiores às perdas necessárias à termo-regulação.

### 1.3 TROCAS TÉRMICAS ENTRE CORPO E AMBIENTE

A quantidade de calor liberado pelo organismo é função da atividade desenvolvida. Este calor será dissipado através de mecanismos de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente envolvendo:

- trocas secas:           - condução;
- convecção;
- radiação;
- trocas úmidas:       - evaporação.

O calor perdido para o ambiente através das trocas secas é denominado calor sensível e é função das diferenças de temperatura entre o corpo e o ambiente. O calor perdido através das trocas úmidas é denominado calor latente e envolve mudanças de fase – o suor (líquido) passa para o estado gasoso através da evaporação.

### 1.4 AS VARIÁVEIS DE CONFORTO TÉRMICO

As variáveis de conforto térmico estão divididas em variáveis ambientais e variáveis humanas. As variáveis humanas são:

- metabolismo gerado pela atividade física
- resistência térmica oferecida pela vestimenta

E as ambientais são:

- temperatura do ar;
- temperatura radiante média;
- velocidade do ar;
- umidade relativa do ar.

Além disso, variáveis como sexo, idade, raça, hábitos alimentares, peso, altura etc podem exercer influência nas condições de conforto de cada pessoa e devem ser consideradas.

#### 1.4.1 Metabolismo

É o processo de produção de energia interna a partir de elementos combustíveis orgânicos. Ou seja, através do metabolismo, o organismo adquire energia. Porém, de toda energia produzida pelo organismo humano, apenas 20% é transformada em potencialidade de trabalho. Os 80% restantes são transformados em calor que deve ser dissipado para que a temperatura interna do organismo seja mantida em equilíbrio.

Isto acontece porque a temperatura interna do organismo humano deve ser mantida praticamente constante em 37°C (variando entre 36,1 e 37,2°C). Os limites para sobrevivência estão entre 32 e 42 °C.

Como a temperatura interna do organismo deve ser mantida constante, quando o meio apresenta condições térmicas inadequadas, o sistema termo-regulador do homem é ativado, reduzindo ou aumentando as perdas de calor pelo organismo através de alguns mecanismos de controle, como reação ao frio e ao calor.

---

Quando o organismo, sem recorrer a nenhum mecanismo de termo-regulação, perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo compatível com a atividade realizada, experimenta-se a sensação de conforto térmico.

A Tabela 1 apresenta dados relativos ao calor dissipado pelo corpo em função da atividade do indivíduo. O metabolismo pode ser expresso em  $W/m^2$  de pele ou em Met, unidade do metabolismo cujo valor unitário corresponde a uma pessoa relaxada. Assim,  $1 \text{ Met} = 58,15 W/m^2$  de área de superfície corporal. A Figura 2 apresenta algumas atividades expressas em Met.

**Tabela 1. Taxa metabólica para diferentes atividades segundo ISO 7730 (1994).**

Atividade	Metabolismo ( $W/m^2$ )
Reclinado	46
Sentado, relaxado	58
Atividade sedentária (escritório, escola etc.)	70
Fazer compras, atividades laboratoriais	93
Trabalhos domésticos	116
Caminhando em local plano a 2 km/h	110
Caminhando em local plano a 3 km/h	140
Caminhando em local plano a 4 km/h	165
Caminhando em local plano a 5 km/h	200

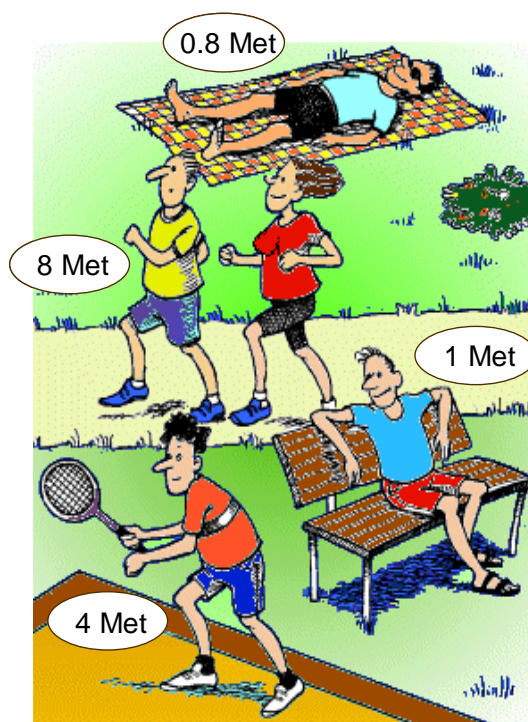


Figura 2. Atividades metabólicas e suas taxas expressas em Met. Fonte: [www.innova.dk](http://www.innova.dk)

### 1.4.2 A vestimenta

A vestimenta equivale a uma resistência térmica interposta entre o corpo e o meio, ou seja, ela representa uma barreira para as trocas de calor por convecção.

A vestimenta funciona como isolante térmico, pois mantém junto ao corpo uma camada de ar mais aquecido ou menos aquecido, conforme seja mais ou menos isolante, conforme seu ajuste ao corpo e a porção do corpo que cobre.

Em climas secos (desertos), onde se atinge elevadas temperaturas, poder-se-ia pensar que a ausência de roupas poderia garantir condições mais confortáveis para os habitantes destas regiões. No entanto, em climas secos, vestimentas adequadas podem manter a umidade advinda do organismo pela transpiração e evitar a desidratação. A vestimenta reduz o ganho de calor relativo à radiação solar direta, as perdas em condições de baixo teor de umidade e o efeito refrigerador do suor.

A vestimenta reduz também a sensibilidade do corpo às variações de temperatura e de velocidade do ar.

Sua resistência térmica depende do tipo de tecido, da fibra, do ajuste ao corpo, e deve ser medida através das trocas secas relativas a quem usa. Sua unidade é o clo, originada de clothes.

Assim:  $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W} = 1 \text{ terno completo}$ .

A Tabela 2 apresenta o índice de resistência térmica ( $I_{cl}$ ) para as principais peças de roupa, sendo que o índice de resistência térmica ( $I$ ) para a vestimenta de uma pessoa será, segundo a **ISO 7730 (1994)**, o somatório de  $I_{cl}$  (figura 3), ou seja,  $I = \sum I_{cl}$

**Tabela 2. Índice de resistência térmica para vestimentas segundo ISO 7730 (1994).**

Vestimenta	Índice de resistência térmica – $I_{cl}$ (clo)
Meia calça	0,10
Meia fina	0,03
Meia grossa	0,05
Calcinha e sutiã	0,03
Cueca	0,03
Cuecão longo	0,10
Camiseta de baixo	0,09
Camisa de baixo mangas compridas	0,12
Camisa manga curta	0,15
Camisa fina mangas comprida	0,20
Camisa manga comprida	0,25
Camisa flanela manga comprida	0,30
Blusa com mangas compridas	0,15
Saia grossa	0,25
Vestido leve	0,15
Vestido grosso manga comprida	0,40
Jaqueta	0,35
Calça fina	0,20
Calça média	0,25
Calça flanela	0,28
Sapatos	0,04



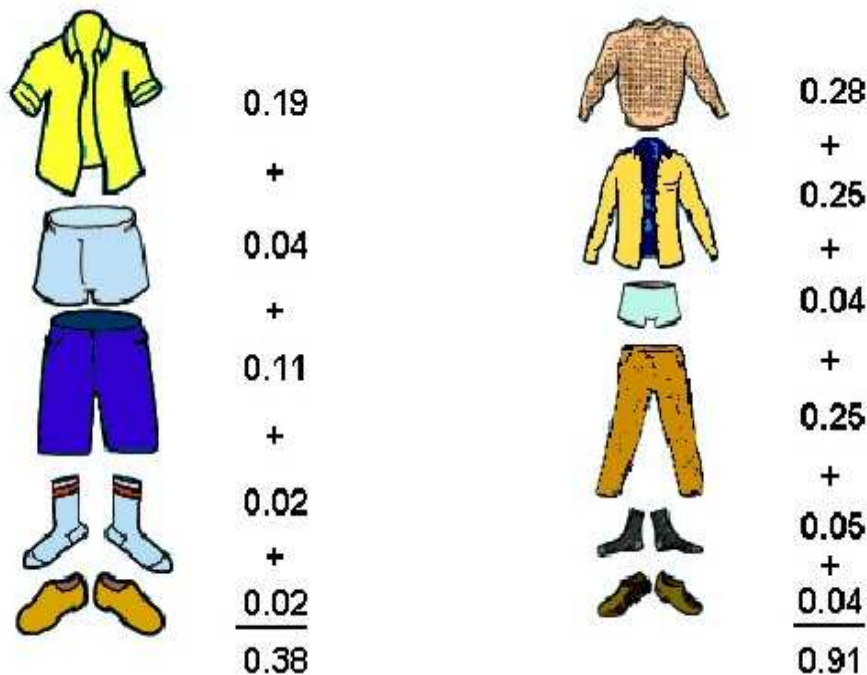


Figura 3. Somatório de peças de roupa que produzem índice de resistência térmica final para a vestimenta. Fonte: [www.hku.hk/bse/bbse3004/bbse3004\\_0405](http://www.hku.hk/bse/bbse3004/bbse3004_0405)

### 1.4.3 Temperatura radiante média

A temperatura radiante média representa a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor por radiação é igual ao ambiente real não uniforme (Figura 4).

O seu cálculo pode ser feito através da determinação da temperatura de termômetro de globo (Figura 5) e da temperatura do ar. As equações 1 e 2 apresentam a sua forma de determinação, respectivamente, para convecção natural e forçada.

#### Convecção natural

(1)

$$\bar{t}_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + 0,4 \times 10^8 x \sqrt[4]{t_g - t_a} |x(t_g - t_a) - 273|}$$

#### Convecção forçada

(2)

$$\bar{t}_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + 2,5 \times 10^8 x V^{0,6} x(t_g - t_a) - 273}$$

Onde

$t_g$  é a temperatura de termômetro de globo (°C);

$t_a$  é a temperatura do ar (°C);

$V$  é a velocidade do ar (m/s).

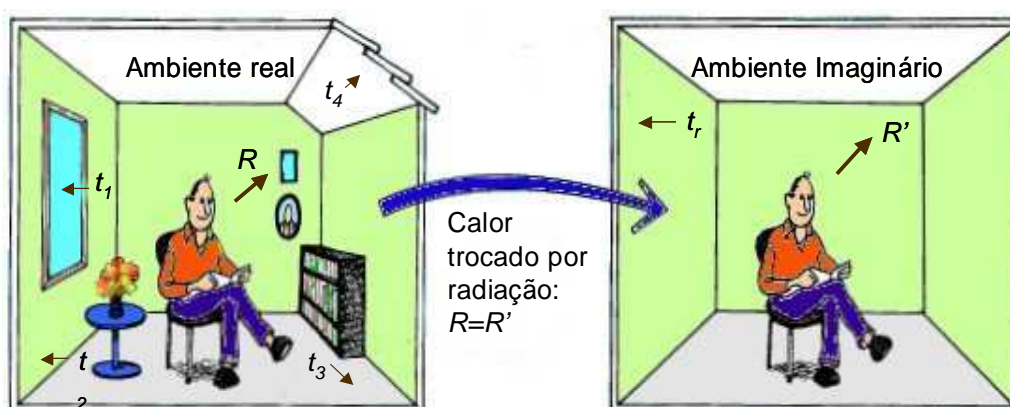


Figura 4. Trocas entre um ambiente real e o corpo e entre um ambiente imaginário e o mesmo corpo, através da temperatura radiante média. Fonte: [www.innova.dk](http://www.innova.dk)

Para definir a equação a ser utilizada deve-se determinar o coeficiente de troca de calor por convecção do globo apresentado nas equações 3 e 4 e adotar-se a temperatura radiante média para a forma de convecção que apresentar o maior coeficiente de troca de calor.

Convecção natural

$$h_{cg} = 1,4,4 \sqrt{\frac{\Delta T}{D}} \quad (3)$$

Convecção forçada

$$h_{cg} = 6,3 \frac{V^{0,6}}{D^{0,4}} \quad (4)$$

Onde

$h_{cg}$  é o coeficiente de troca de calor por convecção do globo;

$\Delta T$  é a diferença de temperatura ( $t_g - t_a$ );

$D$  é o diâmetro do globo (normalmente 15 cm);

$V$  é a velocidade do ar (m/s).



Figura 5. Termômetro de globo, utilizado para medição da temperatura de globo. Fonte: [www.labcon.ufsc.br](http://www.labcon.ufsc.br)

#### 1.4.4 Temperatura do ar

A temperatura do ar é a principal variável do conforto térmico. A sensação de conforto baseia-se na perda de calor do corpo pelo diferencial de temperatura entre a pele e o ar, complementada pelos outros mecanismos termo-reguladores. O calor é produzido pelo corpo através do metabolismo e suas perdas são menores quando a temperatura do ar está alta ou maiores quando a temperatura está mais baixa.

A diferença de temperatura entre dois pontos no ambiente provoca a movimentação do ar, chamada de convecção natural: a parte mais quente torna-se mais leve e sobe enquanto a mais fria, desce, proporcionando uma sensação de resfriamento do ambiente.

A temperatura do ar, chamada de temperatura de bulbo seco, TBS, costuma ser medida com a temperatura de bulbo úmido através do psicrômetro giratório. A temperatura de bulbo úmido é medida com um termômetro semelhante ao usado para medir a TBS, porém com um tecido no bulbo do termômetro de forma que a umidade seja considerada. Este par forma o psicrômetro giratório (Figura 6), ou par psicrométrico. O giro manual do psicrômetro, que pode ser substituído por um pequeno ventilador, visa retirar a umidade excessiva do tecido que envolve o bulbo de forma que TBU possa ser medida sob os efeitos naturais da perda de calor para evaporação da água do tecido. Assim, a TBU é sempre menor que TBS.

Para o conforto, é interessante conhecer também a temperatura operativa. A temperatura operativa resume as perdas da temperatura do corpo, que está submetido a um ambiente real com efeitos desiguais por todos os lados. A temperatura operativa é uma temperatura teórica que provoca uma perda de calor equivalente a todos os fenômenos que provocam esta perda caso o corpo estivesse em um ambiente imaginário submetido apenas a uma temperatura homogênea.



**Figura 6.** Psicrômetro giratório, utilizado para medição da temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido. Fonte: [www.labcon.ufsc.br](http://www.labcon.ufsc.br)

#### 1.4.5 Velocidade do ar

A velocidade do ar, que costuma ser abaixo que 1m/s, ocorre em ambientes internos sem necessariamente a ação direta do vento. O ar se desloca pela diferença de temperatura no ambiente, onde o ar quente sobe e o ar frio desce (convecção natural). Quando o ar se desloca por meios mecânicos, como um ventilador, o coeficiente de convecção aumenta, aumentando a sensação de perda de calor (convecção forçada). O deslocamento do ar também aumenta os efeitos da evaporação no corpo humano, retirando a água em contato com a pele com mais eficiência e assim, reduzindo a sensação de calor.

Há vários tipos de anemômetros para medição da velocidade do ar, como o anemômetro giratório, formado por hélices que se deslocam com o movimento do ar (Figura 7), mais apropriado para medir a velocidade do vento) ou o termo-anemômetro (Figura 8), mais sensível e recomendado para medições de velocidade do ar no ambiente interno.



Figura 7. Anemômetro de hélice para medição da velocidade do vento. Fonte: [www.labcon.ufsc.br](http://www.labcon.ufsc.br)



Figura 8. Termoanemômetro para medição da velocidade do ar. Fonte: [www.labcon.ufsc.br](http://www.labcon.ufsc.br)

#### 1.4.6 Umidade relativa do ar

A umidade é caracterizada pela quantidade de vapor d'água contido no ar. Este vapor se forma pela evaporação da água, processo que supõe a mudança do estado líquido ao gasoso, sem modificação da sua temperatura.

O ar, a uma determinada temperatura, somente pode conter uma certa quantidade de vapor de água. Quando chegamos a esse valor máximo dizemos que o ar está saturado. Ultrapassado este limite, ocorre a condensação, no qual o vapor excedente passa ao estado líquido, provocando o aumento da temperatura da superfície onde ocorre a condensação.

Estes processos dão lugar a uma forma particular de transferência de calor: um corpo perde calor por evaporação, que será ganho por aquele no qual se produz a condensação.

A umidade do ar, conjuntamente com a velocidade do ar, intervém na perda de calor por evaporação. Como aproximadamente 25% da energia térmica gerada pelo organismo é eliminada sob a forma de calor latente (10% por respiração e 15% por transpiração) é importante que as condições ambientais favoreçam estas perdas.

À medida que a temperatura do meio se eleva, dificultando as perdas por convecção e radiação, o organismo aumenta sua eliminação por evaporação. Quanto maior a UR, umidade relativa, menor a eficiência da evaporação na remoção do calor. Isto mostra a importância de uma ventilação adequada.

Porém, quando a temperatura do ar é superior a da pele, a pessoa estaria ganhando calor por convecção. Mas, ao mesmo tempo se produz um fenômeno de efeito contrário, já que a circulação do ar acelera as perdas por evaporação. No momento em que o balanço começa a ser desfavorável, ou seja, quando apenas ganharíamos calor, a umidade do ar torna-se importante. Se o ar está saturado, a evaporação não é possível, o que faz a pessoa começar

a ganhar mais calor assim que a temperatura do ar seja superior a da pele. No caso em que o ar está seco, as perdas continuam ainda com as temperaturas mais elevadas.

Assim, a **umidade absoluta** representa o peso de vapor d'água contido em uma unidade de massa de ar (g/kg) e a **umidade relativa**, a relação entre a umidade absoluta do ar e a umidade absoluta do ar saturado para a mesma temperatura.

A Figura 9 apresenta uma carta psicrométrica, onde pode-se obter a umidade relativa do ar em função das temperaturas de bulbo úmido (TBU) e seco (TBS).

## 1.5 ÍNDICES DE CONFORTO

Com o intuito de avaliar o efeito conjunto das variáveis de conforto térmico, alguns pesquisadores sugerem diferentes índices de conforto térmico.

De forma geral, estes índices são desenvolvidos fixando um tipo de atividade e a vestimenta do indivíduo para, a partir daí, relacionar as variáveis do ambiente e reunir, sob a forma de cartas ou nomogramas, as diversas condições ambientais que proporcionam respostas iguais por parte dos indivíduos.

Existem vários índices de conforto térmico, os quais podem ser divididos em dois grandes grupos: Os que estão baseados no balanço de calor (sendo o voto médio predito o mais conhecido deles) e os que têm uma abordagem adaptativa.

### 1.5.1 O voto médio predito

Este método foi desenvolvido por Fanger (**FANGER, 1972**) e é considerado o mais completo dos índices de conforto pois analisa a sensação de conforto em função das 6 variáveis. Faz uma relação das 6 unidades com o voto médio predito (PMV – *Predicted Mean Vote*) deste com a porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD – *Predicted Percentage of Dissatisfied*). É o método usado na ISO 7730.

Este prevê o voto de um grande grupo de pessoas através da escala mostrada na Tabela 3.

**Tabela 3. Escala térmica de Fanger.**

Escala	Sensação
+3	muito quente
+2	quente
+1	levemente quente
0	neutro
-1	levemente frio
-2	frio
-3	muito frio

Porém, este índice deve ser usado apenas para valores entre -2 e +2, pois acima destes limites teríamos aproximadamente mais de 80% das pessoas insatisfeitas (**ISO 7730, 1984**), como se pode perceber na Figura 10.



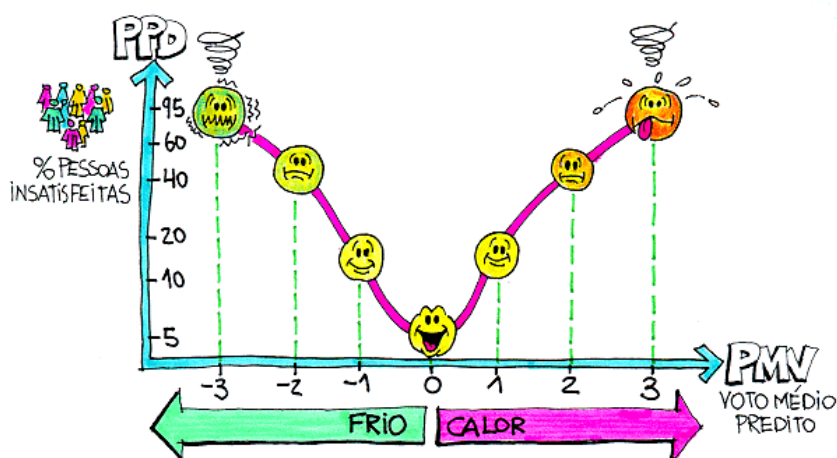


Figura 10. PMV e PPD.

Devido as diferenças individuais é difícil especificar um ambiente térmico que satisfaça a todos, sempre haverá uma percentagem de insatisfeitos. Segundo a ISO 7730, um ambiente é considerado termicamente aceitável quando  $PPD < 10\%$ , ou seja,  $-0,5 < PMV < +0,5$ .

### 1.5.2 O programa Analysis CST

Este programa, desenvolvido no LabEEE, visa tornar mais acessível o método desenvolvido por Fanger. Através das condições ambientais e das variáveis humanas como atividade e vestimenta, o Analysis CST indica o PMV e o PPD para o ambiente em questão no módulo de avaliação do conforto térmico, e o estado de stress térmico por frio ou calor no módulo de stress.

O módulo de conforto indica em relatórios a carga térmica sobre o corpo e as diversas formas de trocas de calor sensível e latente (convecção, radiação, respiração) e um gráfico com o PMV e PPD. As Figura 11, Figura 12 e Figura 13 apresentam um exemplo de desconforto por calor. A Figura 11 apresenta a tela de entrada das variáveis ambientais, a Figura 12 a tela do resultado gráfico de PMV e PPD e a Figura 13 um exemplo dos resultados ilustrados para avaliação do desempenho térmico de ambientes no programa Analysis CST.

Já o módulo de stress térmico, dividido em stress por calor e stress por frio, indica as condições de trabalho a que uma pessoa está submetida que possam gerar stress térmico em ambientes industriais. Apesar de apresentar uma interface igual ao módulo de conforto térmico, apresenta relatórios com os índices para stress térmico e pode recomendar a supervisão médica no acompanhamento de atividades.

The screenshot shows the 'Análise De Conforto Térmico' software interface. The title bar includes 'Vestimentas ISO 7730 1994', 'Atividades ISO 7730 1994', 'Ambiente', 'Relatório', and 'Figura'. The main area is divided into three columns: 'Temperatura do Ar' (Air Temperature) with a value of 27 [°C] and 'Velocidade do Ar' (Air Velocity) of 0.7 [m/s]; 'Altitude/Pressão' (Altitude/Pressure) with 'Nível do Mar' (Sea Level) selected; and 'Temp. de Globo' (Globe Temperature) of 32 [°C]. Below these are radio buttons for 'Temp. Radiante Média' (Mean Radiant Temperature), 'Pressao de Vapor' (Vapor Pressure), 'Temp. de Bulbo Úmido' (Wet Bulb Temperature) of 25 [°C], 'Umidade Relativa' (Relative Humidity), and 'Temp. De Orvalho' (Dew Point). A bottom section contains 'Vestimenta' (Clothing) with 'Traje de Trabalho' (Work Clothing) of 1.85 [clo], 'Atividade' (Activity) with 70 [W/m²] and 1.2 [met], and 'Ambiente' (Environment) with 'Temp. Ar' (Air Temp) of 27 [°C], 'T. Globo' (Globe Temp) of 32 [°C], 'Veloc. do Ar' (Air Vel) of 0.7 [m/s], 'T. B. Úmido' (Wet Bulb Temp) of 25 [°C], and 'Pressão Bar.' (Barometric Pressure) of 101.325 [kPa]. Buttons at the bottom include 'Gerar Relatório', 'Novo', 'Dados Via Arquivo', and 'Sair'.

Figura 11. Tela de entrada das variáveis climáticas para avaliação no módulo de conforto térmico do Analysis CST.

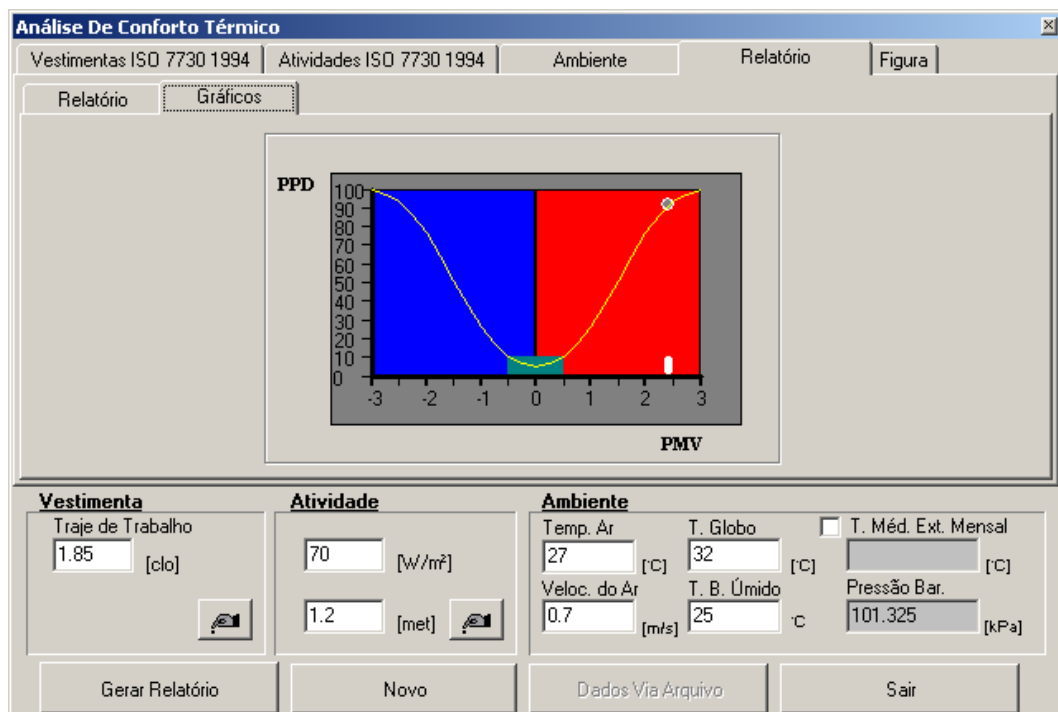


Figura 12. Tela do resultado gráfico de PMV e PPD no módulo de conforto térmico do Analysis CST.



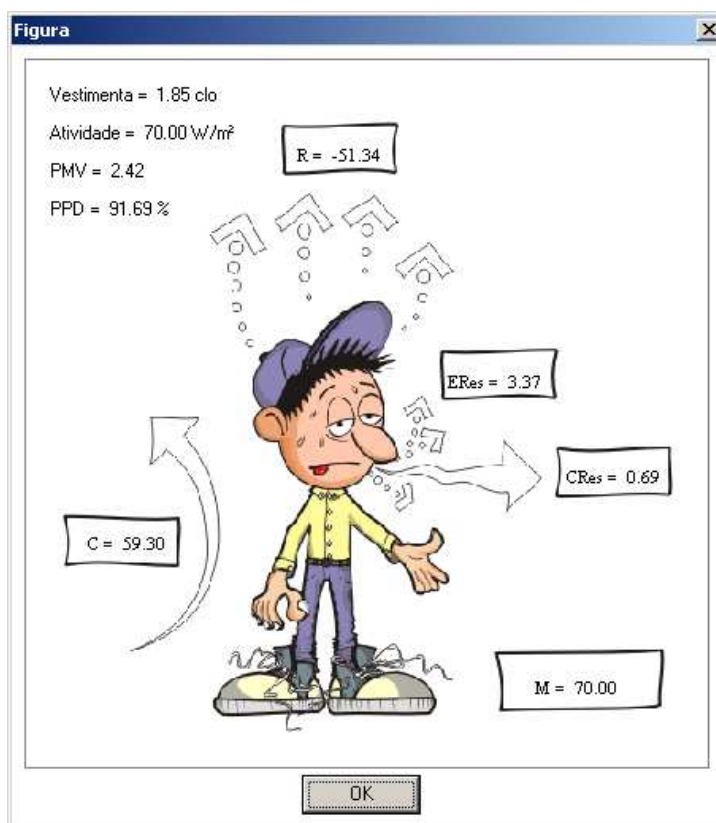


Figura 13. Tela da ilustração das trocas térmicas no módulo de conforto térmico do Analysis CST, para as variáveis  $Met = 70\text{W/m}^2$ ,  $Vestimenta = 1.85\text{clo}$ ,  $T_{ar} = 27^\circ\text{C}$ ,  $T_{globo} = 32^\circ\text{C}$ ,  $TBU = 25^\circ\text{C}$ ,  $Var = 0,7\text{m/s}$ .

### 1.5.3 A teoria adaptativa

A partir de 1984, várias pesquisas foram realizadas com o intuito de testar o modelo adotado pela ISO 7730, já que existiam dúvidas quanto à validade de seus resultados para algumas aplicações de campo e diferentes regiões climáticas. Os experimentos realizados por Fanger em 1984 dentro de câmaras climatizadas que deram origem a equações de PMV e PPD, encontradas nas normas internacionais ASHRAE 55 (1992) e ISO 7730 (1994), induziam-nos a crença de que os limites confortáveis de temperatura eram universais, e os efeitos de um determinado ambiente térmico aconteciam exclusivamente pelas trocas físicas de calor com a superfície do corpo, enquanto a manutenção da temperatura interna do corpo necessitava de alguma resposta fisiológica.

O conceito de que as pessoas interagem com o ambiente, de forma a buscar conforto térmico, originou uma segunda corrente de pensamento, conhecida como “adaptativa”, e que considera fatores além dos das físicas fundamentais e fisiologia, interagindo com a percepção térmica. Estes estudos têm como base conceitos de aclimatação, e os fatores considerados podem incluir características inerentes à demografia (gênero, idade, classe social), contexto (composição da edificação, estação, clima) e cognição (atitudes, preferências e expectativas).

São três as categorias de adaptação:

- Ajustes comportamentais: são as modificações conscientes ou inconscientes das pessoas; podem modificar o fluxo de calor e massas que governam as trocas térmicas do corpo. Estes ajustes podem ainda ser divididos em subcategorias, conhecidos como os ajustes pessoais (roupa, atividade, postura), ajustes tecnológicos ou ambientais (abrir/fechar janelas, ligar ventiladores, usar óculos escuros) e os ajustes culturais.
- Ajustes Fisiológicos: são aqueles que incluem todas as mudanças nas respostas fisiológicas das pessoas, que são resultado da exposição a fatores ambientais e térmicos, conduzindo a uma diminuição gradual na tensão criada por tal exposição. As mudanças fisiológicas podem ser divididas em: adaptação genética, que são aquelas que se tornaram parte da herança genética de um indivíduo ou grupo de pessoas; e a aclimação, que são as mudanças inerentes ao sistema termo-regulador.
- Ajustes Psicológicos: percepções e reações das informações sensoriais. A percepção térmica é diretamente atenuada por sensações e expectativas ao clima interno. Esta forma de adaptação pode ser comparada à noção de “habituação”, exposição repetida ou crônica, que conduz a uma diminuição da intensidade da sensação evocada anteriormente.

Desta forma, modelos adaptativos têm sido desenvolvidos com base nos resultados de experimentos de campo (ambientes reais) em que as pessoas desenvolvem as suas atividades cotidianas e vestem suas próprias roupas. Nesses experimentos, o pesquisador não interfere no ambiente e as pessoas expressam sua sensação e preferência térmica em escalas.

Os estudos realizados por DE DEAR & AULICIEMS (1985) em diferentes regiões climáticas da Austrália, concluíram que a técnica proposta pela ISO não poderia ser usada universalmente, já que as temperaturas de neutralidade térmica obtidas foram inferiores às previstas pelo PMV.

SCHILLER em seus estudos realizados em 1990 e BRAGER em 1992 concluíram que as sensações térmicas estavam sendo subestimadas em 0,5 a 1,0 unidade pelo PMV, sendo que as maiores diferenças eram observadas nas temperaturas inferiores à temperatura neutra.

BUSCH (1992) concluiu em experimentos realizados em quatro edifícios diferentes, dois com ventilação natural e dois com condicionamento artificial em uma região de clima tropical na Tailândia, que as pessoas que estavam acostumadas a esse tipo de clima, eram mais tolerantes ao calor quando comparadas às pessoas que vivem em regiões de climas temperados.

Assim, em 1994, a norma foi atualizada (ISO 7730, 1994) e a nova versão especifica que um ambiente é aceitável no que se refere ao conforto térmico quando o PPD é menor que 10% e os insatisfeitos devido ao desconforto causado pelas correntes de ar indesejadas (*draught*) forem inferior a 15%.

Em março de 1997, DE DEAR, BRAGER & COOPER realizaram o mais amplo projeto sobre o desenvolvimento dos modelos adaptativos: o ASHRAE RP – 884. Neste projeto, foram reunidas amostras com cerca de 21000 dados de edificações situadas em países da América, Ásia, Oceania e Europa, que permitiu um controle de qualidade e padronização dos dados disponíveis de experimentos de campo ao redor do mundo.

Estes dados foram separados tomando como partido a disposição ou não de sistema de ar condicionado e do período de realização do experimento (verão ou inverno). Na sua grande maioria, os experimentos foram realizados em prédios de escritório onde eram desenvolvidas atividades sedentárias.

Os modelos adaptativos propostos recentemente são basicamente equações de regressão que relacionam a temperatura de neutralidade do ambiente a uma única variável que é a temperatura média do ambiente externo e isso restringe o seu uso a condições similares às aquelas em que essas equações foram obtidas.

FANGER & TOFTUM (2002) afirmam que uma deficiência óbvia do modelo adaptativo é não incluir a vestimenta e a atividade e nem os quatro clássicos parâmetros térmicos (que tem um impacto indiscutível sobre o balanço térmico humano e, portanto, sobre a sensação térmica).

Os autores acreditam que o resultado obtido no ASHRAE RP 884, de que o PMV superestima a sensação térmica das pessoas acostumadas em climas quentes e em prédios sem ar condicionado, deve-se a dois motivos principais:

O primeiro destes está relacionado à expectativa diferente das pessoas que vivem em climas amenos e/ou costumam frequentar prédios com ar condicionado, enquanto o segundo está relacionado à existência de uma inconsciente diminuição da atividade física das pessoas que estão sentindo calor e que não foi contabilizada nos experimentos anteriores.

Assim, os autores propuseram um fator de expectativa “e”, que multiplicado ao PMV, faz com que essas variáveis psicológicas sejam consideradas (Tabela 4) Fonte:FANGER & TOFTUM, 2002

**Tabela 4. Fator de expectativa (e)**

Expectativa	Classificação das edificações	Valor de e
Alta	Edificações sem ar condicionado, localizadas em região onde o ar condicionado é comum. O período de calor é breve e só ocorre durante o verão	0,9 - 1,0
Média	Edificações sem ar condicionado, localizadas numa região onde existem alguns prédios com ar condicionado. O período de calor ocorre durante o verão	0,7 – 0,9
Baixa	Edificações sem ar condicionado, localizadas numa região onde existem poucos prédios com ar condicionado. O período de calor ocorre durante todo o ano.	0,5 – 0,7

## 1.6 EXERCÍCIOS

### 1.6.1 Exercício 1

Um estudante de medicina da UFSC encaminha-se ao auditório para defender seu TCC. É fevereiro, e a semana permaneceu chuvosa, com uma chuva fina e constante. No caminho para o auditório, entretanto, ele é surpreendido com uma torrente de água que molha sua roupa. Telefona então para a namorada, estudante de engenharia, pedindo para levar roupas secas. Ela pergunta quantos clo de roupa ele deseja. Com pressa, ele responde 1,4 clo, ficando depois sem escolha ao ver o que a namorada lhe trouxe. Os amigos, ao ver seus trajes, avaliam que o auditório estará climatizado e também vestem o equivalente a 1,4 clo. Chegando ao auditório, o ar-condicionado está quebrado e não altera, portanto, a temperatura do ar de 27°C. Considerando a temperatura de globo de 25,5°C e a velocidade do ar de 0,5m/s, indique, usando o Analysis CST:

- O PMV do apresentador do TCC;
- O percentual de pessoas insatisfeitas na platéia;
- A temperatura que o ar-condicionado deveria manter para proporcionar conforto à platéia, ao reduzir a umidade relativa a 75% (temperatura de globo de 22°C).

#### Resposta:

- Inserindo os dados no Analysis CST:

1,4clo = cuecão, macacão, jaqueta térmica e calças, meias, sapatos  
O apresentador está exercendo uma atividade leve, equivalente a 93W/m<sup>2</sup>.  
Dia de chuva, UR ambiente interno = 90%  
Pressão do nível do mar

PMV do apresentador é 1,61, com uma sensação térmica de levemente quente a quente.

- O provável PPD da platéia.

1,4 clo = cuecão, macacão, jaqueta térmica e calças, meias, sapatos  
A platéia está exercendo uma atividade sedentária, equivalente a 70W/m<sup>2</sup>.  
Dia de chuva, UR no ambiente interno = 90%  
Pressão do nível do mar

PPD= 45,71% (figura 13), para um PMV de 1,40.

---

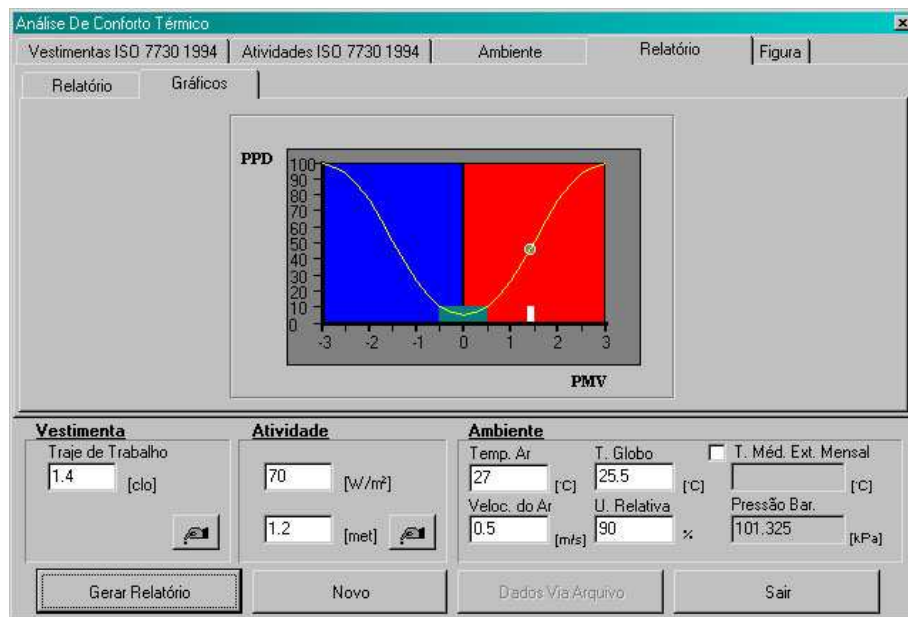


Figura 14. Tela do resultado gráfico do Analysis CST mostrando o PPD de 45,71% em relação ao PMV de aproximadamente 1,40.

c)  $T_{ar}=16^{\circ}\text{C}$  (ver figura 14)

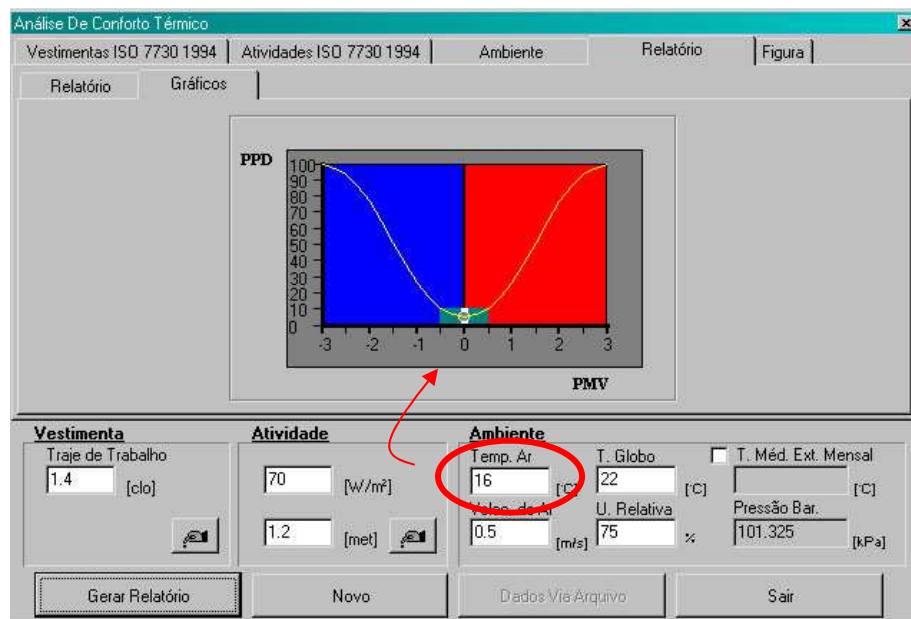


Figura 15. Tela do resultado gráfico do Analysis CST mostrando a situação de conforto para a temperatura do ar de  $16^{\circ}\text{C}$ .

### 1.6.2 Exercício 2

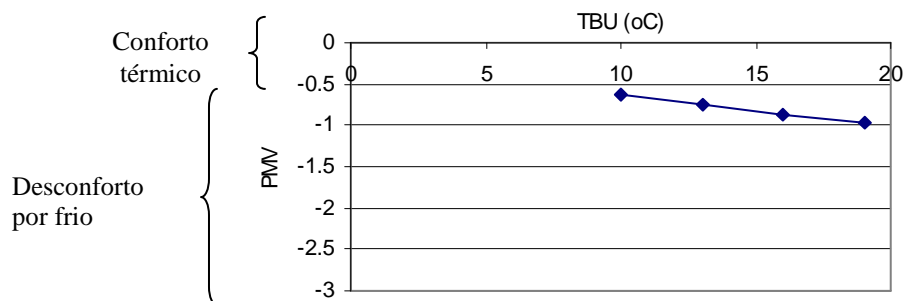
Dadas as condições:

- Vestimenta: 0,84clo;
- Atividade metabólica: 70W/m<sup>2</sup> (1,2Met);
- Temperatura do ar: 20°C;
- Temperatura radiante média: 25 °C;
- Velocidade do ar: 0,7m/s;
- Pressão atmosférica: nível do mar;

- a) Determinar, usando o Analysis CST, o PMV para as seguintes temperaturas de bulbo úmido: 19°C, 16°C, 13°C, 10°C.
- b) Cite uma medida para compensar qualquer situação de desconforto, se houver.

**Resposta:**

- a) O PMV para as TBU citadas iniciam com uma sensação de ligeiro desconforto por frio, de -0,81 para a TBU mais alta de 19 °C, passando por um PMV de -0,94 para TBU=16°C, -1,06 para TBU=13°C até uma situação de desconforto por frio de -1,16. A Figura 16 mostra a variação do PMV para as condições estabelecidas no exercício.



**Figura 16. Redução do PMV em função da queda da TBU.**

- b) Para compensar a sensação de desconforto por frio, considerando a pior situação, pode-se aumentar a vestimenta da pessoa até que o PMV seja maior que -0,5 (e não exceda 0,5). Assim, se a pessoa vestir uma jaqueta, a vestimenta de 0,84clo passará para 1,19clo. Esta medida proporciona um PMV de -0,42 para a TBU mais baixa, de 10°C.

## 2 BIOCLIMATOLOGIA

A bioclimatologia estuda as relações entre o clima e o ser humano. Como forma de tirar partido das condições climáticas para criar uma arquitetura com desempenho térmico adequado, **OLGYAY (1973)** criou a expressão **Projeto Bioclimático**, que visa a adequação da arquitetura ao clima local.

A classificação das escalas do clima variam de autor para autor. Em geral, podem ser considerados o macroclima, o mesoclima e o microclima.

No macroclima são observadas as características climáticas de uma região, normalmente medidas em estações meteorológicas. As normais climatológicas são um exemplo de dados medidos em estações climáticas disponíveis para caracterização do clima das cidades. As normais são séries de dados padronizados pela Organização Meteorológica Mundial calculadas para períodos de 30 a 30 anos, obtidas a partir de médias mensais e anuais de totais diários. A série de 1931 a 1960 é a mais recente, e apresenta médias mensais de temperatura, médias das máximas de temperatura, média das mínimas de temperatura, temperaturas máximas e mínimas absolutas, pressão atmosférica, umidade relativa, horas de insolação, precipitação, dentre outras. Os dados medidos em estações podem também ser reunidos em arquivos climáticos. Os arquivos podem conter dados de anos específicos ou podem representar o macroclima de uma cidade ou região. Neste caso, há diversas formas de tratamento de dados para que o arquivo seja representativo, em geral, registrando dados de hora a hora, até atingir as 8760 horas que formam um ano completo de 365 dias. O TRY (*Test Reference Year*) é um Ano Climático de Referência, resultado de um tratamento de 30 anos de dados climáticos em que são eliminados os anos que apresentam a menor e a maior temperatura da série. Por fim, é selecionado o ano cujas temperaturas não apresentam extremos. Apesar do TRY ser gerado a partir de dados de temperatura apresenta ainda dados de umidade, direção e velocidade dos ventos, cobertura de nuvens, pressão atmosférica e, às vezes, radiação solar.

No mesoclima e microclima, são observadas as alterações locais na radiação solar, temperatura do ar, umidade e vento. Uma grande cidade pode alterar as condições do mesoclima pela poluição que gera ou pelo corte indiscriminado da vegetação, por exemplo. Já o microclima está diretamente relacionado à escala da edificação e de seu entorno imediato, sendo influenciado pelas consequências das outras escalas climáticas e também pela interferência direta no propriedade onde se encontra a edificação.

### 2.1 VARIÁVEIS DO CLIMA

#### 2.1.1 Radiação solar

A radiação solar é uma onda eletromagnética curta, responsável pela energia no planeta por ser sua principal fonte. A trajetória elíptica da Terra ao redor do Sol, em conjunto com o movimento de rotação da terra determinam as variações na intensidade da radiação ao longo do ano e durante o dia, respectivamente.

As estações do ano são definidas pelo movimento de translação da terra ao redor do sol. A trajetória elíptica diferencia o outono (d) e primavera (b) do inverno (a) e verão (c), enquanto a inclinação do eixo de rotação da terra em relação ao plano do equador ( $23^{\circ}27'$ ) diferencia o verão do inverno (Figura 17). As regiões que mais recebem a radiação solar localizam-se entre os trópicos: Câncer, no hemisfério norte e Capricórnio, no hemisfério sul. Sob o o ponto de vista do observador, o sol se movimenta entre estas regiões, limitado pelos

solstícios de verão e inverno.

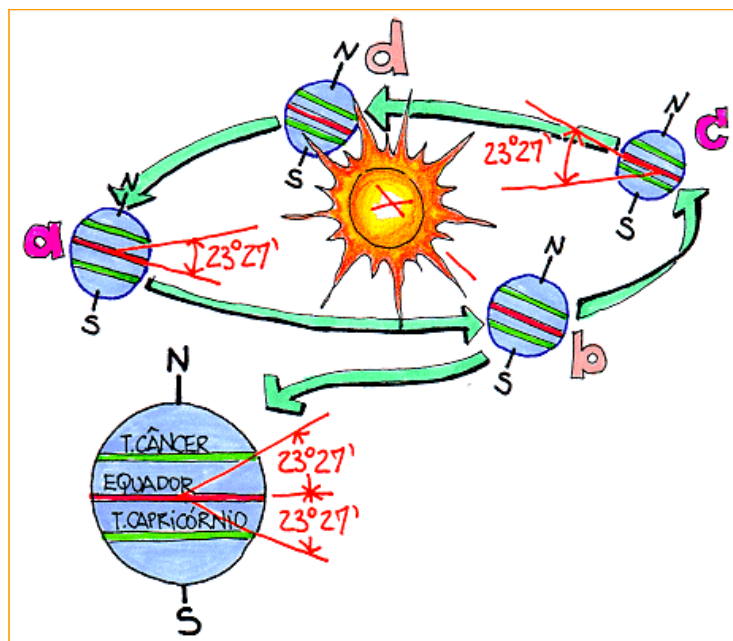


Figura 17. Trajetória do sol diferenciando as estações do ano.

A radiação solar, quando atinge a atmosfera terrestre, é dividida entre a porção direta e difusa. A radiação direta, como diz o próprio nome, é a parcela que atinge diretamente a terra. A radiação difusa é a parcela que sofre um espalhamento pelas nuvens e pelas partículas da atmosfera, sendo refletida na abóbada celeste e nas nuvens e re-irradiada para a terra. Um céu muito nublado pode apresentar uma parcela de radiação difusa maior que a parcela direta, enquanto o céu claro, sem nuvens, apresenta uma parcela maior da radiação direta.

Em climas frios, a penetração da radiação direta nos ambientes internos é desejável para promover aquecimento, ao contrário de climas quentes, onde a porção direta deve ser evitada, sendo somente a radiação difusa desejável para promover a iluminação do ambiente.

### 2.1.2 Temperatura

A temperatura do ar não é consequência da ação direta dos raios do sol, pois o ar é transparente a todos os comprimentos de ondas eletromagnéticas. O processo ocorre indiretamente: a radiação solar atinge o solo onde é absorvida em parte e transformada em calor. Portanto, a temperatura do solo aumenta e, por convecção, aquece o ar.

A temperatura do ar será consequência, portanto, de um balanço energético onde intervêm:

- A radiação solar incidente e o coeficiente de absorção da superfície receptora;
- A condutividade e a capacidade térmica do solo que determinam a transmissão de calor por condução;
- As perdas por evaporação, convecção e radiação.

O resultado destes fenômenos simultâneos é que a temperatura do ar começa a elevar-se a partir da saída do sol, chegando a um máximo que ocorre cerca de duas horas após a passagem do sol pelo meridiano como consequência do calor armazenado na Terra.



A partir deste momento, o balanço começa a ser negativo: a energia perdida, especialmente por radiação em direção as altas camadas da atmosfera, é maior que a recebida, fazendo com que a temperatura da superfície da Terra comece a descer até alcançar um mínimo pouco antes do nascer do sol.

Por que a amplitude térmica é maior em climas secos do que em climas úmidos?

Os climas secos caracterizam-se por sua baixa umidade e pouca nebulosidade. Nos climas úmidos, durante o dia, a radiação é menor por causa da nebulosidade, além do que, as perdas por evaporação são favorecidas devido à umidade que cobre o solo. Desta forma, a temperatura superficial não atinge os valores dos solos secos.

Durante a noite, as nuvens se interpõem entre a superfície e as camadas altas da atmosfera, que têm uma temperatura muito baixa, originando uma perda menor por radiação. Ao mesmo tempo, ao diminuir a temperatura superficial numa atmosfera saturada de umidade, produz-se elevada condensação acompanhada de liberação de calor, fazendo com que a temperatura atinja valores maiores do que no clima seco.

Pode-se conhecer o comportamento da temperatura em um local a partir das normais climatológicas. Elas fornecem temperaturas máximas e mínimas cuja diferença, em um período de tempo, é conhecida como amplitude térmica. A amplitude depende da umidade do ar: quando o ar está mais úmido, a amplitude é pequena, quando o ar está mais seco, a variação da temperatura pode ser alta, como ocorre em climas áridos como Teresina, capital do Piauí. Em Florianópolis, a amplitude não é alta, como pode ser vista na figura 18, onde estão apresentadas as temperaturas máximas e mínimas diárias para o TRY de Florianópolis. Na carta, é ainda apresentada a zona de conforto segundo Givoni.

É comum o efeito da chamada Ilha de Calor nos centros das grandes metrópoles. A Ilha de Calor é fenômeno noturno caracterizado pelo aumento da temperatura do ar, provocado pelo adensamento excessivo dos centros urbanos, em relação à temperatura do entorno não urbanizado da cidade. Embora os efeitos sejam também sentidos durante o dia, o fenômeno se caracteriza pelo pouco resfriamento do ar durante a noite, devido à grande massa de concreto que armazena calor durante o dia e o libera, normalmente à noite, evitando o resfriamento natural do ar no período noturno.

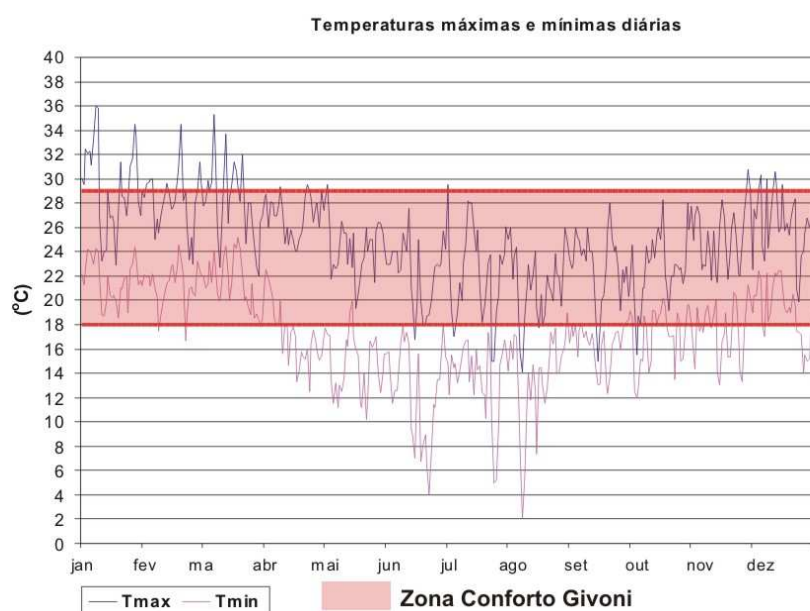


Figura 18. Temperaturas máximas e mínimas diárias para Florianópolis.

### 2.1.3 Umidade

A umidade do ar é regulada pela vegetação e pelo ciclo hídrico. O regime de chuvas, aliado a fontes de lagos, rios e mares regula a umidade através da evaporação enquanto a vegetação atua na umidade do ar através da evapotranspiração.

Outros fatores que pode influenciar na umidade do ar são a topografia e a ocupação urbana. A umidade relativa de mesoclimas podem ser caracterizadas pela topografia, como no caso de vales. As encostas protegem a área do vento de forma que a umidade dentro do vale se torna alta. Esta alta umidade realça a sensação térmica, razão pela qual os climas de vale são considerados frios no inverno e quentes e abafados no verão. No ambiente urbano, a ocupação e pavimentação excessiva provoca uma carência da vegetação que acarreta uma redução da umidade relativa do ar. Esta, por sua vez, pode alterar o regime de chuvas da cidade e sua cobertura de nuvens.

Se a umidade influencia na amplitude térmica, a temperatura influi na quantidade de vapor de água que o ar pode conter. Quanto maior a temperatura, maior a quantidade de vapor de água por metro cúbico de ar. A carta psicrométrica apresenta esta relação, mostrando as temperaturas máximas que podem conter determinadas quantidades de vapor de água (temperaturas de ponto de orvalho) para uma pressão atmosférica.

A Figura 19 apresenta as umidades relativas máximas e mínimas diárias, juntamente com a zona de conforto definida por Givoni, entre 20% e 80%. Acima de 80%, UR comum é Florianópolis, já se considera situação de desconforto, exigindo medidas para compensar a sensação térmica.

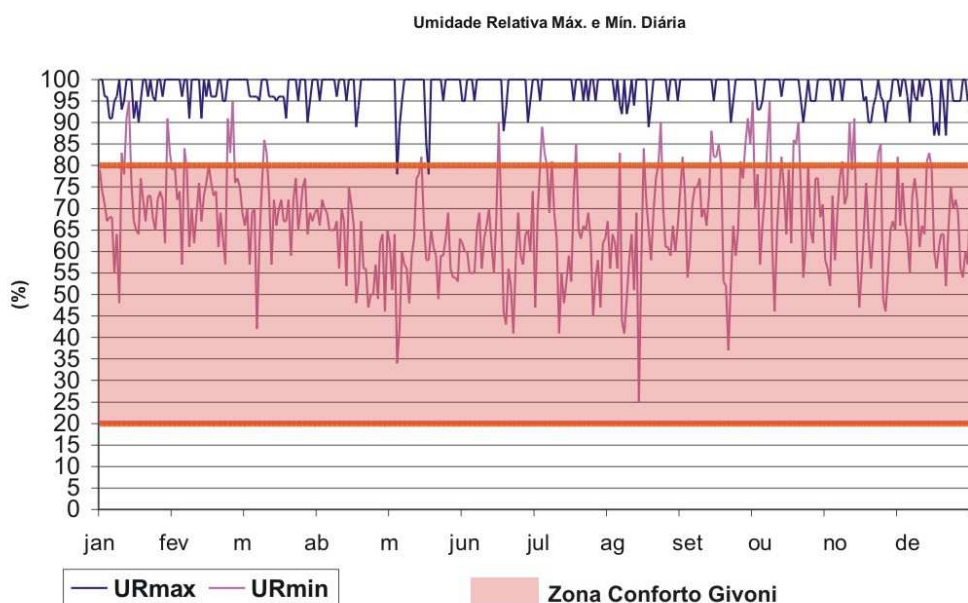


Figura 19. Umidade relativa máxima e mínima diária para o TRY de Florianópolis.

### 2.1.4 Vento

Uma das principais causas da distribuição dos ventos no globo é o desequilíbrio de radiação entre as latitudes baixas e altas. O aquecimento desigual da Terra e de sua atmosfera pela radiação solar gera energia potencial, parte da qual se transforma em energia cinética pela elevação do ar quente na região próxima ao equador, abrindo caminho para a entrada do ar frio que vem do norte e do sul.

No caso de regiões marítimas, durante o dia, o movimento do ar acontece do mar para a terra, e durante a noite, da terra para o mar. Isto se deve ao fato da terra se aquecer mais facilmente que a água. Portanto, durante o dia, o ar próximo ao solo se aquecerá, subirá e permitirá o movimento do ar fresco do mar para a terra. Durante a noite, a terra resfria mais facilmente e a água que armazenou o calor durante o dia, aquece o ar próximo permitindo a sua subida e a substituição pelo ar fresco vindo da terra.

O vento é também influenciado pela altitude, pela topografia e pela rugosidade do solo. Regiões de topografia acidentada desviam o vento, alterando sua direção e velocidade, ou podem canalizá-lo, aumentando então sua velocidade. Sua fluidez permite que sua trajetória seja comparada à trajetória das águas pluviais.

A rugosidade do solo pode ser formada pelo tipo de solo, pela vegetação ou pela cobertura urbana (edifícios), dependendo da escala de análise. Quanto maior a rugosidade do solo, menor a velocidade do vento.

Observando a dinâmica dos ventos em uma escala menor, as edificações da cidade também desviam, distribuem ou canalizam os ventos urbanos. A ocupação das cidades deve então avançar atentando para as principais direções do vento na região e para os benefícios que se pode obter aproveitando ou evitando estes ventos. Em climas quentes e úmidos, a ação dos ventos na cidade é benéfica para promover o conforto térmico. É desejável também para agir contra a Ilha de Calor e dispersar a poluição do ar. No último caso, deve-se observar a direção do vento para que ele não leve a poluição gerada por um distrito industrial, por exemplo, para o centro da cidade.

A Figura 20 apresenta a rosa dos ventos para Florianópolis. Para cada direção, predomina uma velocidade, que pode ser variada de acordo com a época do ano. As maiores velocidades ocorrem em todo o ano, na direção nordeste, e durante a primavera, para o norte (6m/s). As demais direções não apresentam velocidades altas, sendo as mais baixas, de 1m/s, durante o inverno, nas direções leste e oeste.

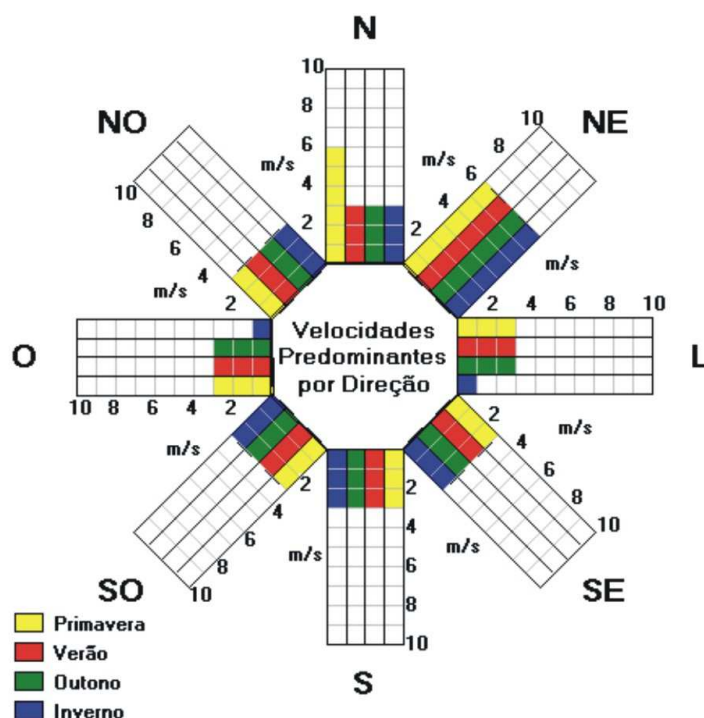


Figura 20. Rosa dos ventos do TRY de Florianópolis, com direção e velocidades mais frequentes.

## 2.2 ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

Estas estratégias, corretamente utilizadas durante a concepção do projeto da edificação, podem proporcionar melhoras nas condições de conforto térmico e redução no consumo de energia. A seguir apresenta-se uma discussão breve a respeito de cada estratégia. Porém, informações mais detalhadas podem ser obtidas em **ANDRADE (1996)** para Florianópolis ou em **LAMBERTS et alii (1997)** para o Brasil.

### 2.2.1 Zona de conforto

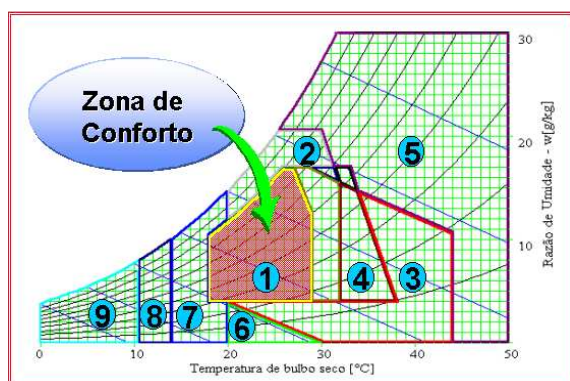


Figura 21. Zona de conforto.

Para condições climáticas que resultem em pontos delimitados por esta região existe uma grande probabilidade das pessoas perceberem a sensação de conforto térmico. Desta forma, pode-se verificar que a sensação de conforto térmico pode ser obtida para umidade relativa variando de 20 a 80% e temperatura entre 18 e 29°C.

### 2.2.2 Ventilação

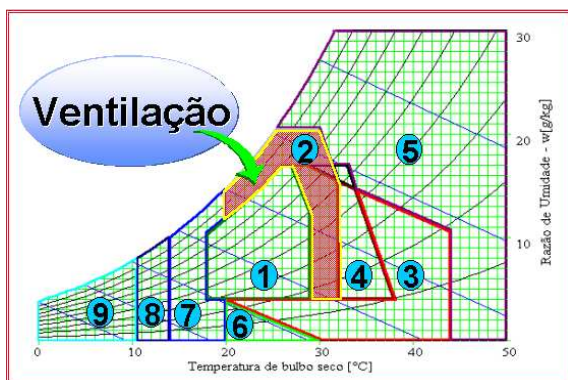


Figura 22. Zona de ventilação.

A ventilação corresponde uma estratégia de resfriamento natural do ambiente construído através da substituição do ar interno (mais quente) pelo externo (mais frio).

As soluções arquitetônicas comumente utilizadas são ventilação cruzada, ventilação da cobertura e ventilação do piso sob a edificação.



Figura 23. Ventilação cruzada, em planta.

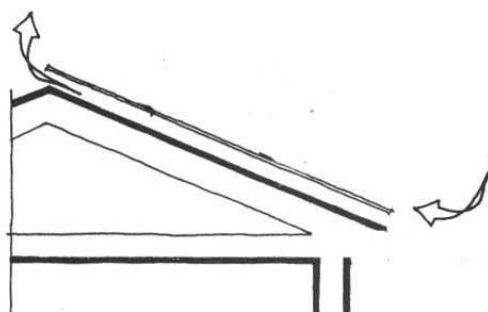


Figura 24. Ventilação pela cobertura

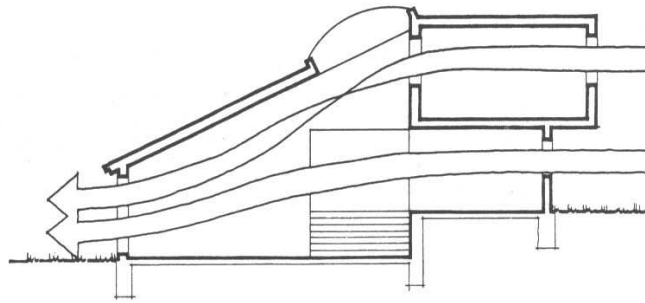


Figura 25. Ventilação cruzada, elevação. Fonte: Watson e Labs, 1983

### 2.2.3 Resfriamento evaporativo

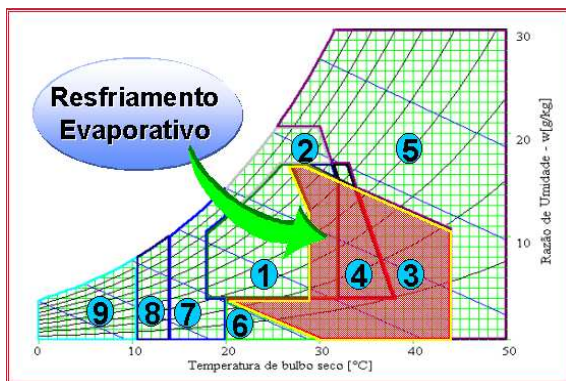


Figura 26. Zona de resfriamento evaporativo.

O resfriamento evaporativo é uma estratégia utilizada para aumentar a umidade relativa do ar e diminuir a sua temperatura. O resfriamento evaporativo pode ser obtido de forma direta ou indireta.

O uso de vegetação, de fontes d'água ou de outros recursos que resultem na evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar constituem-se em formas diretas de resfriamento evaporativo.

Uma forma indireta pode ser obtida através de tanques d'água sombreados executados sobre a laje de cobertura.

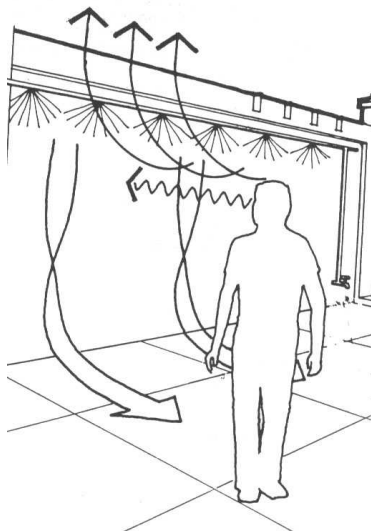


Figura 27. Resfriamento evaporativo direto com microaspersão de água no ar.

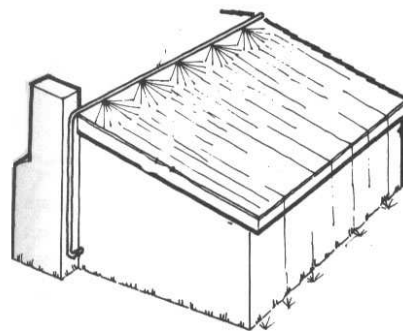


Figura 28. Resfriamento indireto, através da cobertura.

### 2.2.4 Inércia térmica para resfriamento

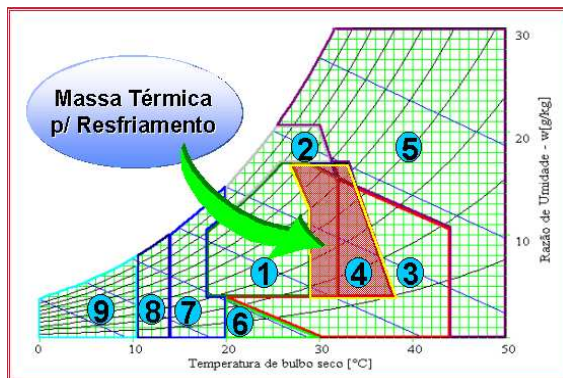


Figura 29. Zona de inércia térmica para resfriamento.

durante a noite. Nestes casos, a capacidade térmica do componente permite o atraso da onda de calor fazendo com que este calor incida no ambiente interno apenas no período da noite, quando existe a necessidade de aquecimento.

A utilização de componentes construtivos com inércia térmica (capacidade térmica) superior faz com que a amplitude da temperatura interior diminua em relação a exterior, ou seja, os picos de temperatura verificados externamente não serão percebidos internamente. Componentes construtivos com elevada capacidade térmica são indicados para climas quente e seco onde a temperatura atinge valores muito altos durante o dia e extremamente baixos

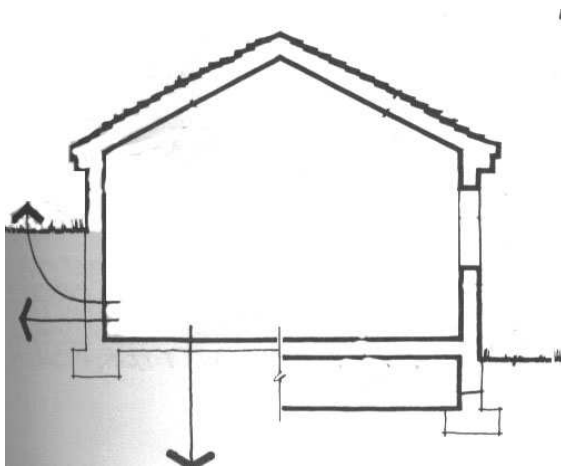


Figura 30. O solo como estratégia de inércia térmica para resfriamento.

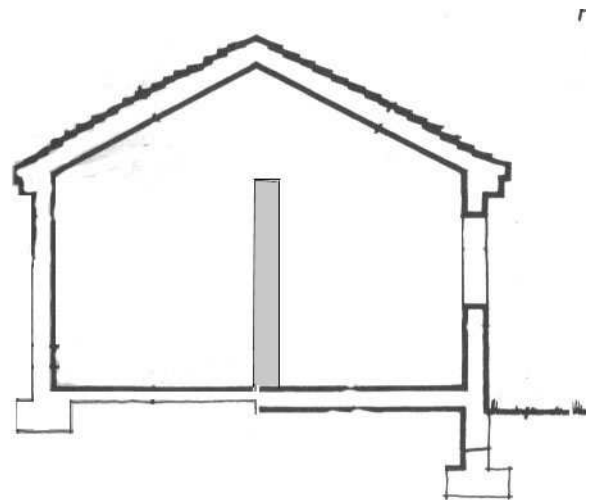


Figura 31. Paredes com inércia e sombreadas proporcionam resfriamento no ambiente.

### 2.2.5 Resfriamento artificial

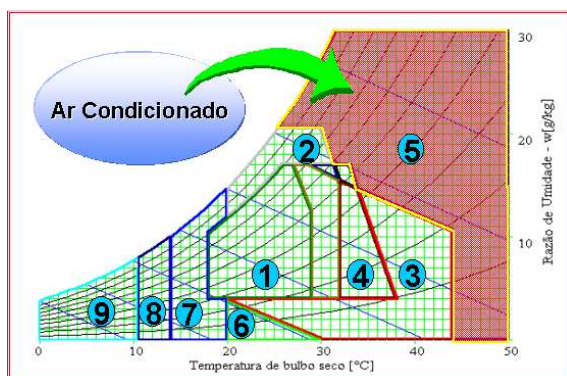


Figura 32. Zona de resfriamento artificial.

O resfriamento artificial deve ser utilizado quando as estratégias de ventilação, resfriamento evaporativo e massa térmica não proporcionam as condições desejadas de conforto.

### 2.2.6 Umidificação

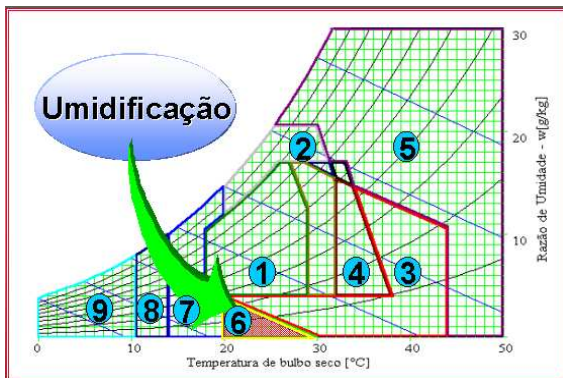


Figura 33. Zona de umidificação.

A estratégia de umidificação é recomendada quando a temperatura do ar apresenta-se menor que  $27^{\circ}\text{C}$  e a umidade relativa abaixo de 20% (EVANS & SCHILLER, 1988). Recursos simples, como recipientes com água colocados no ambiente interno podem aumentar a umidade relativa do ar. Da mesma forma, aberturas herméticas podem manter esta umidade, além do vapor d'água gerado por atividades domésticas ou produzido por plantas.

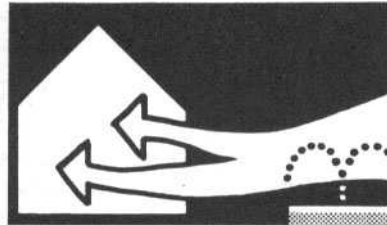


Figura 34. Umidificação com fontes de água.

### 2.2.7 Inércia térmica e aquecimento solar

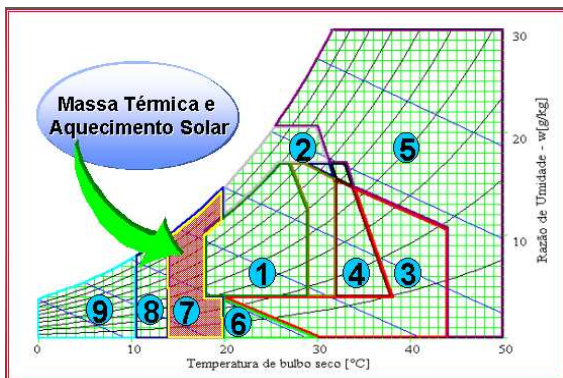


Figura 35. Zona de inércia térmica e aquecimento solar.

Neste caso, pode-se adotar componentes construtivos com maior inércia térmica, além de aquecimento solar passivo e isolamento térmico, para evitar perdas de calor, pois esta zona situa-se entre temperaturas de  $14$  a  $20^{\circ}\text{C}$ .

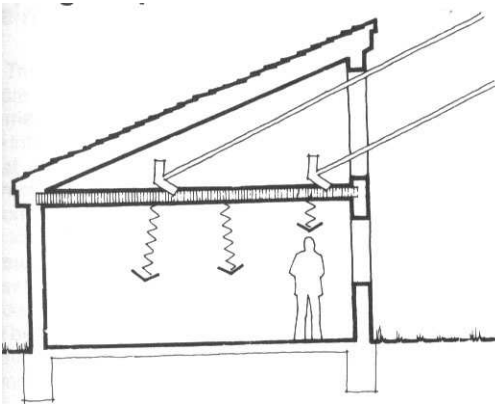


Figura 36. Uso da energia solar e inércia térmica no forro para aquecimento

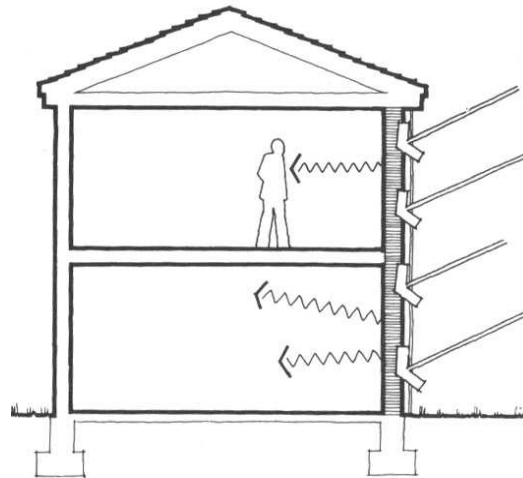


Figura 37. Inércia térmica nas paredes externas com um pano de vidro (parede Trombe) recebendo a radiação solar e aquecendo os ambientes.

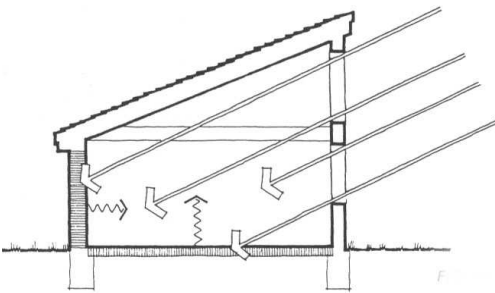


Figura 38. Inércia térmica em paredes internas.

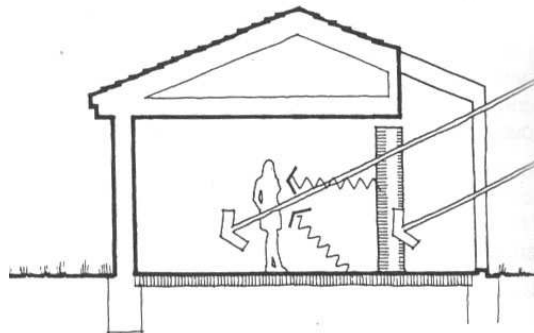


Figura 39. Inércia térmica associada a varandas fechadas com vidro.

## 2.2.8 Aquecimento solar passivo

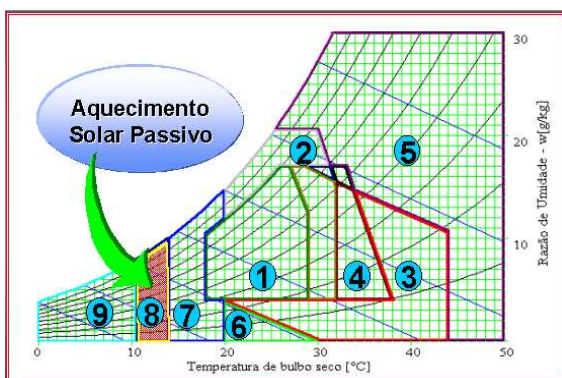


Figura 40. Zona de aquecimento solar passivo.

O aquecimento solar passivo deve ser adotado para os casos com baixa temperatura do ar. Recomenda-se que a edificação tenha superfícies envidraçadas orientadas para o sol e aberturas reduzidas nas fachadas que não recebem insolação para evitar perdas de calor. Esta estratégia pode ser conseguida através de orientação adequada da edificação e de cores que maximizem os ganhos de calor, através de aberturas zenitais, de coletores de calor colocados no telhado e de isolamento para reduzir perdas térmicas.



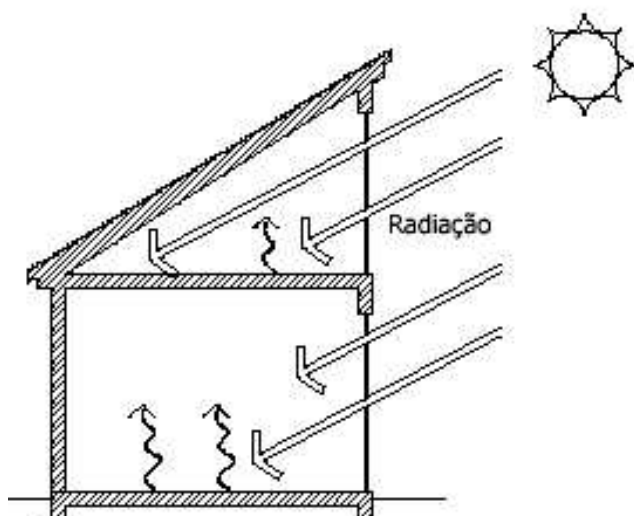


Figura 41. Uso pleno da radiação solar para aquecimento.

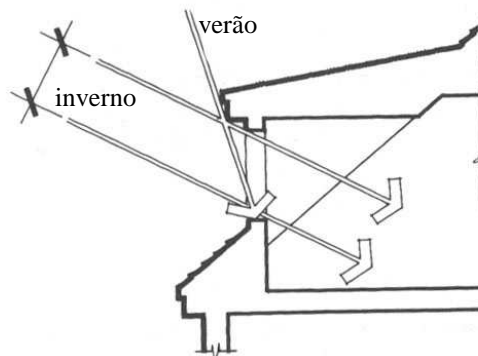


Figura 42. Orientação norte permite o controle da radiação solar.

### 2.2.9 Aquecimento artificial

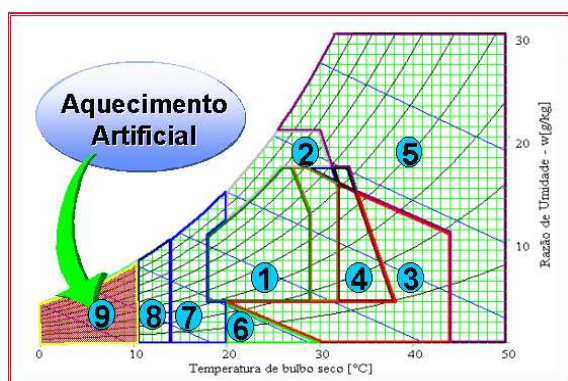


Figura 43. Zona de aquecimento artificial.

Este tipo de estratégia deve ser utilizado apenas em locais extremamente frios, com temperatura inferior a aproximadamente  $10,5^{\circ}\text{C}$ , em que a estratégia de aquecimento solar passivo não seja suficiente para produzir sensação de conforto. Deve-se usar isolamento nas paredes e coberturas dos ambientes aquecidos para evitar perdas de calor para o ambiente externo.

## 2.3 O PROGRAMA ANALYSIS BIO

Através de dados climáticos de referência pode-se determinar as estratégias bioclimáticas mais adequadas para cada localidade através do programa Analysis Bio. Este pode avaliar dados climáticos de normais climatológicas, de arquivos TRY e ou de dados inseridos manualmente. A Figura 44 apresenta a carta bioclimática para a cidade de Florianópolis produzida com o TRY da cidade, de 1963, e a Figura 45 as estratégias bioclimáticas para este caso, produzidas pelo relatório do programa.

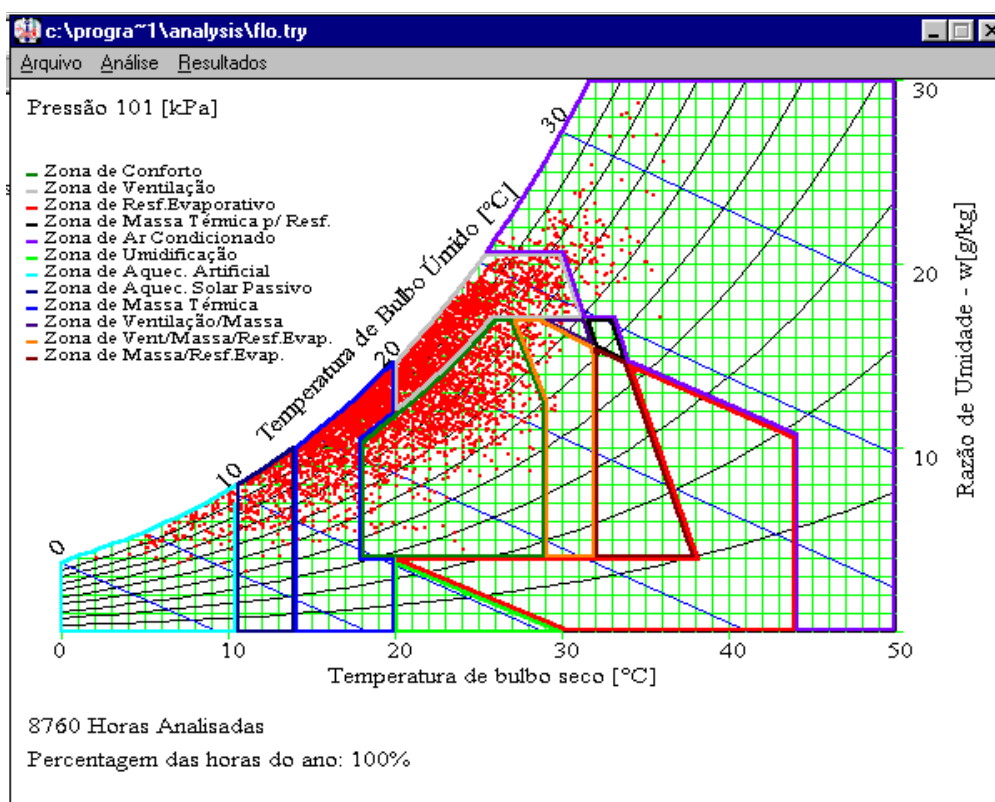


Figura 44. Carta bioclimática para Florianópolis pelo Analysis Bio.

Como pode-se perceber na Figura 44, no período anual em Florianópolis obtém-se condições de conforto térmico em apenas 21% deste período. Porém, estratégias como ventilação, aquecimento solar passivo e massa térmica podem tornar o ambiente termicamente confortável em cerca de 75,69% do período anual.

A análise bioclimática não deve, no entanto, se restringir à carta. Após verificar que a ventilação pode promover o conforto térmico em 36,4% das horas do ano, é importante verificar se há ventos disponíveis durante este período. Da mesma forma, 35,4% das horas do ano podem oferecer conforto caso seja utilizada a estratégia de massa térmica e aquecimento solar. Deve-se então, além de projetar edificação para captar a radiação solar, verificar as condições de nebulosidade durante o inverno para saber se há radiação solar disponível. Felizmente, no Brasil, o inverno costuma ser seco, sem uma grande cobertura nebulosa durante os meses de junho a setembro. Entretanto, algumas cidades, incluindo Florianópolis, apresentam uma frequência mais alta de céu nublado do que a média nacional.

As Figura 46, Figura 47 e Figura 48 apresentam as cartas bioclimáticas para Natal, Brasília e Curitiba. Percebe-se claramente a diferenças na localização das nuvens de pontos de cada carta, o que acarreta as diferentes estratégias para cada clima, listadas nas Tabela 5.

## ANO TODO

## ANO: 63

- »Dia e Mes Inicial: 01/01
  - »Dia e Mes Final: 31/12
  - »Total de Horas: 8760
  - »Pressão: 101.49 KPa
- 

## GERAL

- »Conforto:21%
  - »Desconforto:78.9%
  - Frio:40.8%
  - Calor:38.2%
- 

## Calor

- »Ventilação: 36.4%
  - »Massa p/ Resfr.: 0.936%
  - »Resfr. Evap.: 0.89%
  - »Ar Condicionado: 1.72%
- 

## Frio

- »Massa Térmica/Aquecimento Solar: 35.4%
  - »Aquecimento Solar Passivo: 3.84%
  - »Aquecimento Artificial: 1.53%
  - »Umidificação: 0%
- 

## POR ZONAS

- »Ventilação: 35.5%
  - »Ventilação/Massa: 0.0571%
  - »Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo: 0.879%
  - »Massa Térmica p/ Resfriamento: 0%
  - »Massa/Resfriamento Evaporativo: 0%
  - »Aquecimento Artificial: 1.53%
  - »Conforto: 21%
  - »Massa Térmica/Aquecimento Solar: 35.4%
  - »Aquecimento Solar Passivo: 3.84%
  - »Ar Condicionado: 1.72%
  - »Resfriamento Evaporativo: 0.0114%
  - »Umidificação: 0%
- 

## SOMBREAMENTO

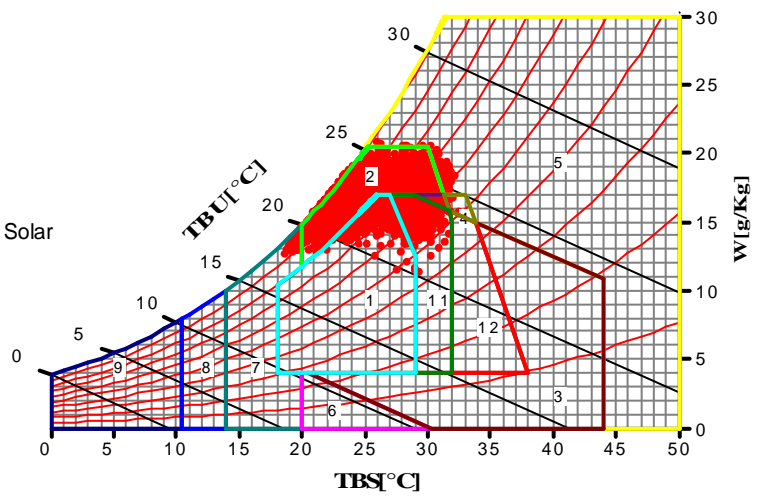
- »Porcentagem: 56.7 %
- 

**Figura 45. Parte do relatório do Analysis Bio contendo as estratégias bioclimáticas para Florianópolis.**

As temperaturas de Natal (Figura 46) são mais altas o ano todo, concentrando-se na zona 2, cuja estratégia para proporcionar conforto é a ventilação. A nuvem de pontos de Brasília é mais dispersa, apresentando temperaturas altas e baixas, assim como níveis variáveis de umidade. A baixa umidade de Brasília exige que a estratégia de resfriamento evaporativo das zonas 11 e 12 seja utilizada (Figura 47). Por fim, percebe-se que Curitiba apresenta baixas temperaturas, exigindo o uso de estratégias para aquecimento (Figura 48).

## ZONAS:

1. Conforto
2. Ventilacao
3. Resfriamento Evaporativo
4. Massa Térmica p/ Resfr.
5. Ar Condicionado
6. Umidificação
7. Massa Térmica/ Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
11. Vent./ Massa/ Resf. Evap.
12. Massa/ Resf. Evap.

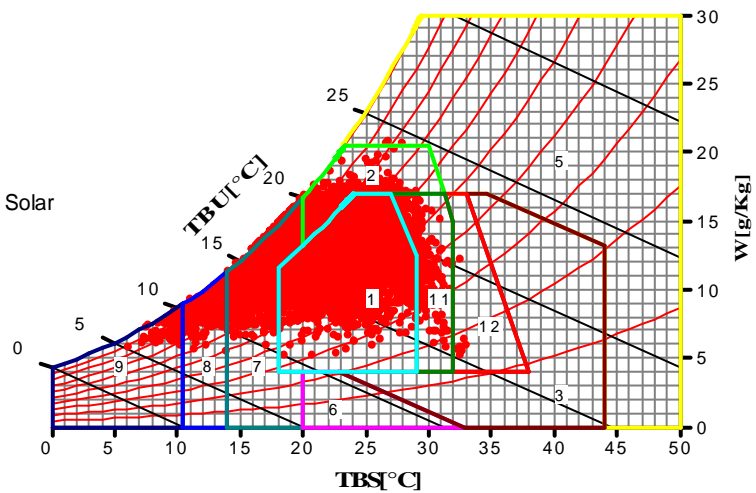


UFSC - ECV - LabEEE - NPC

Figura 46. Carta bioclimática para Natal

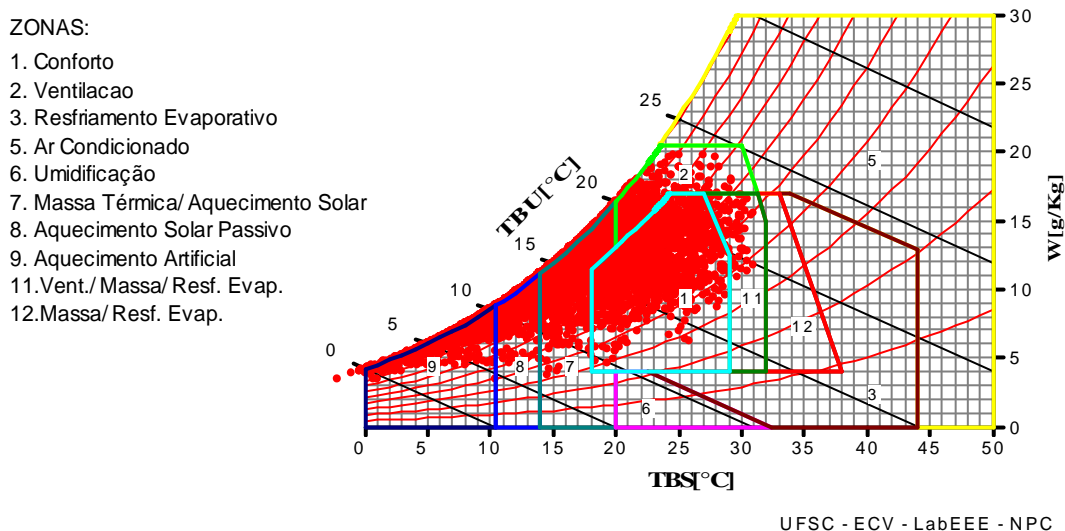
## ZONAS:

1. Conforto
2. Ventilacao
3. Resfriamento Evaporativo
5. Ar Condicionado
6. Umidificação
7. Massa Térmica/ Aquecimento Solar
8. Aquecimento Solar Passivo
9. Aquecimento Artificial
11. Vent./ Massa/ Resf. Evap.
12. Massa/ Resf. Evap.



UFSC - ECV - LabEEE - NPC

Figura 47. Carta bioclimática para Brasília



**Figura 48. Carta bioclimática para Curitiba**

Esta análise pode ser confirmada na Tabela 5, onde as estratégias bioclimáticas do relatório do Analysis Bio estão listadas. Brasília apresenta o maior número de horas do ano com condições de conforto sem o uso de nenhuma estratégia bioclimática, em contraste com 20% das horas do ano de Curitiba e 14% de Natal. A estratégia bioclimática predominante para Natal é a ventilação, necessária em 84,2% das horas do ano. Em Brasília, a massa térmica combinada ao aquecimento solar é recomendada para 34,1% do ano e em Curitiba, esta é necessária em 42,5% do ano. Curitiba ainda exige que seja utilizado o aquecimento solar passivo para proporcionar conforto em 18,9% do ano e, ainda adotando estas estratégias, o aquecimento artificial é a única estratégia que poderá proporcionar conforto em 11,8% do ano. Já o sombreamento é recomendado nas edificações e em suas aberturas por praticamente todo o ano, em Natal (99,4% das horas do ano), pela metade do ano em Brasília (54,5% das horas do ano) e é recomendável que seja adotado somente no verão em Curitiba, por ser necessário em apenas 23,2% das horas do ano.

**Tabela 5. Estratégias bioclimáticas para 3 cidades brasileiras indicadas pelo Analysis Bio.**

<b>Natal</b>	<b>Brasília</b>	<b>Curitiba</b>
ANO: 59 »Dia e Mes Inicial: 01/01 »Dia e Mes Final: 31/12 »Total de Horas: 8760 »Pressão: 100.73 KPa	ANO: 62 »Dia e Mes Inicial: 01/01 »Dia e Mes Final: 31/12 »Total de Horas: 8760 »Pressão: 89.783 KPa	ANO: 69 »Dia e Mes Inicial: 01/01 »Dia e Mes Final: 31/12 »Total de Horas: 8760 »Pressão: 91.279 KPa
GERAL »Conforto:14% »Desconforto:85.9% -Frio:0.582% -Calor:85.4%	GERAL »Conforto:41.4% »Desconforto:58.6% -Frio:41.2% -Calor:17.4%	GERAL »Conforto:20% »Desconforto:80% -Frio:73.2% -Calor:6.84%
CALOR »Ventilação: 84.2% »Massa p/ Resfr.: 14.2% »Resfr. Evap.: 12.9% »Ar Condicionado: 1.04%	CALOR »Ventilação: 17.3% »Massa p/ Resfr.: 3.28% »Resfr. Evap.: 3.28% »Ar Condicionado: 0.0228%	CALOR »Ventilação: 6.84% »Massa p/ Resfr.: 1.02% »Resfr. Evap.: 1.02% »Ar Condicionado: 0%
FRIO »Massa Termica/Aquecimento Solar: 0.582% »Aquecimento Solar Passivo: 0% »Aquecimento Artificial: 0% »Umidificação: 0%	FRIO »Massa Termica/Aquecimento Solar: 34.1% »Aquecimento Solar Passivo: 6.16% »Aquecimento Artificial: 0.993% »Umidificação: 0%	FRIO »Massa Termica/Aquecimento Solar: 42.5% »Aquecimento Solar Passivo: 18.9% »Aquecimento Artificial: 11.8% »Umidificação: 0%
SOMBREAMENTO »Porcentagem: 99.4 %	SOMBREAMENTO »Porcentagem: 54.5 %	SOMBREAMENTO »Porcentagem: 23.2 %

## 2.4 ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO

A norma de Desempenho Térmico de Edificações NBR-15220-3, (ABNT, 2005) estabeleceu uma subdivisão das condições climáticas brasileiras para projeto em 8 zonas bioclimáticas. A Figura 49 mostra o zoneamento bioclimático do Brasil apresentado pelo Projeto de Norma – 135 (ABNT, 2004). São oito zonas bioclimáticas definidas de acordo com o clima e com as necessidades humanas de conforto. Para cada zona, são relacionadas as estratégias consideradas adequadas para adoção nas edificações. Maiores detalhes sobre a norma Desempenho Térmico de Edificações serão apresentados na unidade.

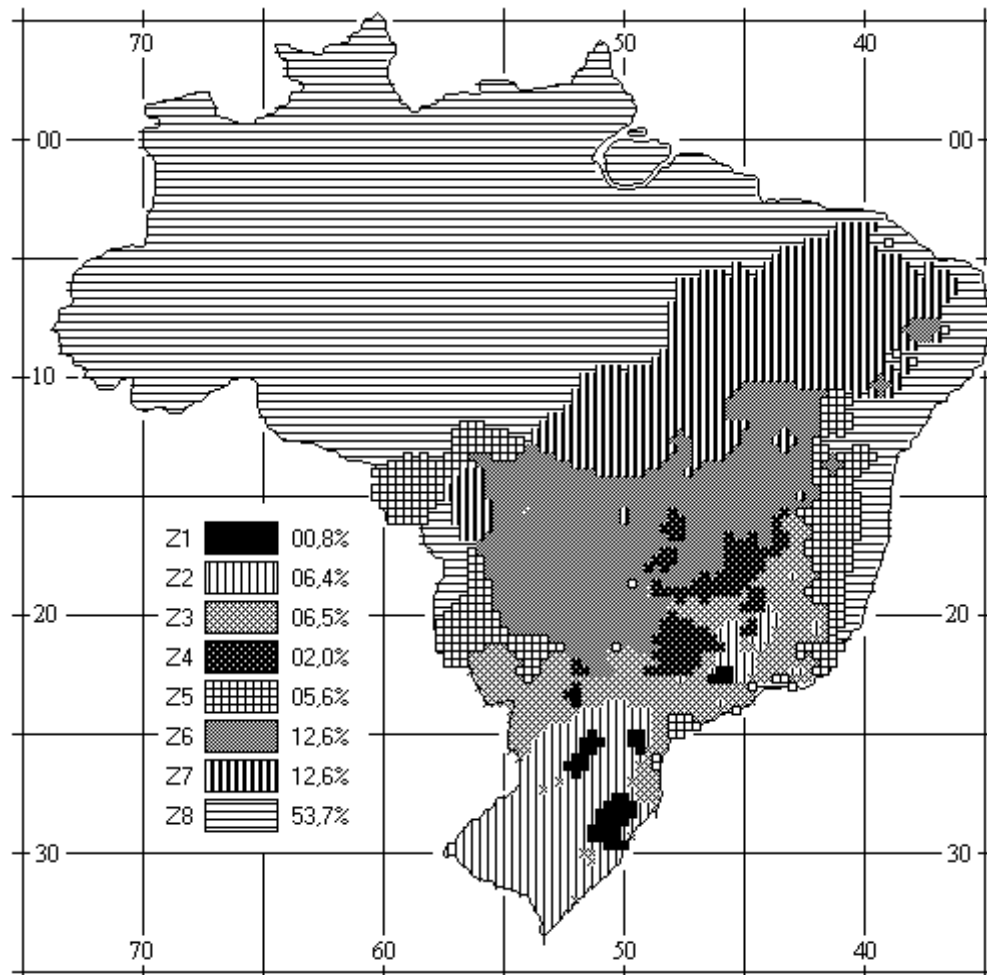


Figura 49. Zonas bioclimáticas definidas pela Norma Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2003).

## 2.5 EXERCÍCIO

Dada a residência abaixo localizada em Porto Alegre, indique, usando o Analysis Bio, quais as estratégias bioclimáticas mais adequadas. Indique também soluções de projeto para cada estratégia.

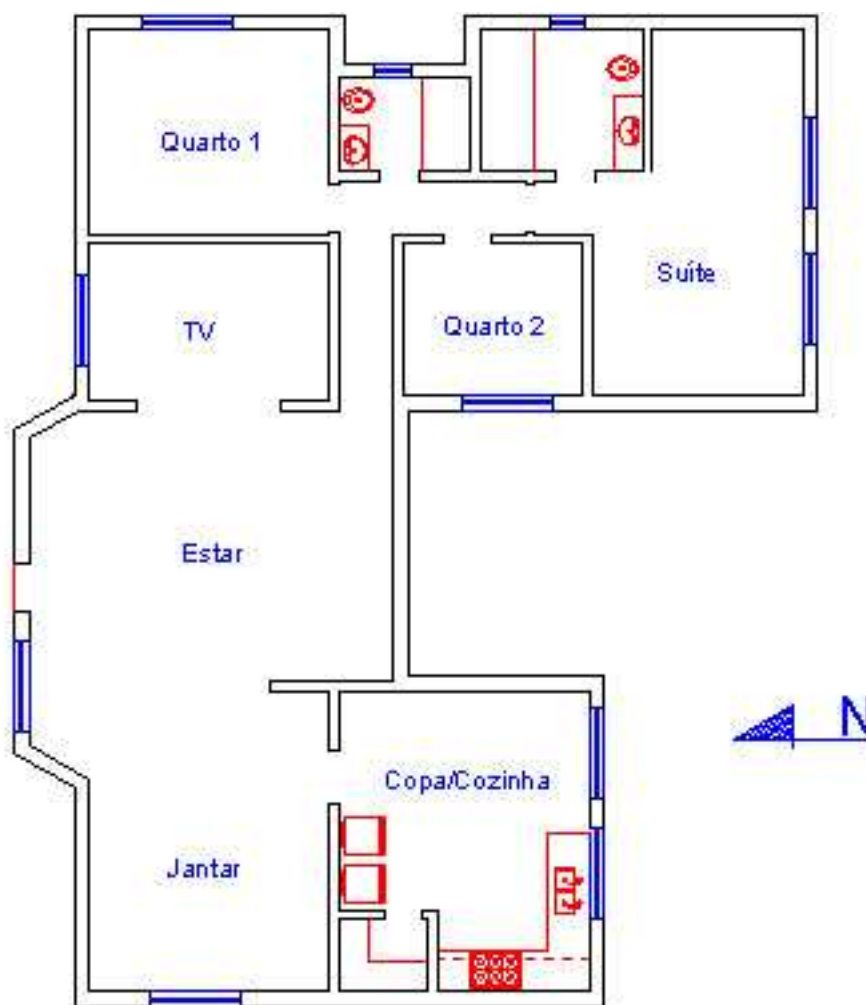


Figura 50. Planta de uma residência hipotética na cidade de Porto Alegre.

### Resposta:

O Analysis Bio indicou as estratégias de uso da ventilação em 23,4% do ano para evitar o desconforto por calor e o uso da massa térmica/aquecimento solar em 33,7% das horas do ano e aquecimento solar passivo em 11,7% das horas do ano para evitar o desconforto por frio.

Baseado nestas indicações, é sugerido:

1. Para proporcionar a ventilação cruzada:

- Aumentar a área de vidro da parede norte da sala de estar e abrir janelas na parede sul
- Alterar a janela do quarto 1 para a parede norte, e abrir uma janela estreita na porção sul da parede externa do quarto 1.
- Transferir as janelas da suíte da parede sul para as paredes leste e oeste.

2. Para proporcionar o aquecimento solar com massa térmica:

- As paredes têm 25cm, esta medida já promove o uso de massa térmica. É necessário que haja incidência de radiação solar nestas paredes. As paredes sul receberão menos sol, as paredes oeste irão fornecer mais sol.
- Transferir a janela da sala de jantar para a parede norte, onde se tem mais controle



da radiação solar. O mesmo irá ocorrer com a janela da parede norte do quarto 1.

- A instalação de um domus com iluminação zenital na circulação é desejável, desde que haja controle da radiação solar. A radiação solar incidente durante o inverno deve incidir sobre a parede mais espessa do quarto 2, promovendo o aquecimento.
3. Para proporcionar o aquecimento solar passivo:
- As janelas, ao serem transferidas para as paredes norte, poderão ter um sombreamento que permita que o sol não entre no verão mas que penetre nos ambientes no inverno.
  - Deve-se projetar um dispositivo para evitar que a radiação solar do verão venha a incidir sobre o vidro do domus. No inverno, quando o sol está mais baixo, esta radiação é desejável.
  - As janelas oeste da suíte e do quarto 2 devem ser sombreadas com brises ou outro dispositivo de proteção que permita que a radiação solar penetre no ambiente no inverno e seja evitada no verão.

A figura abaixo mostra a modificações na planta:

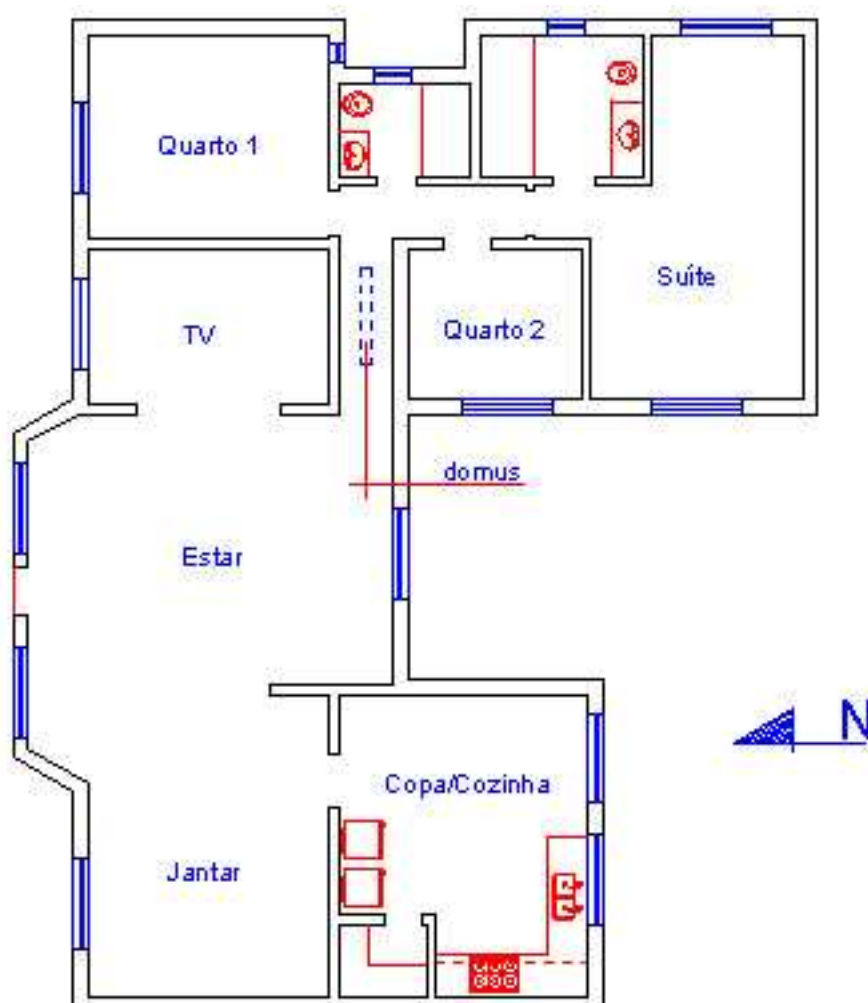


Figura 51. Planta com modificações sugeridas para adequar a edificação ao clima.

### 3 GEOMETRIA SOLAR

No Brasil, o conhecimento da geometria solar é fundamental para engenheiros e arquitetos, pois a maior parte de nosso território tem verões quentes com grandes períodos de sol, tendo o sombreamento como uma das estratégias bioclimáticas mais indicadas. Assim, incidência da radiação direta e as sombras geradas por obstruções serão estudadas neste capítulo. As proteções solares são utilizadas quando a radiação direta não é desejada dentro do ambiente. O projeto das proteções exige o conhecimento dos movimentos do Sol e da Terra, e de seus efeitos sob a visão do observador. Este pode ser um ponto, uma reta, um plano como uma parede ou janela ou um volume, no caso de uma edificação.

#### 3.1 RADIAÇÃO SOLAR

O intervalo inteiro dos diferentes tipos de radiação eletromagnética, ou ondas eletromagnéticas, é chamado de espectro eletromagnético (Figura 52). Este espectro abrange um grande conjunto de comprimentos de onda (ou frequências). Ele abrange desde ondas muito longas, de baixas frequências, que são as ondas de rádio, passando pelas ondas infravermelhas e ondas de luz visível, até chegar a frequências muito altas (o que corresponde a comprimentos de ondas curtos ou, simplesmente, ondas curtas) dos raios X e raios gama.

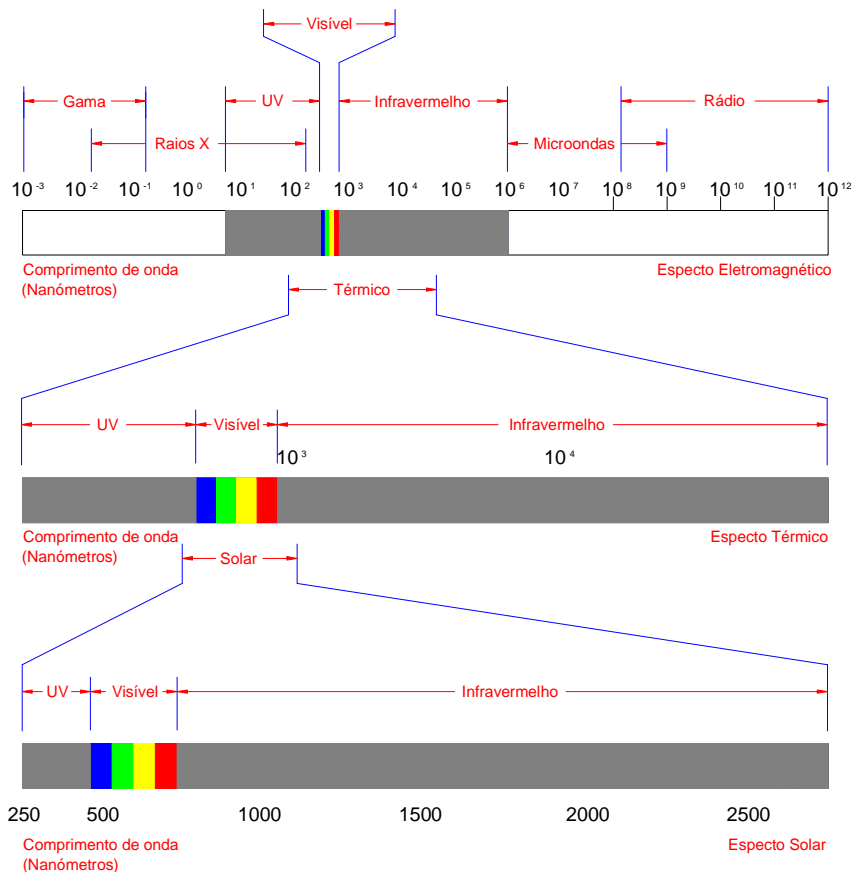


Figura 52. Espectro Eletromagnético. Fonte: CARMODY et al., 1996 (adaptado).

A radiação solar é um dos mais importantes contribuintes para o ganho térmico em edifícios. Na escala da edificação, a transferência de calor por radiação pode ser dividida em cinco partes principais: radiação solar direta (onda curta), radiação solar difusa (onda curta), radiação solar refletida pelo solo e pelo entorno (onda curta), radiação térmica emitida pelo solo aquecido e pelo céu (onda longa) e radiação térmica emitida pelo edifício (onda longa).

A radiação solar de onda curta que entra por uma abertura no edifício incide nos corpos, que se aquecem e emitem radiação de onda longa. O vidro, sendo praticamente opaco à radiação de onda longa, não permite que o calor encontre passagem para o exterior, superaquecendo o ambiente interno. Este fenômeno é conhecido como efeito estufa e é o maior transformador da radiação solar em calor no interior de uma edificação.

## 3.2 MOVIMENTOS DA TERRA

### 3.2.1 Rotação

A rotação ao redor de um eixo Norte-Sul, que passa por seus pólos, origina o dia e a noite (Figura 53).

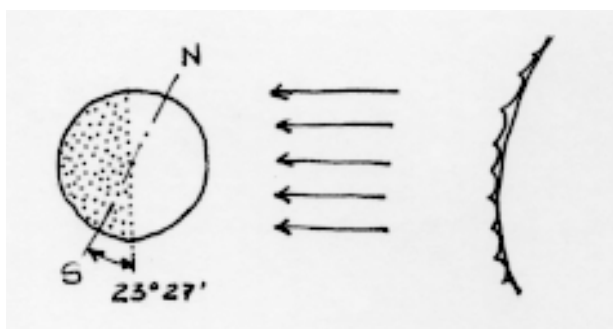


Figura 53. Rotação da Terra.

### 3.2.2 Translação ao redor do Sol

A Terra realiza um movimento elíptico ao redor do Sol conforme mostra a Figura 54.

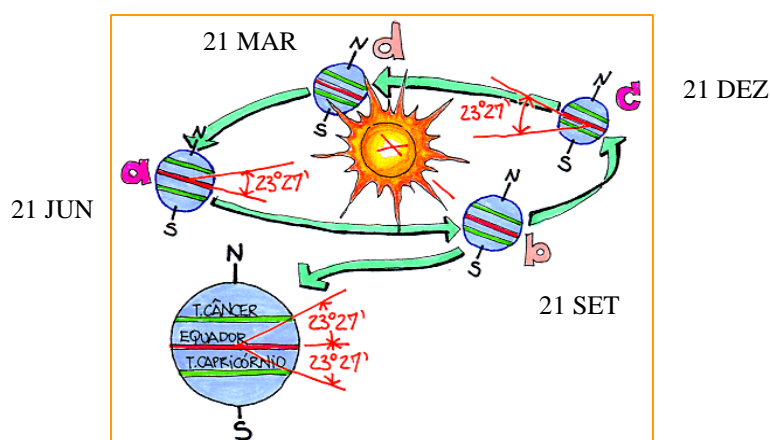


Figura 54. Translação da Terra ao redor do Sol.

O movimento de translação da Terra ao redor do Sol determina as quatro diferentes estações do ano. A Tabela 6 apresenta a data de início destas estações no hemisfério sul, bem como a sua denominação.

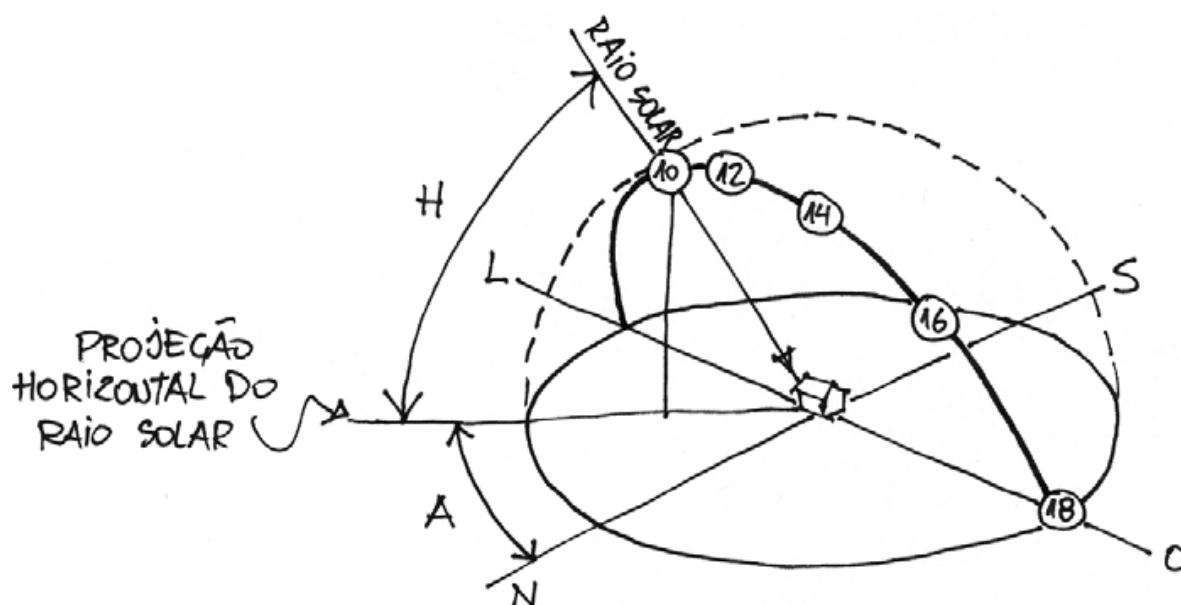
**Tabela 6. Datas de início das estações do ano para o hemisfério sul.**

Data	Denominação
21 de março	Equinócio de outono
21 de setembro	Equinócio de primavera
21 de junho	Solstício de inverno
21 de dezembro	Solstício de verão

### 3.3 AZIMUTE E ALTURA SOLAR

A localização do sol na abóbada celeste pode ser identificada através de dois ângulos: a altura solar e o azimute. O azimute (A) é o ângulo que a projeção do sol faz com a direção norte, enquanto a altura solar (H) é o ângulo que o sol faz com o plano horizontal. Ambos os ângulos variam conforme a latitude do local, hora do dia e dia do ano.

Na Figura 55 vemos estes ângulos para um raio de sol às 10 horas da manhã no equinócio. A projeção horizontal desse raio de sol é o azimute para aquela hora e dia do ano. O ângulo vertical formado entre essa projeção e o raio de sol, é a altura solar. O azimute solar é medido no sentido horário a partir do norte geográfico (azimute zero) e a altura solar é medida a partir do plano horizontal ( $0^\circ$ ) até o zênite ( $90^\circ$ ).



**Figura 55. Azimute e altura solar para um dia qualquer às 10h**  
(Ilustração: Luciano Dutra)

### 3.4 DIAGRAMAS SOLARES

Os diagramas ou cartas solares podem ser interpretados como a projeção das trajetórias solares ao longo da abóbada celeste durante todo o ano.

A projeção estereográfica, que é a mais utilizada (Figura 56), projeta qualquer ponto da abóbada celeste num ponto teórico chamado nadir. Os círculos de alturas são traçados nas posições onde as projeções ao nadir interceptam o plano horizontal.

(OBS.: Definições: Zênite: Interseção da vertical superior do lugar com a esfera celeste. Nadir: Interseção inferior da vertical do lugar com a esfera celeste, e que é o ponto diametralmente oposto ao zênite.)

Para traçar os diagramas solares, considera-se a Terra fixa e o Sol percorrendo a trajetória diária da abóbada celeste, variando de caminho em função da época do ano, conforme mostra Figura 57. Nela, vê-se os limites da trajetória anual que consistem nos solstícios de inverno de verão, enquanto a linha do meio indica o equinócio.

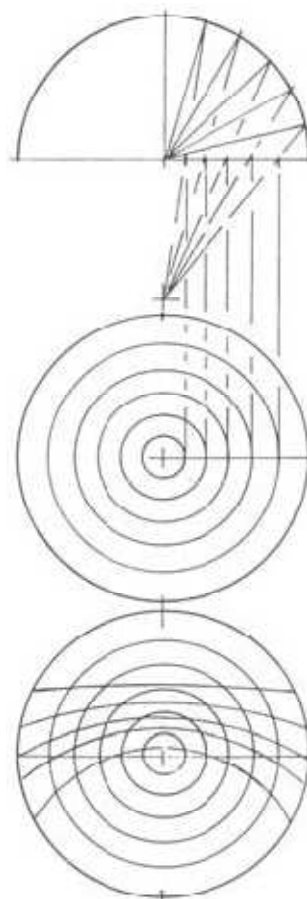


Figura 56. Projeção Estereográfica

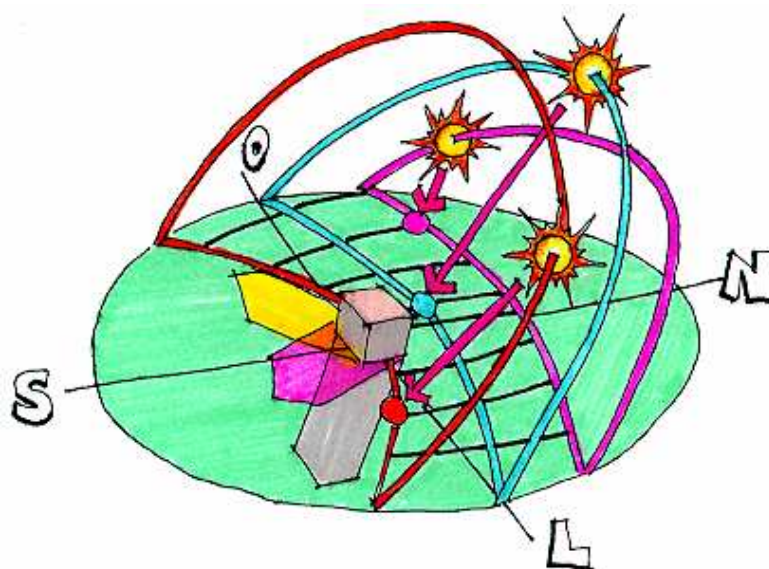


Figura 57. Movimento aparente do Sol no hemisfério sul.

A Figura 58 apresenta um exemplo de projeção estereográfica para a latitude  $27^{\circ}$  Sul e a Figura 59, o diagrama solar para esta latitude.

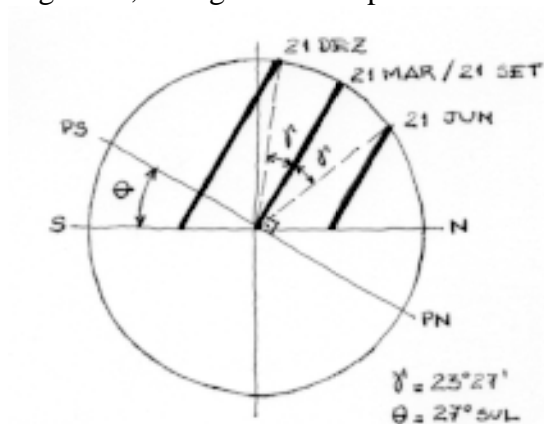


Figura 58. Projeção estereográfica para a latitude  $27^{\circ}$  Sul (vista em corte).

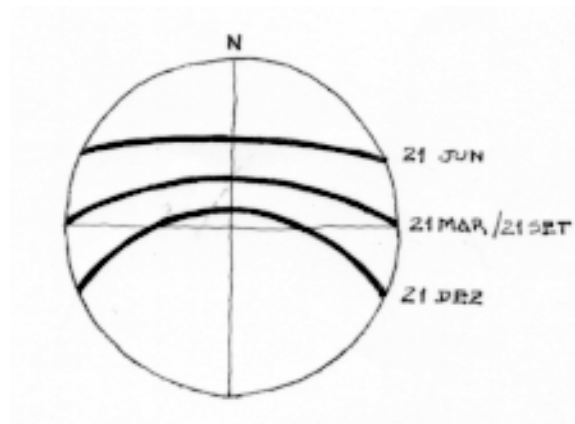


Figura 59. Diagrama solar para a latitude  $27^{\circ}$  Sul (vista em planta).

A Figura 60 mostra as informações que podem ser lidas no diagrama solar: trajetória solar, hora do dia, altura solar, azimute solar e número de horas de sol.

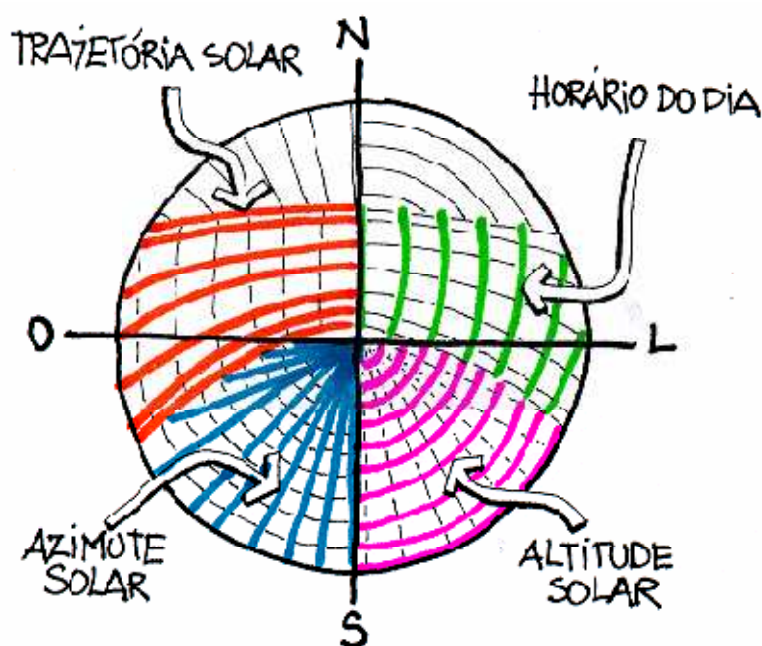


Figura 60. Informações contidas no diagrama solar. (Ilustração: Luciano Dutra)

Já a Figura 61 apresenta o diagrama solar para a latitude  $28^{\circ}$  Sul, muito próxima à latitude de Florianópolis ( $27^{\circ} 66'$  Sul).

Latitude: -27,66  
Florianópolis

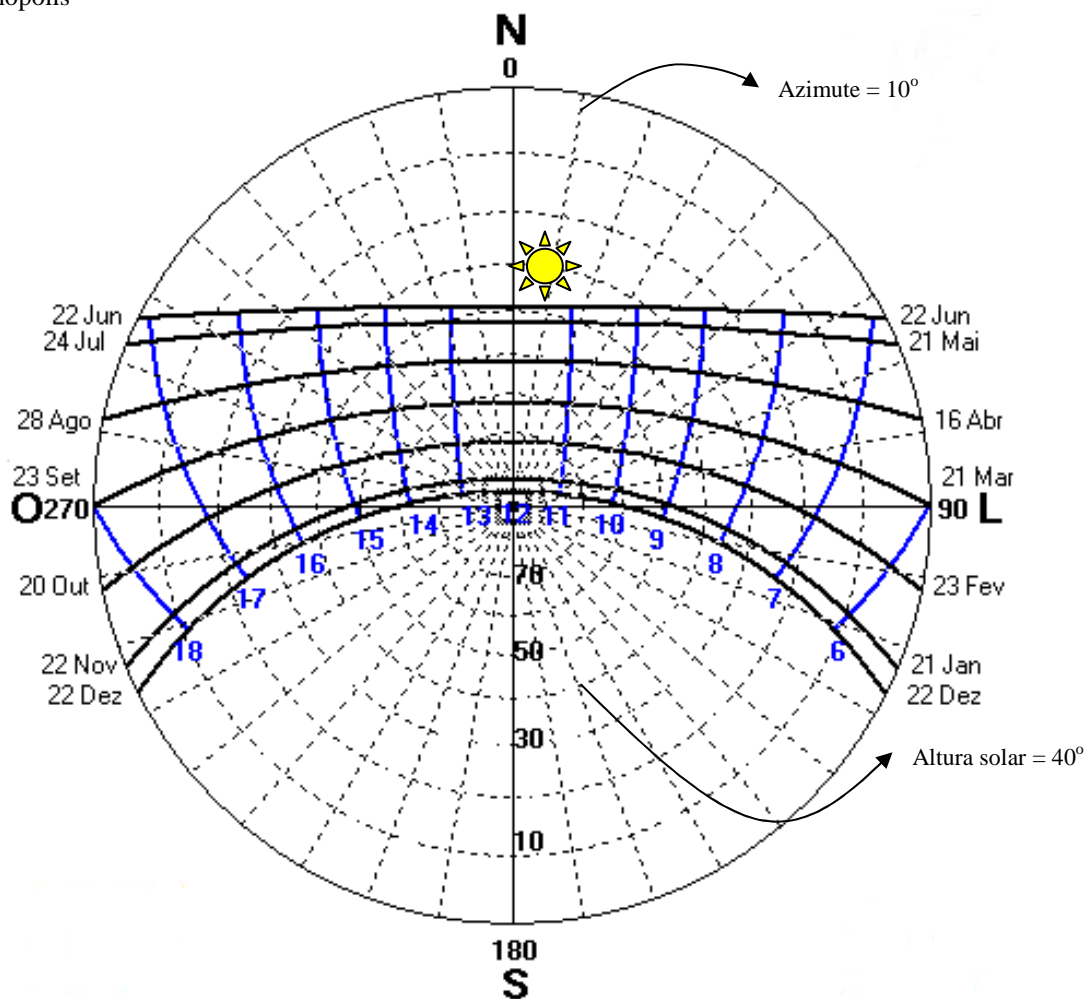


Figura 61. Diagrama solar para Florianópolis (latitude 27° Sul), projeção estereográfica.

### 3.5 APLICAÇÕES PRÁTICAS DOS DIAGRAMAS SOLARES

Para saber exatamente qual é o azimute e a altura solar em cada horário desejado ao longo de um ano inteiro, é preciso saber interpretar o diagrama solar para o local de projeto. A carta solar torna-se, assim, uma ferramenta de auxílio ao projeto bastante útil, pois diz a posição exata do sol num determinado momento, informação essencial para se saber, por exemplo, se o sol vai penetrar por uma abertura, se vai ser sombreado por uma edificação vizinha e se deve ou não ser sombreado por proteções solares para determinada orientação.

#### Sombreamento do entorno

Um diagrama solar pode ser utilizado para a determinação do sombreamento que um edifício faz no seu entorno.

Horas de sol

É possível calcular o número de horas de sol durante certo dia do ano para uma certa localidade através do diagrama solar. Para isso, basta obter o horário do nascer e do pôr do sol para o dia desejado.

Penetração da luz solar

Com um diagrama solar, pode-se também desenhar a penetração solar em um ambiente para dias e horários especificados. Este procedimento é útil quando se quer que o sol incida diretamente em certo ponto do ambiente ou quando se quer evitar que o sol penetre por uma abertura.

A Tabela 7 apresenta os azimutes e alturas solares para os solstícios e equinócios na cidade de Florianópolis em três horários.

**Tabela 7. Azimutes e alturas solares para solstícios e equinócios (Florianópolis, latitude 27° Sul)**

DIA	Horário		
	9h	12h	15h
21/dez	A = 95° H = 50°	A = 0° H = 86°	A = 265° H = 50°
21/mar/set	A = 65° H = 39°	A = 0° H = 63°	A = 295° H = 39°
21/jun	A = 45° H = 24°	A = 0° H = 39°	A = 315° H = 24°

OBS.: Os azimutes ao meio dia são sempre 0°, considerando-se o horário solar;  
As alturas solares, para um mesmo dia, às 9h e 15h serão sempre as mesmas e os azimutes serão complementares, ou seja, ambos com a mesma distância angular do norte.

Exemplos de sombreamento do entorno:

1 – Verificar o comprimento e a direção da sombra projetada por um poste de 8 metros de altura, localizado em Florianópolis, no dia 21 de junho às 9:00 horas da manhã (ver esquema abaixo).

Resolução:

a) A partir do diagrama solar para cidade de Florianópolis temos:

$$A_{9h} = 45^\circ$$

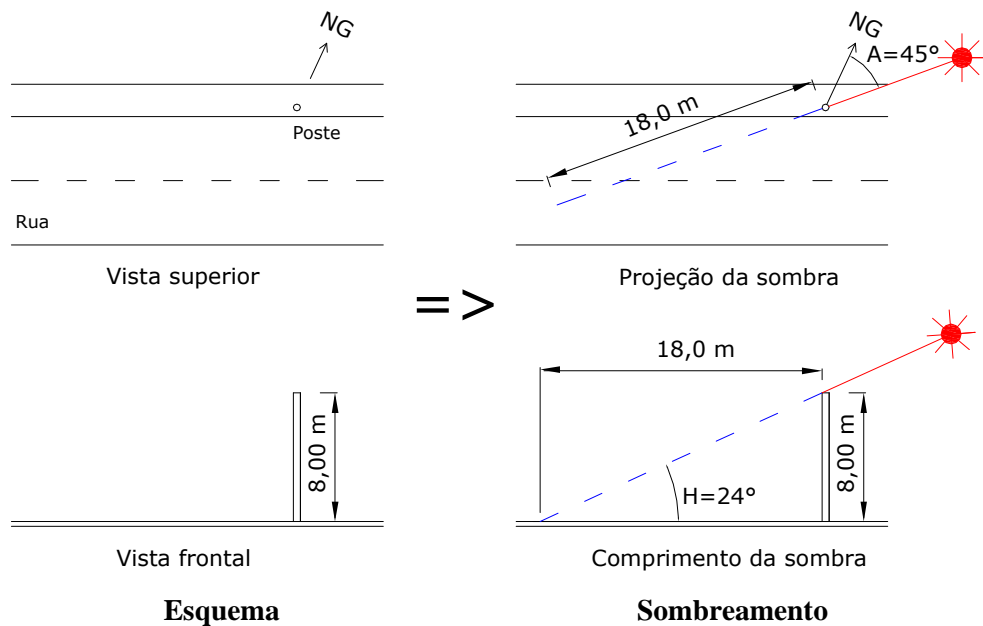
$$H_{9h} = 24^\circ$$

b) Calcular o comprimento da sombra:

$$Sombra_{9h,21jun} = \frac{8,0}{\tan(24^\circ)} = 18,0m$$

c) Marcar a direção da sombra a partir do Norte:





2 – Verificar o sombreamento do entorno causado por uma edificação na cidade de Florianópolis, no dia 21 de março, às 9:00h, 12:00h, 15:00h (ver esquema abaixo).

a) A partir do diagrama solar temos:

$$\begin{aligned} A_{9h} &= 65^\circ \\ H_{9h} &= 36^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{12h} &= 0^\circ \\ H_{12h} &= 63^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{15h} &= 295^\circ \\ H_{15h} &= 39^\circ \end{aligned}$$

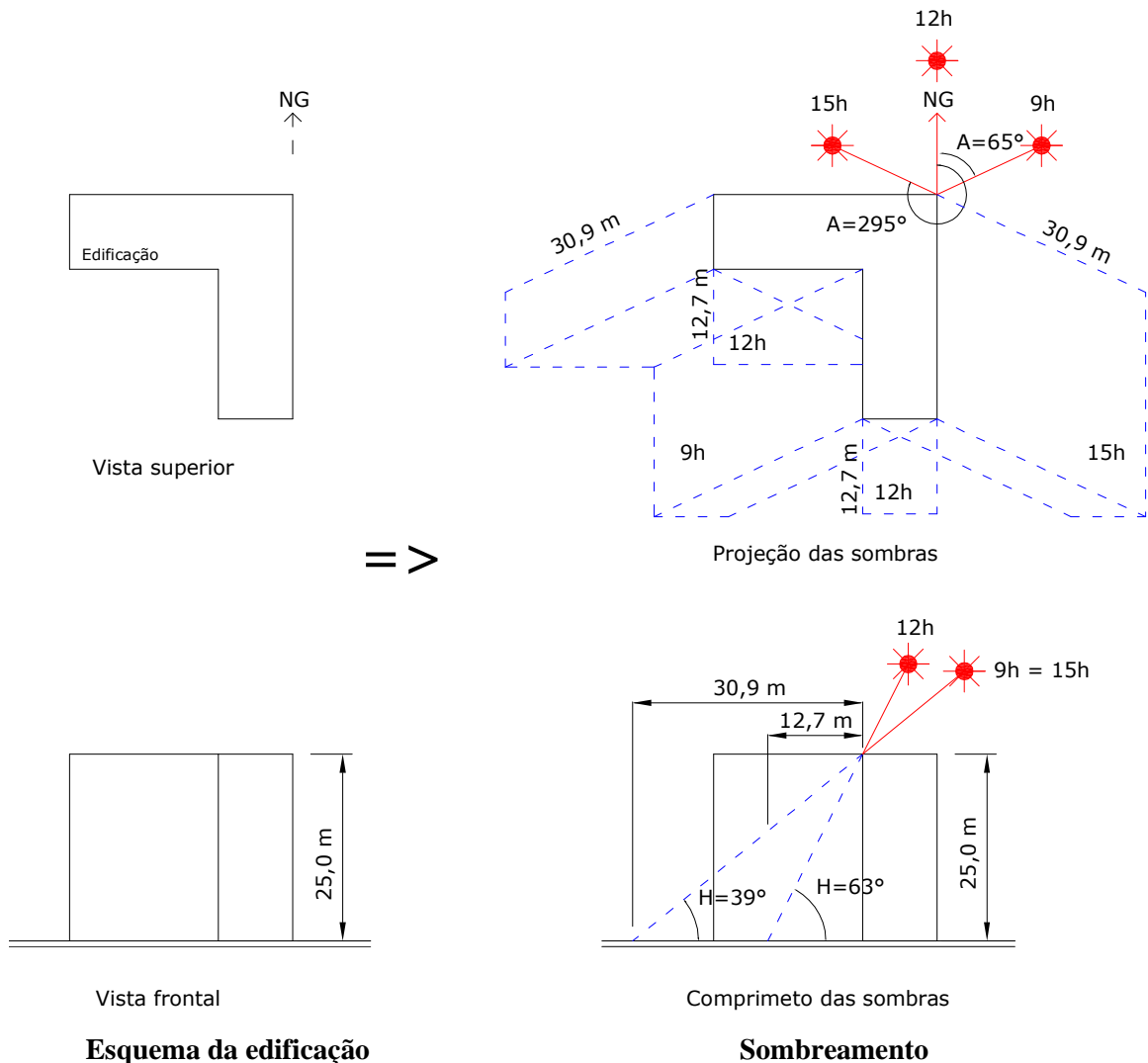
b) Calcular o comprimento da sombra:

$$Sombra_{9H,21mar} = \frac{25,0}{\tan(39^\circ)} = 30,9,0m$$

$$Sombra_{12H,21mar} = \frac{25,0}{\tan(63^\circ)} = 12,7m$$

$$Sombra_{15H,21mar} = \frac{25,0}{\tan(39^\circ)} = 30,9m$$

c) Marcar a direção da sombra a partir do Norte:



OBS.: Verificar o sombreamento do entorno para a mesma edificação nos dias 21 de dezembro e 21 de junho, nos três horários anteriores (9h; 12h; 15h).

### 3.6 TRANSFERIDOR DE ÂNGULOS

O transferidor de ângulos é utilizado para converter em ângulos a geometria solar de elementos construtivos como obstruções, aberturas, proteções solares, edifícios, vegetação entre outros. É útil para a análise mais rápida e fácil do sombreamento do entorno, penetração solar e proteções solares.

O transferidor consiste em um círculo de mesmas dimensões do diagrama solar. Neste círculo existem linhas radiais e linhas curvas, cada uma representando uma possível aresta do elemento a ser analisado. Cada plano de um determinado elemento sob análise pode ser convertido em uma combinação de duas ou mais destas linhas.

Para entender o funcionamento do transferidor de ângulos, é necessário conhecer-se os três principais tipos de ângulos existentes, o ' $\alpha$ ' (alfa), o ' $\beta$ ' (beta) e o ' $\gamma$ ' (gama).

Ângulo  $\alpha$  = É o ângulo formado entre o zênite e a direção da incidência do raio solar visto em corte, variando de  $0^\circ$ , quando coincidente com o plano vertical, até  $90^\circ$ , quando atinge o plano horizontal. O traçado de alfa no transferidor de ângulos é uma linha curva que representa a projeção da aresta horizontal de um plano. OBS.: O ângulo Alfa pode ser medido interno ou externo (Figura 62). O valor externo é medido a partir do plano horizontal até o zênite.

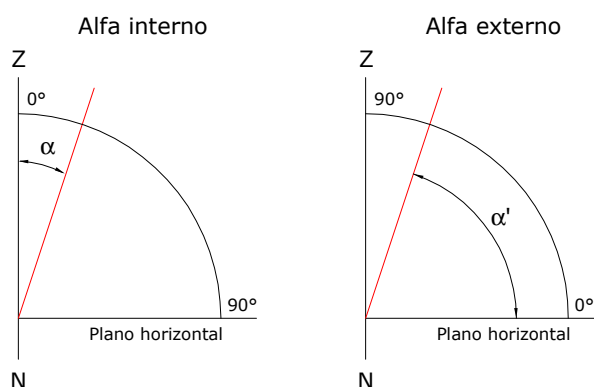


Figura 62. Ângulos alfa interno e externo.

Ângulo  $\beta$  = É o ângulo formado entre a projeção do ângulo vertical e a direção da incidência do raio solar visto em planta. Seu valor pode variar de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  em cada um dos quatro quadrantes da circunferência. O  $\beta$  auxilia no traçado de arestas verticais sobre a carta.

Ângulo  $\gamma$  = É traçado da mesma forma que o  $\alpha$ , porém rotacionado em  $90^\circ$  em relação a este e pode delimitar os ângulos  $\alpha$  e  $\beta$ .

Para facilitar o traçado de máscaras deve-se utilizar o transferidor de ângulos apresentado na Figura 63.

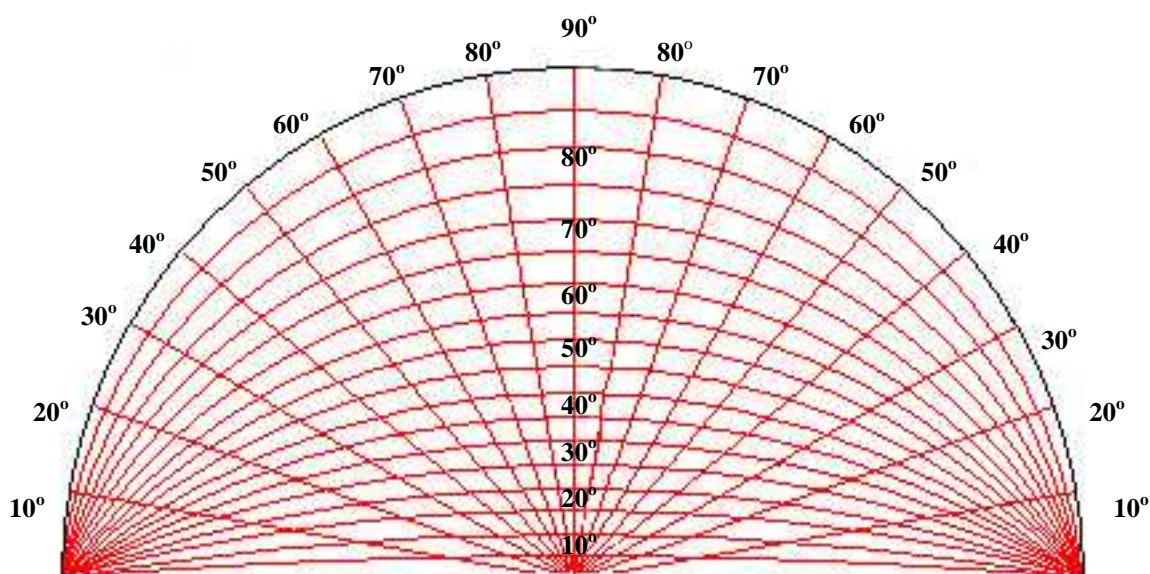


Figura 63. Transferidor de ângulos.

A Figura 64. Ilustra o traçado dos ângulos alfa, beta e gama utilizando o transferidor.

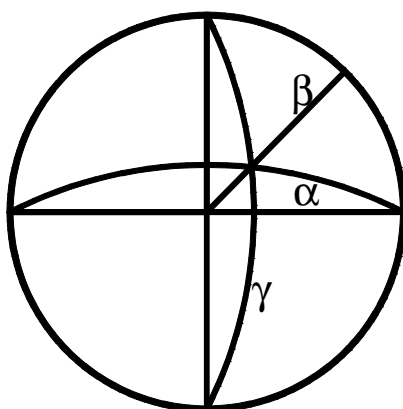


Figura 64. Ângulos alfa, beta e gama.

### 3.7 A MÁSCARA DE SOMBRA

Quando uma pessoa está ao ar livre em um local descampado ela pode ver toda a abóbada celeste. Mas em várias situações determinadas partes da abóbada celeste são obstruídas por diversos tipos de barreiras (vegetação, relevo, edificações vizinhas, saliências da própria edificação, etc).

A máscara de sombra representa graficamente, nos diagramas solares, obstáculos que impedem a visão da abóbada celeste por parte de um observador (ou elemento) fixo em algum ponto.

Os exemplos a seguir apresentam a seqüência de construção da máscara de sombra para obstrução frente a um observador.

1 – Desenhar a máscara de sombreamento devido à obstrução causada por uma edificação, para um observador voltado para o leste, conforme o esquema abaixo.

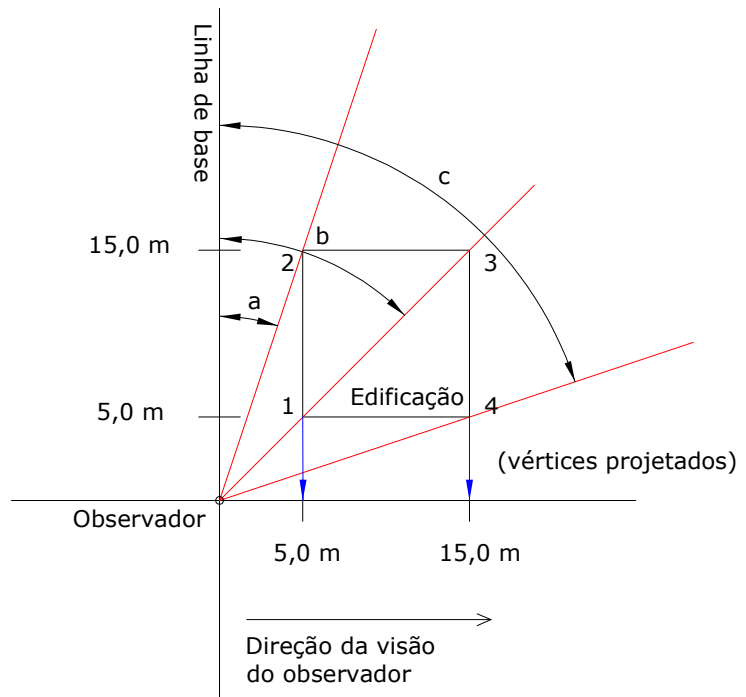
Resolução:

- a) Determinar os ângulos formados entre a direção dos vértices e a direção da vista do observador:

$$a = \operatorname{arctg} \frac{5}{15} = 18,4^\circ$$

$$b = \operatorname{arctg} \frac{5}{5} = 45^\circ$$

$$c = \operatorname{arctg} \frac{15}{5} = 71,6^\circ$$

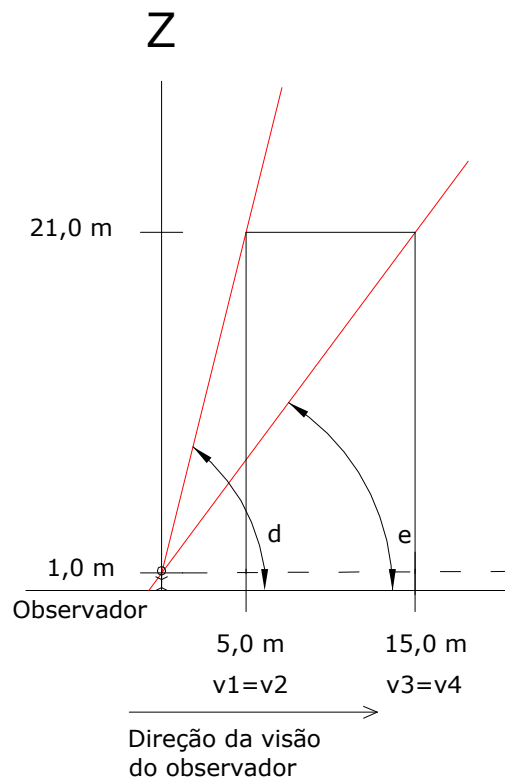


**Esquema 1: vista superior**

b) Projetar os vértices na linha de visão do observador e determinar os ângulos de obstrução verticais:

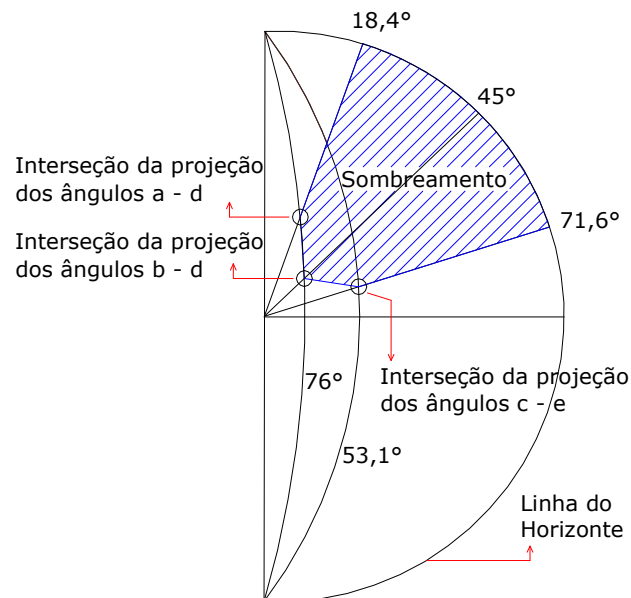
$$d = \operatorname{arctg} \frac{20}{5} = 76^\circ$$

$$e = \operatorname{arctg} \frac{20}{15} = 53,1^\circ$$



**Esquema 2: vista lateral projetada**

- c) Construir a máscara com o auxílio do transferidor de ângulos, delimitando a área formada pelas interseções da projeção dos ângulos verticais e horizontais:

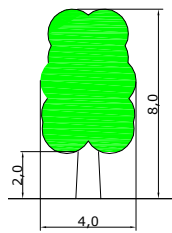


**Esquema 3: máscara de sombra**

2 – Desenhar a máscara de sombreamento para uma janela (dimensões 2,0m x 1,0m) voltada para uma direção qualquer, devido à obstrução causada por uma árvore, conforme o esquema abaixo:

Resolução:

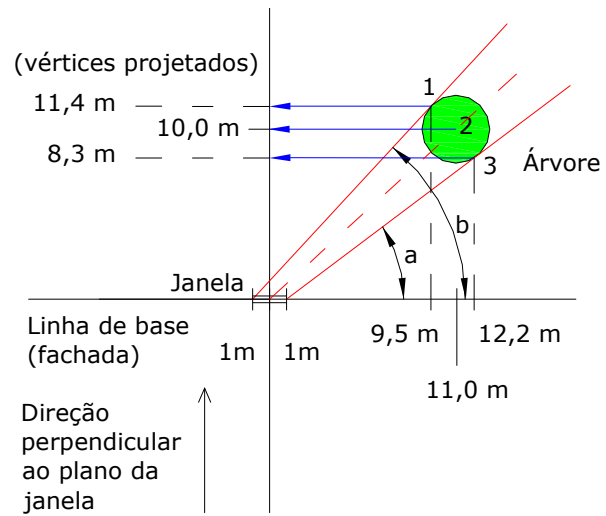
- a) Determinar os ângulos formados entre a direção dos pontos tangenciais da extremidade da árvore e dos limites da janela:



Árvore

$$a = \arctg \frac{(8,3)}{(12,2 - 1)} = 36,5^\circ$$

$$b = \arctg \frac{(11,4)}{(9,5 + 1)} = 47,3^\circ$$



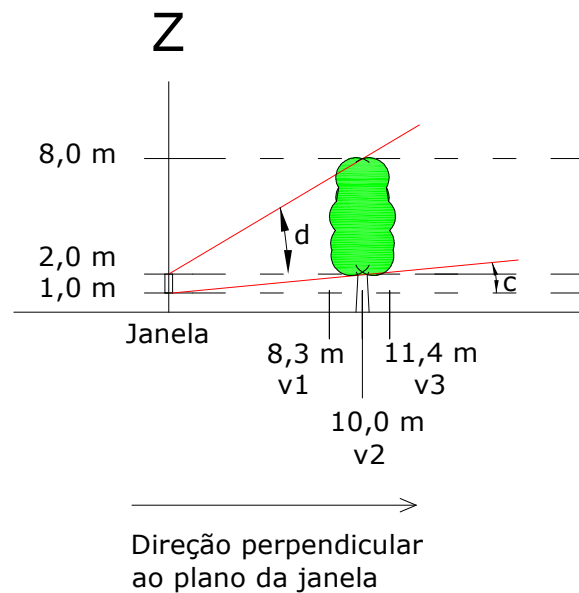
Esquema 1: vista superior

b) Projetar os vértices na direção perpendicular ao plano da janela e determinar os ângulos de obstrução verticais:

Assumindo a altura dada para o centro da árvore:

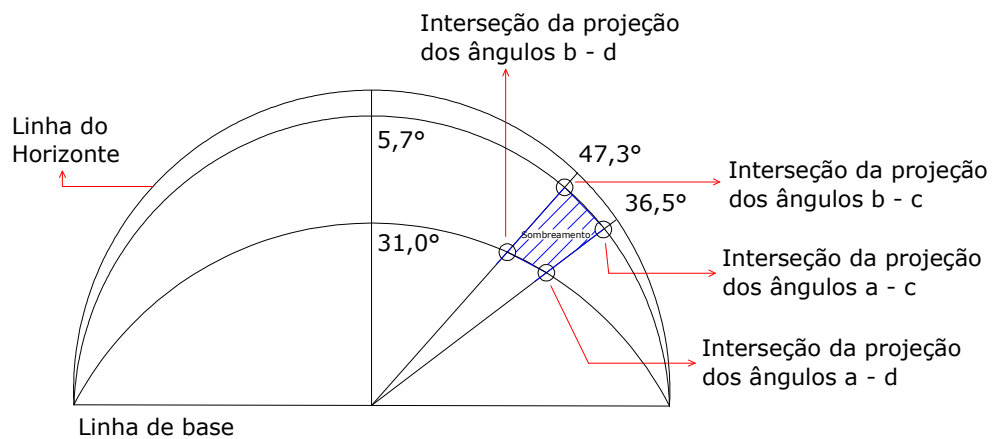
$$c = \arctg \frac{1}{10,0} = 5,7^\circ$$

$$d = \arctg \frac{(8 - 2)}{10,0} = 31,0^\circ$$



Esquema 2: vista lateral projetada

c) Construir a máscara com o auxílio do transferidor de ângulos, delimitando a área formada pelas interseções da projeção dos ângulos verticais e horizontais:



**Esquema 3: máscara de sombra**

3 – Desenhar a máscara de sombreamento para uma janela voltada para uma direção qualquer, devido a obstrução causada por uma montanha de 1000m de altura, conforme o esquema abaixo:

Resolução:

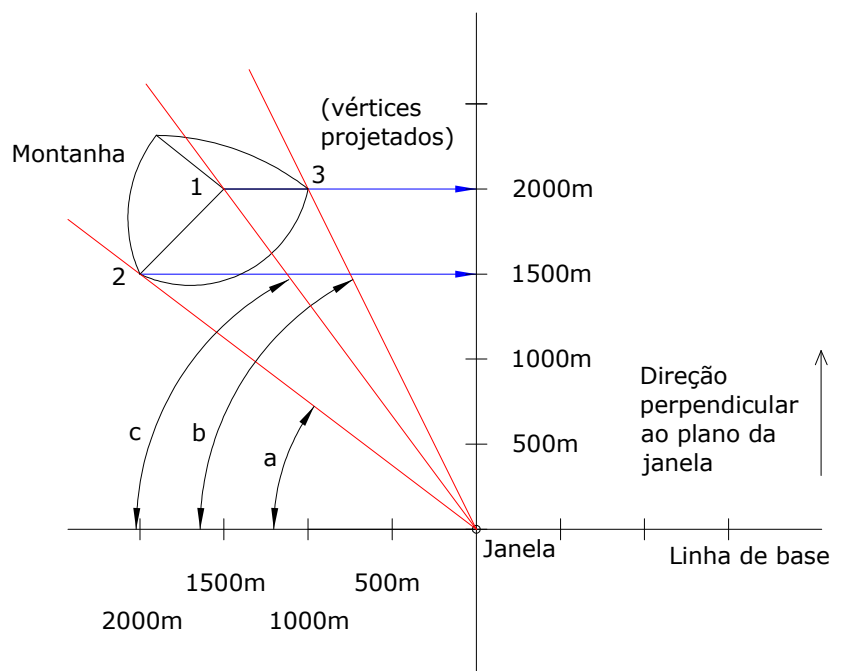
a) Determinar os ângulos formados entre a direção dos pontos tangenciais da extremidade da montanha e dos limites da janela:

Neste caso devido à grande distância e a pequena proporção entre o tamanho da janela e da montanha, a janela pode ser considerada como um ponto.

$$a = \arctg \frac{1500}{2000} = 36,9^\circ$$

$$b = \arctg \frac{2000}{1000} = 63,4^\circ$$

$$c = \arctg \frac{2000}{1500} = 53,1^\circ$$

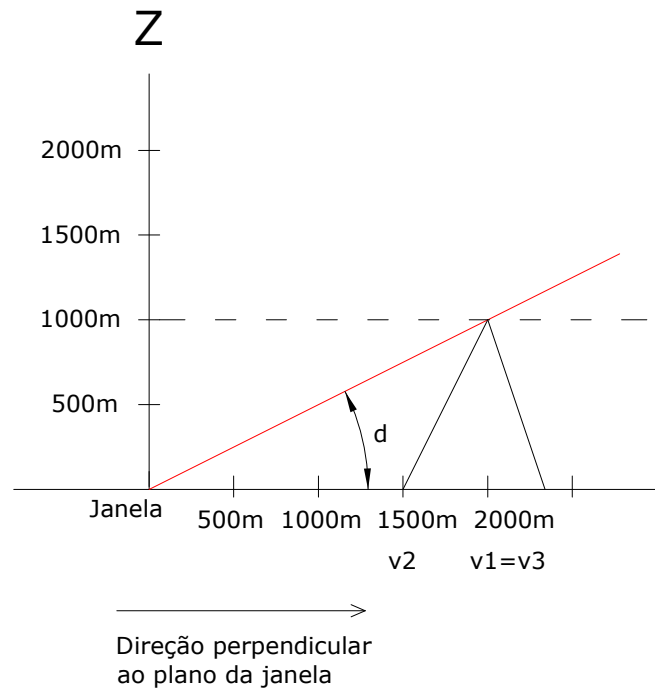


**Esquema 1: vista superior**



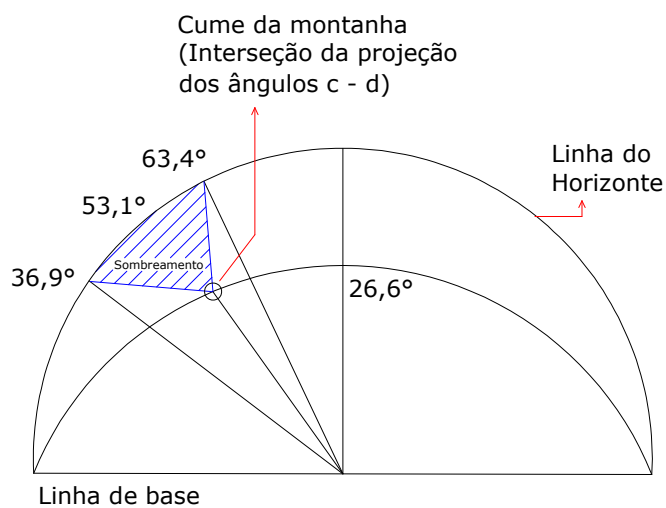
b) Projetar os vértices na direção perpendicular ao plano da janela e determinar os ângulos de obstrução verticais:

$$d = \arctg \frac{1000}{2000} = 26,6^\circ$$



**Esquema 2: vista lateral projetada**

c) Construir a máscara com o auxílio do transferidor de ângulos, delimitando a área formada pelas interseções da projeção dos ângulos verticais e horizontais:



**Esquema 3: máscara de sombra**

### 3.8 TIPOS DE PROTEÇÕES SOLARES

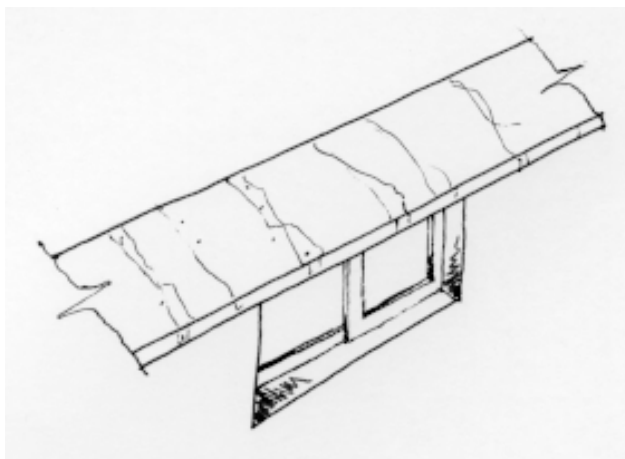
Entendido o movimento aparente do sol percebido por um observador na Terra, pode-se utilizar este conhecimento para o traçado de proteções solares (brises) que impeçam a entrada de raios solares no interior do ambiente durante as horas do dia e os meses do ano em que se deseja esta proteção.

O tipo de brise e suas dimensões são função da eficiência desejada. Portanto, um brise será considerado eficiente quando impedir a entrada de raios solares no período desejado.

#### 3.8.1 Traçado de máscaras

Para projetar proteções solares, a segunda informação que deve ser conhecida é o tipo de mascaramento que cada tipo de brise proporciona. Portanto, o traçado de máscaras é a ferramenta utilizada no projeto de proteções solares.

#### 3.8.2 Brise horizontal infinito



Os brises horizontais impedem a entrada dos raios solares através da abertura a partir do ângulo de altitude solar. O traçado do mascaramento proporcionado por este brise é determinado em função do ângulo  $\alpha$  e é apresentado na Figura 65.

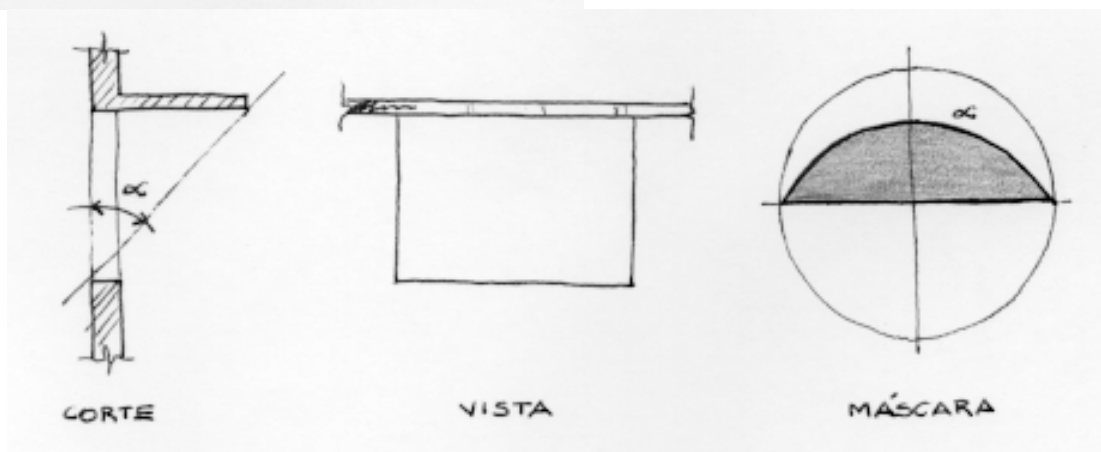


Figura 65. Mascaramento proporcionado pelo brise horizontal infinito.

Pode-se perceber que há incidência do sol no interior do ambiente apenas quando o seu ângulo de altitude estiver entre a linha do horizonte e o ângulo  $\alpha$ .

### 3.8.3 Brise vertical infinito



Os brises verticais impedem a entrada dos raios solares através da abertura a partir do ângulo de azimute solar. O traçado do mascaramento proporcionado por este brise é determinado em função do ângulo  $\beta$  e é apresentado na Figura 66.

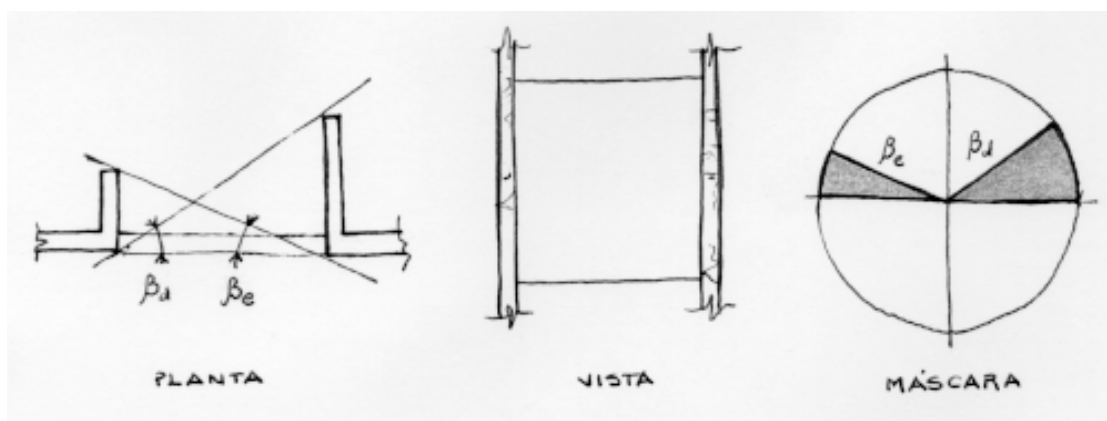
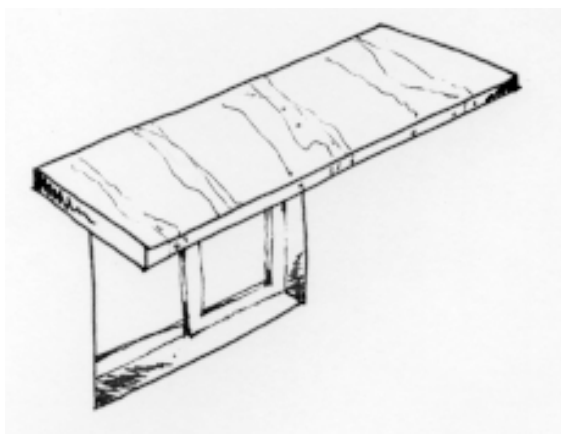


Figura 66. Mascaramento proporcionado pelo brise vertical infinito.

Neste caso, a incidência de raios solares no ambiente ocorre quando o ângulo de azimute solar está entre os dois ângulos  $\beta$  determinados.

Como em situações reais é difícil a existência de brises que podem ser considerados infinitos, surge a necessidade de definição de um terceiro ângulo, o  $\gamma$ . Este ângulo limita o sombreamento produzido pelos ângulos  $\alpha$  e  $\beta$ .

### 3.8.4 Brise horizontal finito



Este tipo de brise tem a sua eficiência limitada pois a sua projeção lateral é limitada pelos ângulos  $\gamma$ , como mostra a Figura 67.

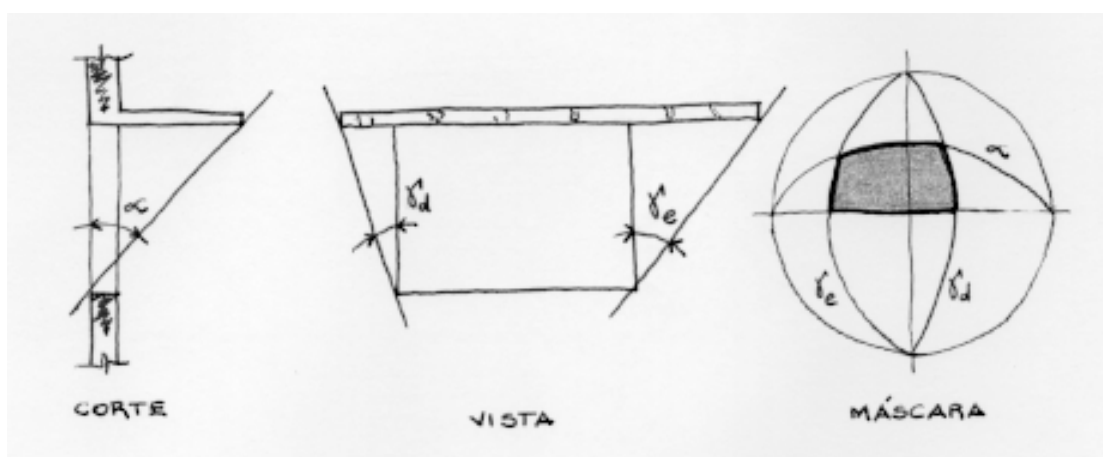
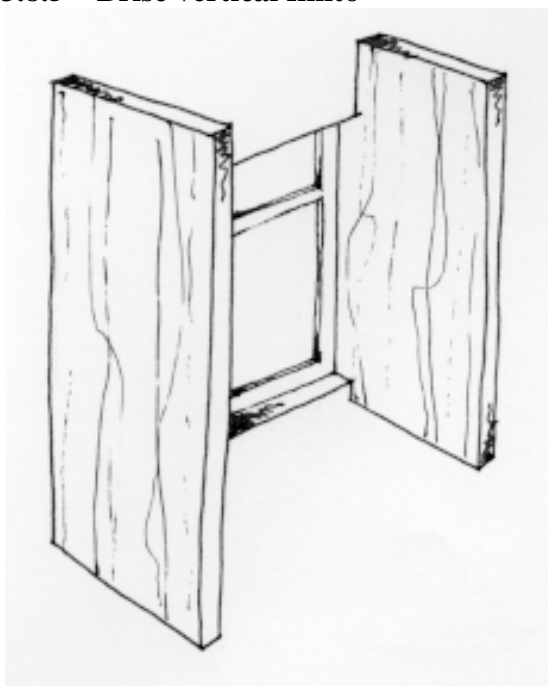


Figura 67. Mascaramento proporcionado pelo brise horizontal finito.

### 3.8.5 Brise vertical finito



Para o brise vertical o sombreamento produzido pelos ângulos  $\beta$  será limitado pelos ângulos  $\gamma$ , como mostra a Figura 68.

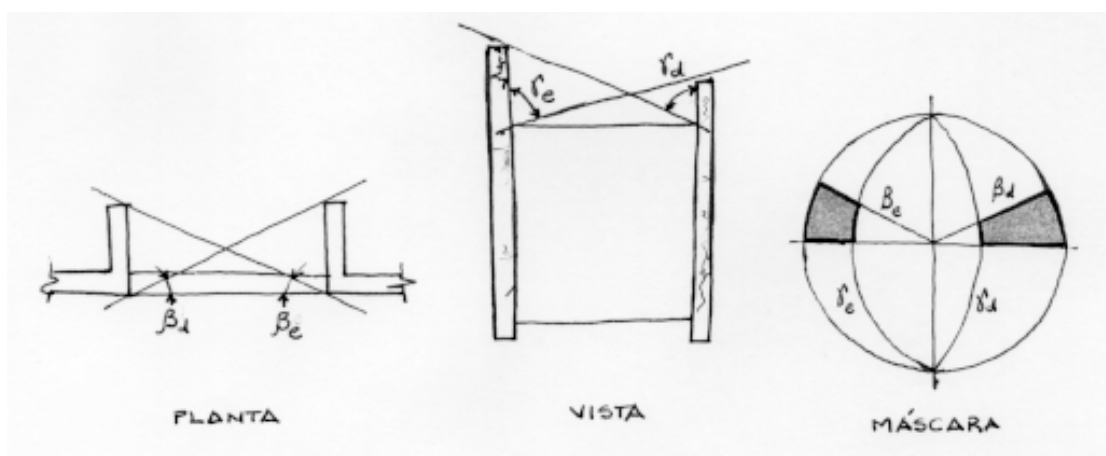


Figura 68. Mascaramento proporcionado pelo brise vertical finito.

### 3.8.6 Brises mistos

Através do mascaramento produzido pelos quatro tipos básicos de brises apresentados anteriormente pode-se determinar o mascaramento para qualquer tipo de brise com diferentes combinações de brises horizontais e verticais, conforme mostra a Figura 69.

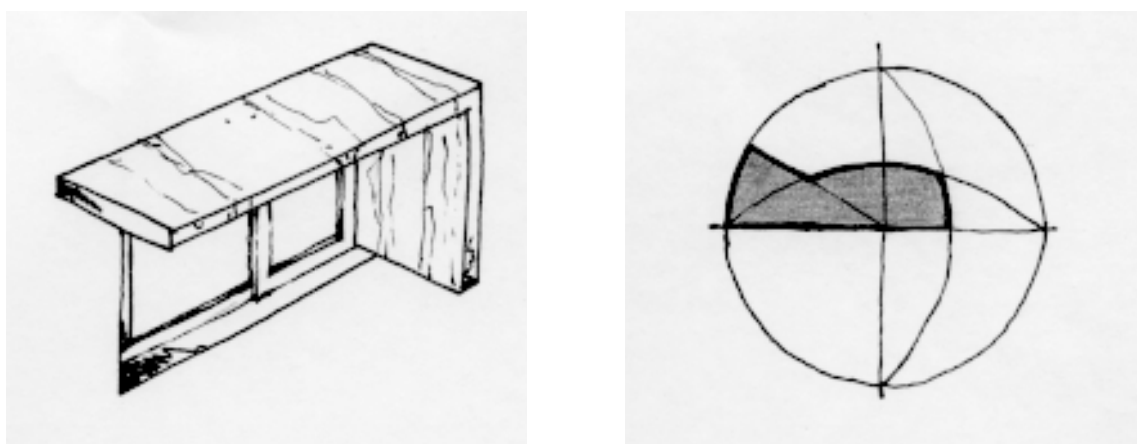


Figura 69. Brises mistos.

## 3.9 O PROGRAMA SOL-AR

O programa Sol-Ar, desenvolvido pelo LabEEE, é uma ferramenta para projeto de proteções solares. Ele traça a máscara de sombra sobre a carta solar dados os ângulos  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  (Figura 70) Indica também as temperaturas do arquivo TRY para cada localidade cadastrada (Figura 71) e fornece a Rosa dos Ventos do TRY (Figura 72).

Através do Sol-Ar, é possível traçar a máscara desejada para, posteriormente, partir para o projeto das proteções solares.

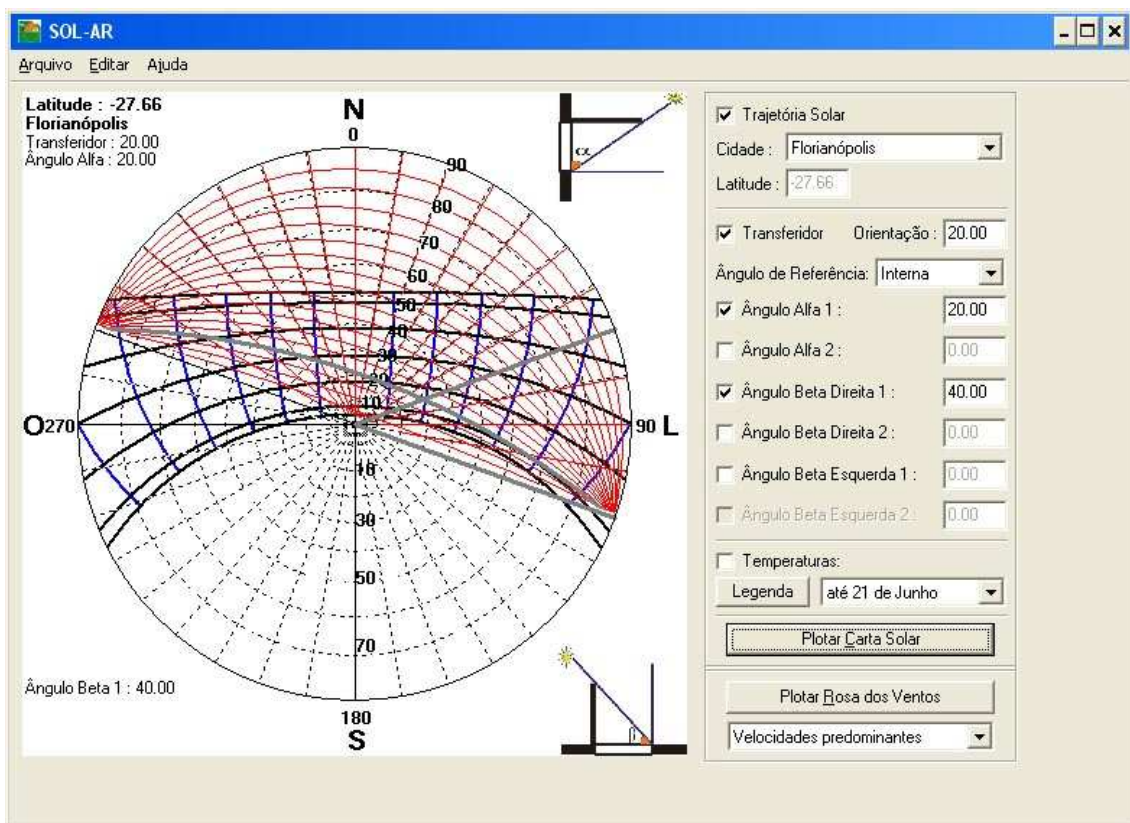


Figura 70. Carta solar para a latitude de Florianópolis e transferidor auxiliar com máscara de proteção solar orientada a 20º do programa Sol-Ar.

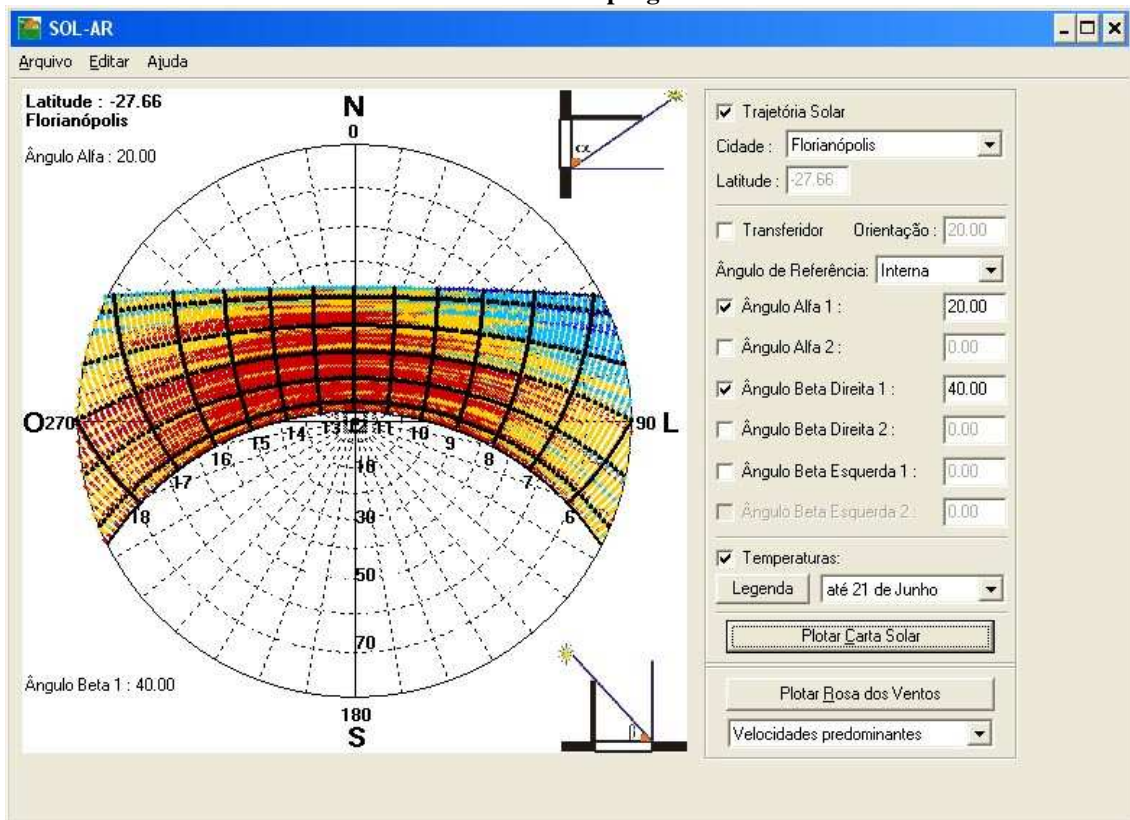


Figura 71. Temperaturas horárias do primeiro semestre do TRY de Florianópolis (1963) do programa Sol-Ar.

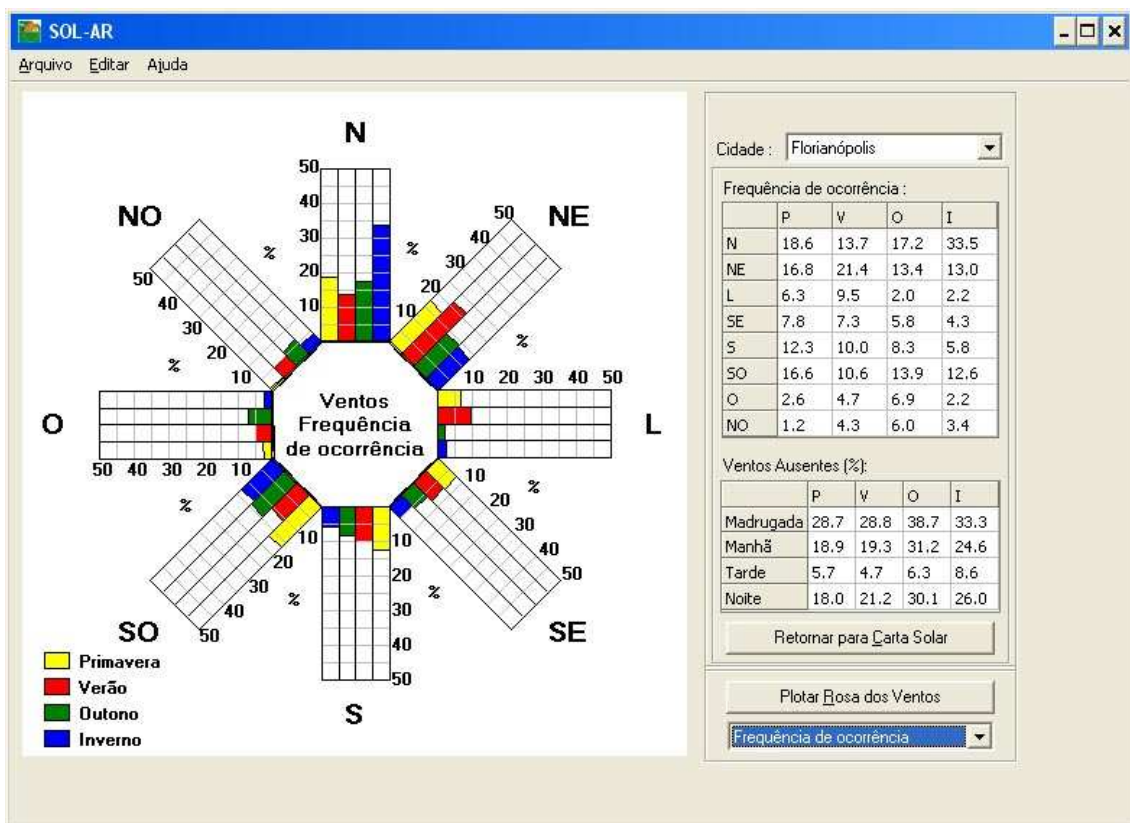
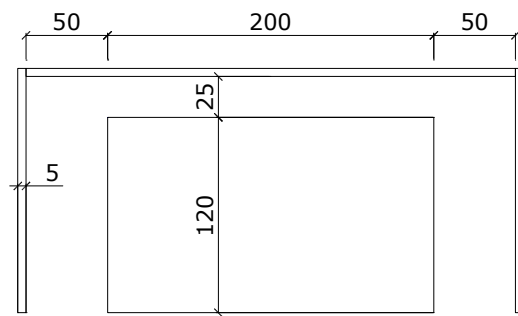


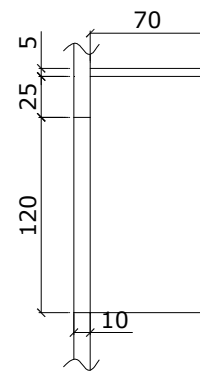
Figura 72. Frequência de ocorrência do vento do TRY de Florianópolis (1963) do programa Sol-Ar.

### 3.10 EXEMPLOS RESOLVIDOS

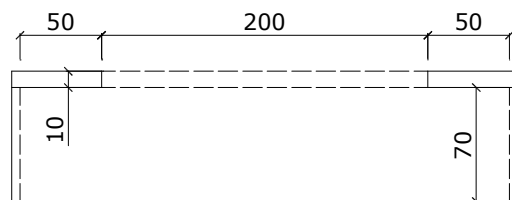
1 – Desenhar a máscara de sombra para o brise abaixo e avaliar a sua aplicação para a orientação indicada (Local: Florianópolis / Uso: Comercial com horário de funcionamento entre 8h e 16h). OBS.: Dimensões em cm.



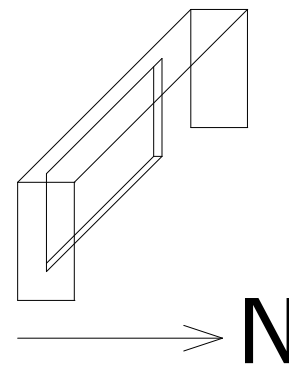
Vista Frontal



Corte



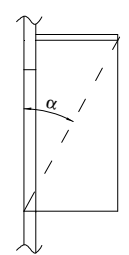
Vista Superior (planta)



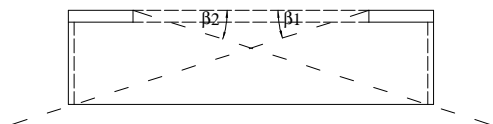
Perspectiva

a) Determinar  $\alpha$ ,  $\beta$  (brise horizontal e vertical infinito):

$$\alpha = \arctan\left(\frac{80}{145}\right) = 28,9^\circ$$

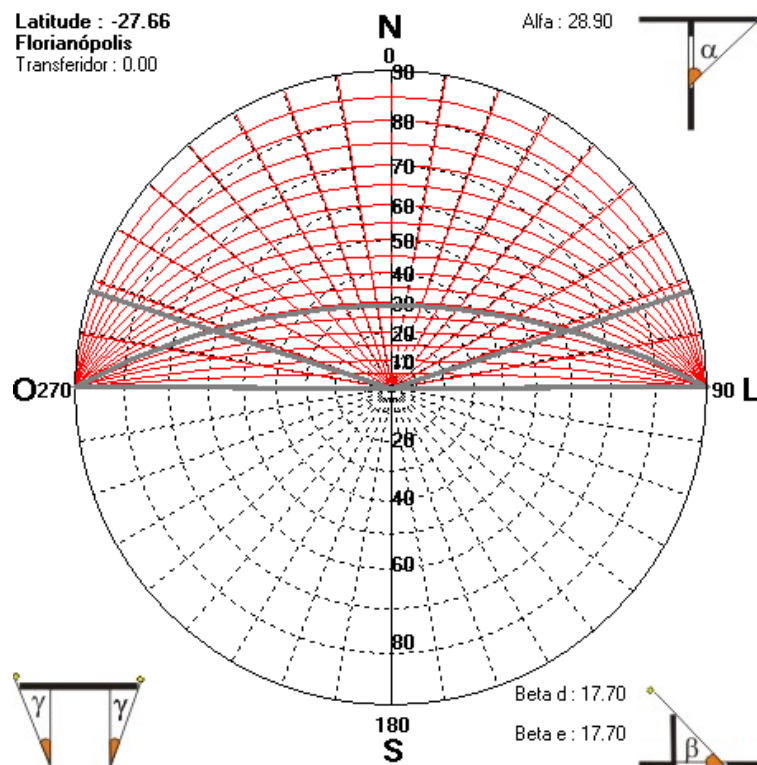


$$\beta_1 = \beta_2 = \arctan\left(\frac{80}{250}\right) = 17,7^\circ$$

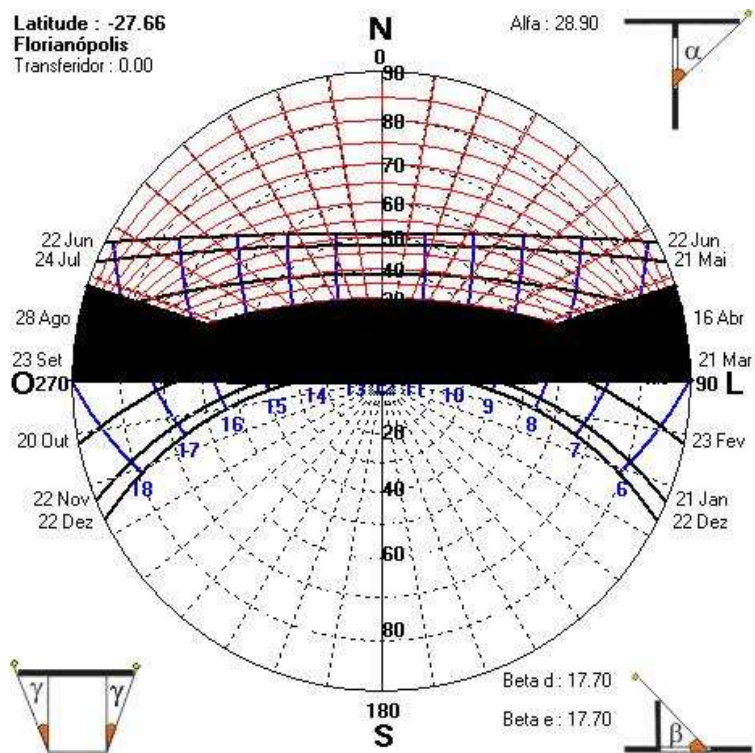




b) Desenhar a máscara com auxílio de um transferidor de ângulos:



c) Sobrepor a máscara de sombra na carta solar local:



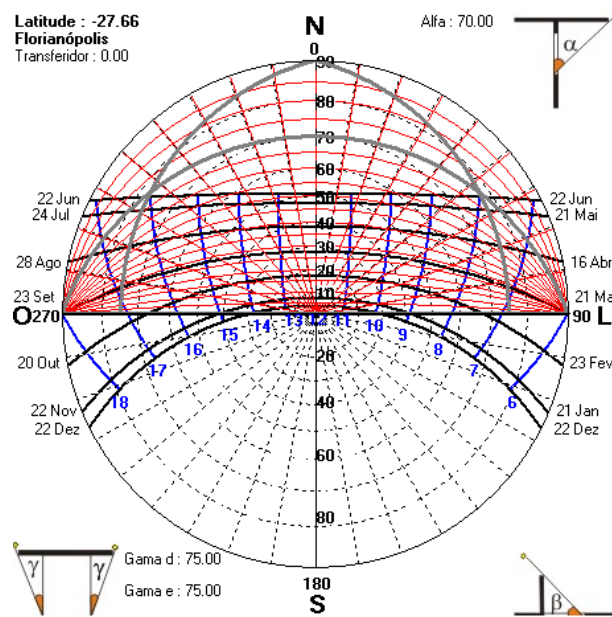
d) Fazer a avaliação do brise:

O brise proporciona sombreamento entre os meses de setembro e março, bloqueando a entrada de radiação em todas as horas do dia. Nos meses de abril e agosto, o brise permite a passagem da radiação solar entre as 7:00h e as 17:00h.

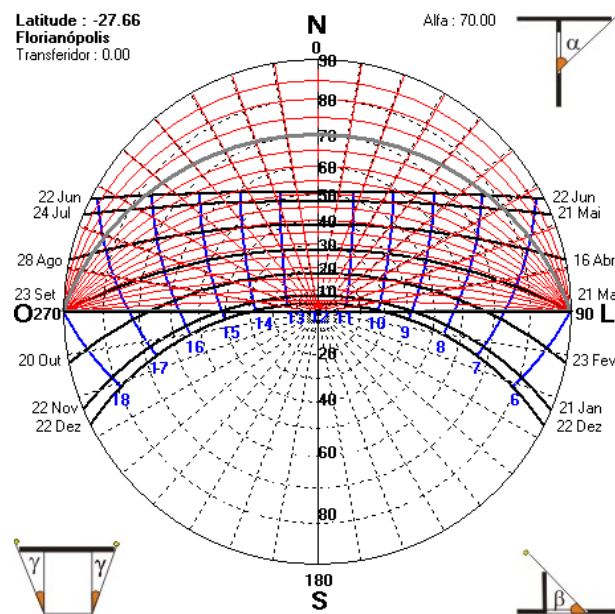
Já de maio até julho não há nenhum sombreamento. Embora nestes meses existam necessidades de aquecimento em alguns horários, a incidência direta de radiação solar pode causar desconforto visual. Por isso uma alternativa seria o uso de cortinas ou persianas.

De maneira geral, pode-se dizer que o brise cumpre bem a sua função, uma vez que proporciona sombreamento nos meses com temperaturas mais elevadas (verão).

Como sugestão, caso se desejasse sombreamento em todo o período do ano durante o horário estabelecido, seria necessário aplicar um ângulo  $\alpha$  de  $70^\circ$ , sendo este limitado por ângulos  $\gamma$  de aproximadamente  $75^\circ$  (caso 1); ou também poderia ser utilizado simplesmente um brise vertical infinito com ângulo  $\alpha$  de  $70^\circ$  (caso 2).



Caso 1



## Caso 2

2 – Projetar um brise para a janela do exercício anterior, a partir da máscara de sombra sugerida no caso 2 (brise vertical infinito com ângulo  $\alpha$  de  $70^\circ$ ). OBS.: Dimensões em cm.

Uma solução para esta situação é a utilização de placas metálicas retangulares ou em PVC, dispostas ao longo do comprimento da janela. Supondo inicialmente um espaçamento de 20cm entre as placas, também um ângulo de  $30^\circ$  formado entre a placa e direção vertical, e sendo sua espessura desprezível (esquema abaixo), é possível determinar a sua dimensão:

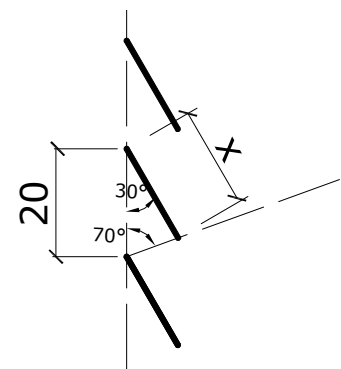
Primeiro é necessário determinar o ângulo não conhecido do triângulo formado. Sendo a soma dos seus ângulos internos igual a  $180^\circ$ , temos:

$$180^\circ - 30^\circ - 70^\circ = 80^\circ$$

Então aplicando a lei dos senos, temos:

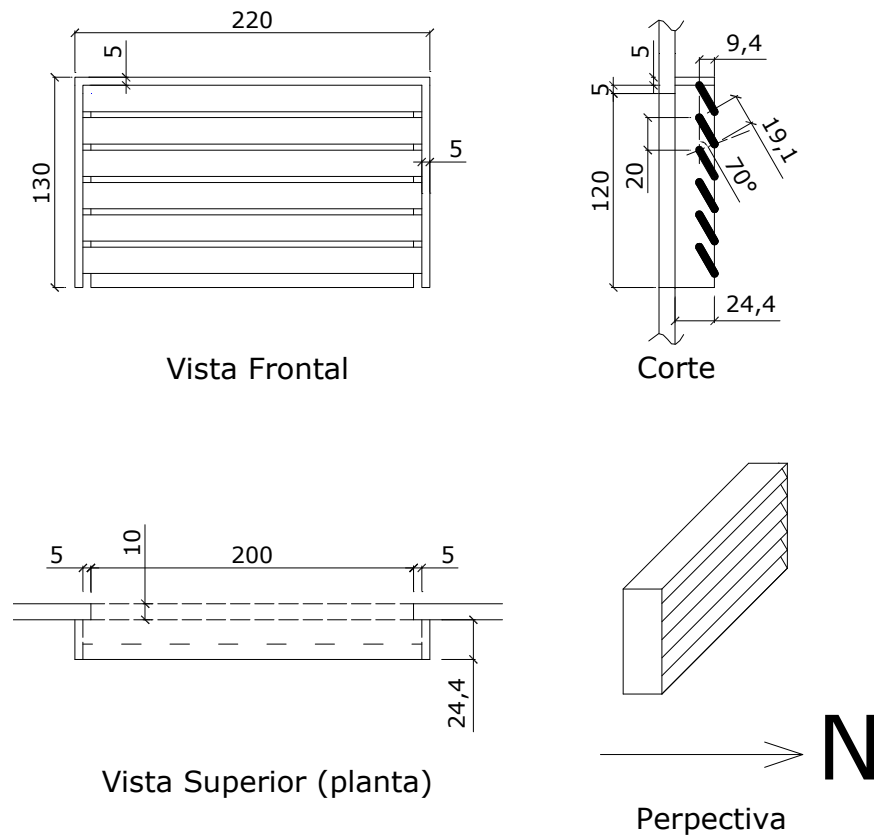
$$\frac{x}{\text{sen}70^\circ} = \frac{20}{\text{sen}80^\circ}$$

$$x = 19,1\text{cm}$$

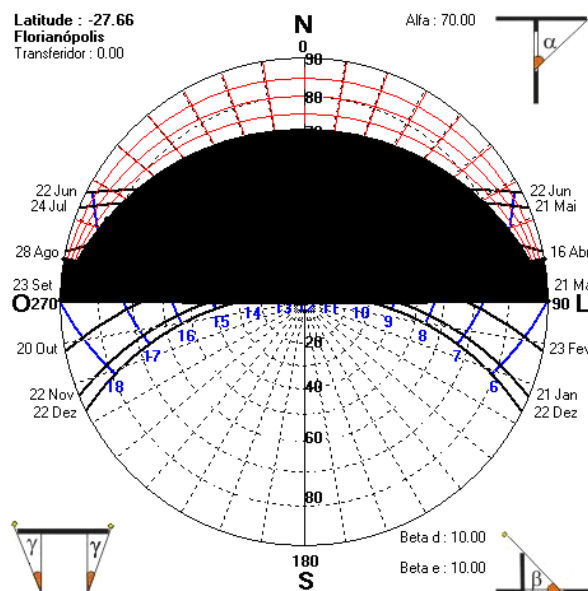


**Esquema de distribuição da placas**

Um afastamento de 15cm entre as placas e a esquadria, para manutenção dos vidros, pode ser adotado. Também o espaço entre as extremidades verticais dos brises e a parede deve ser fechado para que seja obtido o efeito de um elemento infinito. O esquema abaixo mostra o detalhamento do brise projetado.



Nova máscara sobreposta na carta solar local:



### 3.11 CATÁLOGO DE BRISES

A seguir é apresentado um catálogo com o mascaramento característico para 44 diferentes modelos de brises.

TENDO COMO OBJETIVO PROPORCIONAR AO PROFISSIONAL OU ESTUDANTE DE ARQUITETURA A VISUALIZAÇÃO DAS DIVERSAS CARACTERÍSTICAS POSSÍVEIS DE DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO DE ABERTURAS (BRISES), BEM COMO SUA CONSEQÜENTE APLICABILIDADE NAS MAIS VARIADAS SITUAÇÕES DE PROJETO, ESTE TRABALHO FAZ UMA SÍNTESE DOS PRINCIPAIS TIPOS DE BRISES, SISTEMATIZADO DOS MAIS SIMPLES AOS MAIS COMPLEXOS.

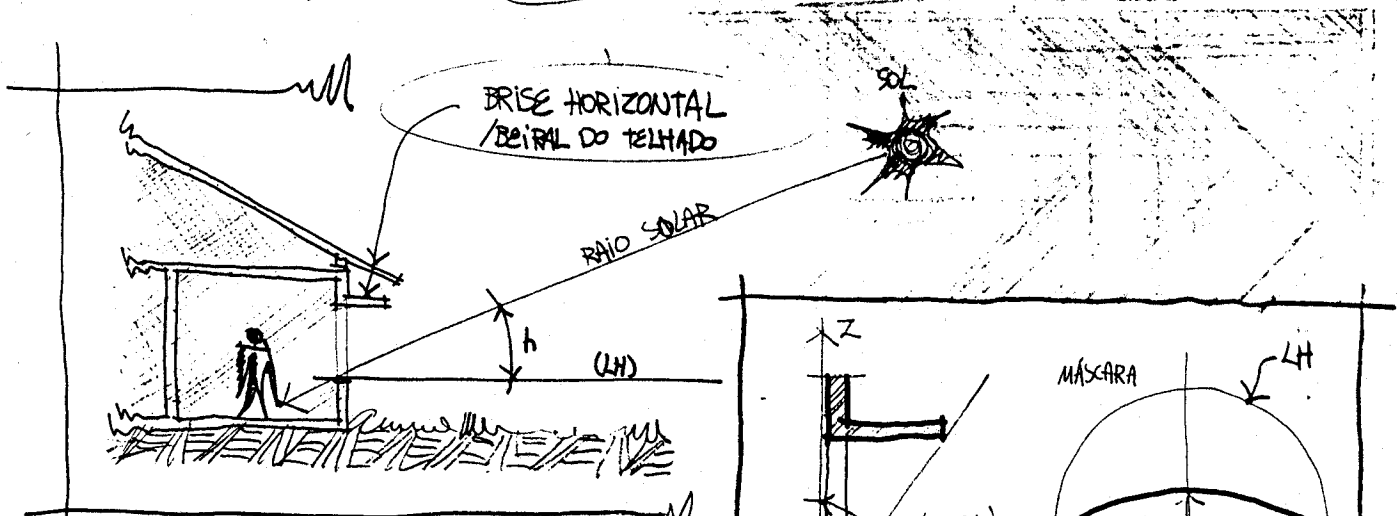
PARTICIPANTES EM POTENCIAL DA FORMA EXTERIOR DAS EDIFICAÇÕES, OS BRISES, TAL QUAL AS ABERTURAS, ESTRUTURAM OS RITMOS DA COMPOSIÇÃO DAS FACHADAS; PODEM REFORÇAR LINHAS VERTICAIS OU HORIZONTAIS DO PROJETO, CONFORME EXIJA A CONCEIÇÃO FORMAL DA ARQUITETURA; PODEM, AINDA, SER EXPLORADOS COMO ADORNO OU COMO MARCAÇÃO DE ELEMENTOS DE MAIOR HIERARQUIA NO DESENHO, COMO ACESSOS, ABERTURAS DE ESPAÇOS MAIS AMPLOS E NOBRES, ETC.. OS DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO DEVEM RESULTAR, ENTÃO, DE VÁRIAS ETAPAS DE ELABORAÇÃO PLÁSTICA NO PROJETO, QUE BUSCAM INTEGRAR SUA FORMA À LINGUAGEM ARQUITETÔNICA DA OBRA. ESTA TABELA, NO ENTANTO, SIMPLIFICA AO MÁXIMO A CONCEPÇÃO FORMAL DOS BRISES (GERALMENTE REDUZIDOS A PLANOS HORIZONTAIS OU VERTICAIS), EXALTANDO SUA FUNCIONALIDADE. TEM-SE, DESTA FORMA, UM MATERIAL ILUSTRATIVO BASTANTE PRÁTICO, QUE CERTAMENTE SUBSIDIARÁ O ARQUITETO NA COMPOSIÇÃO DE DISPOSITIVOS MAIS ELABORADOS DE SOMBREAMENTO OU MESMO NA ESCOLHA ENTRE OS PRÓPRIOS DISPOSITIVOS DESTA RELAÇÃO.

# TABELA DE BRISES

AUTOR: ACAD. LUCIANO DUTRA (D.A.U.) — SET/90.  
LABCON — (Laboratório de Conforto Ambiental — D.A.U. — UFSC.)

# BRISE HORIZONTAL

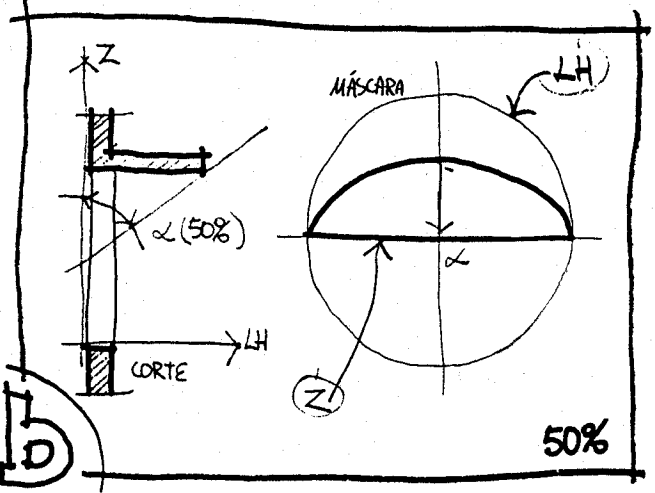
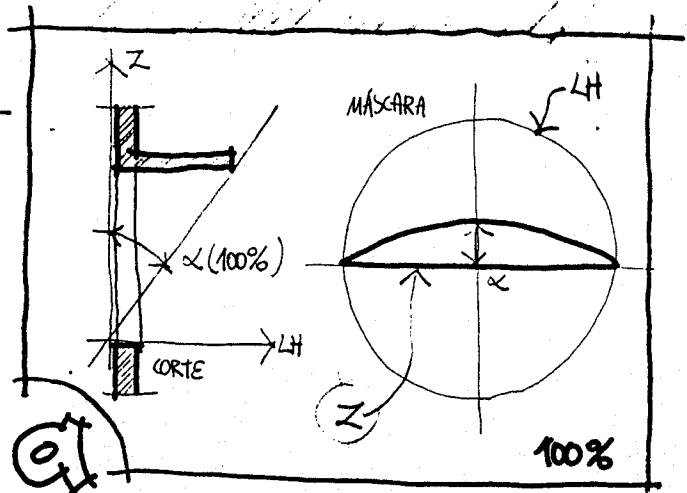
ESTE BRISE PROPORCIONA O SOMBREAMENTO DO SOL A PARTIR DO SEU ÂNGULO DE ALTURA (h). BRISES HORIZONTAIS SÃO NORMALMENTE USADOS EM ABERTURAS ORIENTADAS PARA O NORTE.



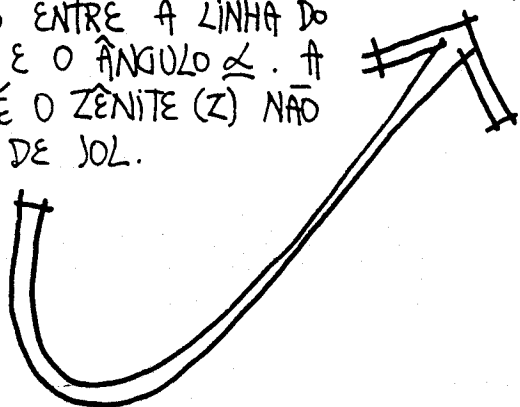
## • ângulo $\alpha$ :

NAS FIGURAS a e b, REPRESENTA-SE OS ÂNGULOS DE ALTURA ( $\alpha$ ) PARA SOMBREAMENTOS DE 100% E 50% DA ABERTURA, RESPECTIVAMENTE. PARA TRANSFERIR O ÂNGULO  $\alpha$  AO TRANSFERIDOR DE ÂNGULOS, MEDIMOS-LO A PARTIR DO ZÊNITE (Z), QUE É O PONTO DA ABóbADA CELESTE SITUADO NA RETA SUPORTE<sup>c</sup> PERPENDICULAR AO PONTO DO OBSERVADOR.

PODE-SE NOTAR, NAS FIGURAS a e b, QUE O SOL PENETRA NA ABERTURA QUANDO SEU ÂNGULO DE ALTURA ESTÁ COMPREENDIDO ENTRE A LINHA DO HORIZONTE (LH) E O ÂNGULO  $\alpha$ . A PARTIR DAÍ ATÉ O ZÊNITE (Z) NÃO HÁ INCIDÊNCIA DE SOL.



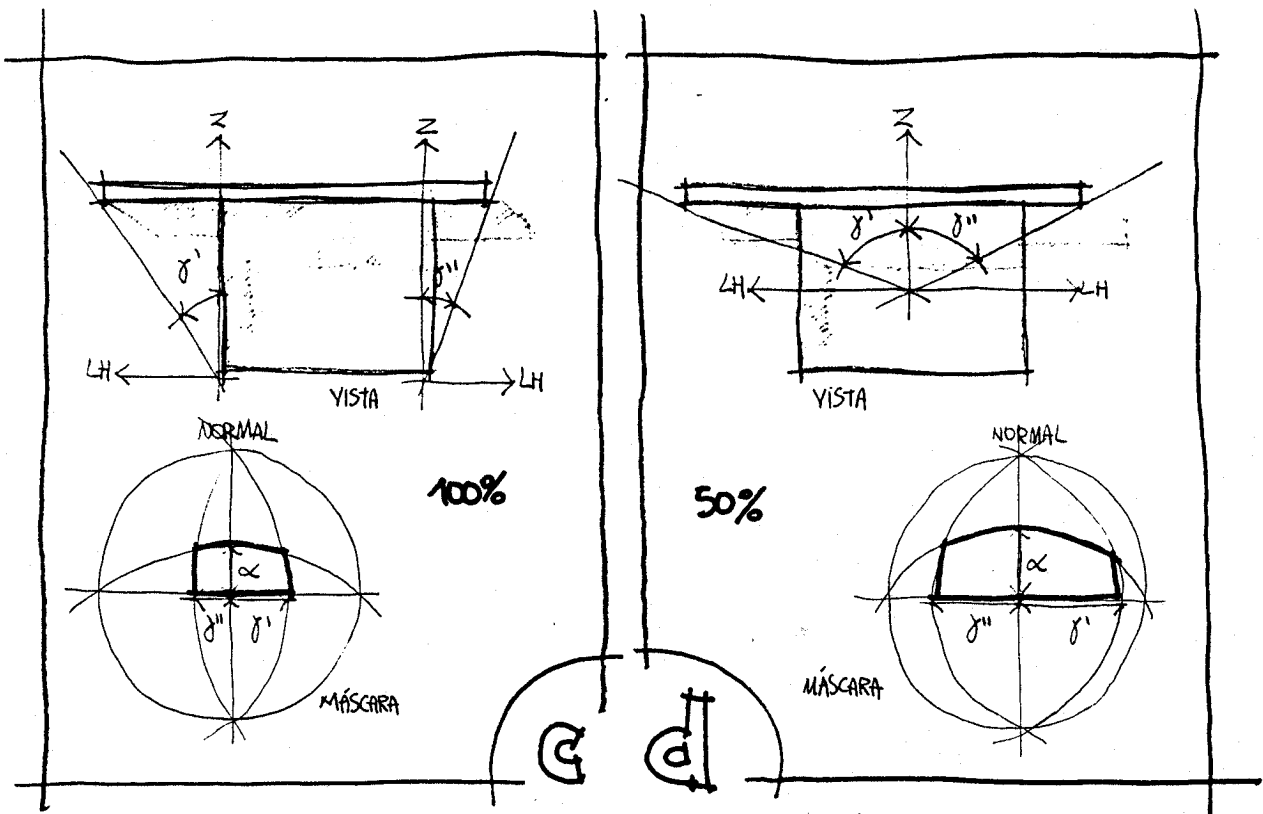
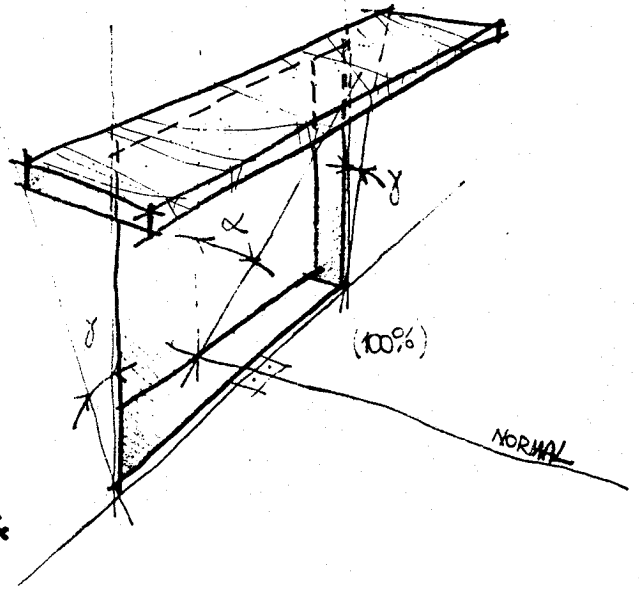
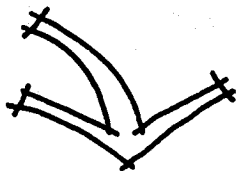
TEMOS, AGORA, A MÁSCARA CORRESPONDENTE A UM BRISE HORIZONTAL INFINITO, OU SEJA, SEM LIMITAÇÕES NAS LATERAIS. DEVEMOS ENTRETANTO CONSIDERAR SEUS LIMITES PARA TORNAR O MASCARAMENTO FIEL A REAL E-FICIÊNCIA DO DISPOSITIVO.



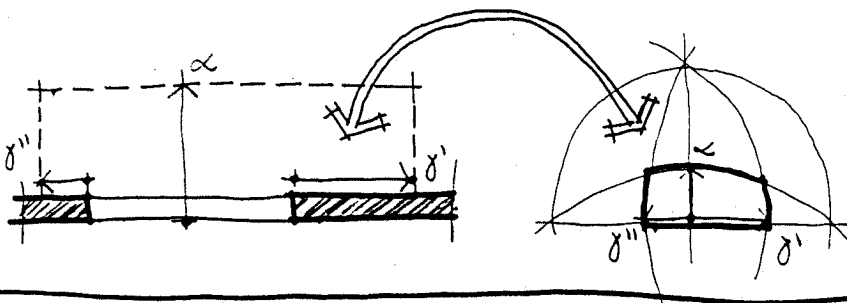
# • ângulo $\gamma$ :

OS ÂNGULOS  $\gamma$  REPRESENTAM AS ALTURAS PERPENDICULARES À NORMAL DA FACHADA.

NAS FIGURAS c E d TEMOS OS ÂNGULOS  $\gamma$  PARA AS SITUAÇÕES DE 100% E 50% DE SOBREAMENTO, RESPECTIVAMENTE.



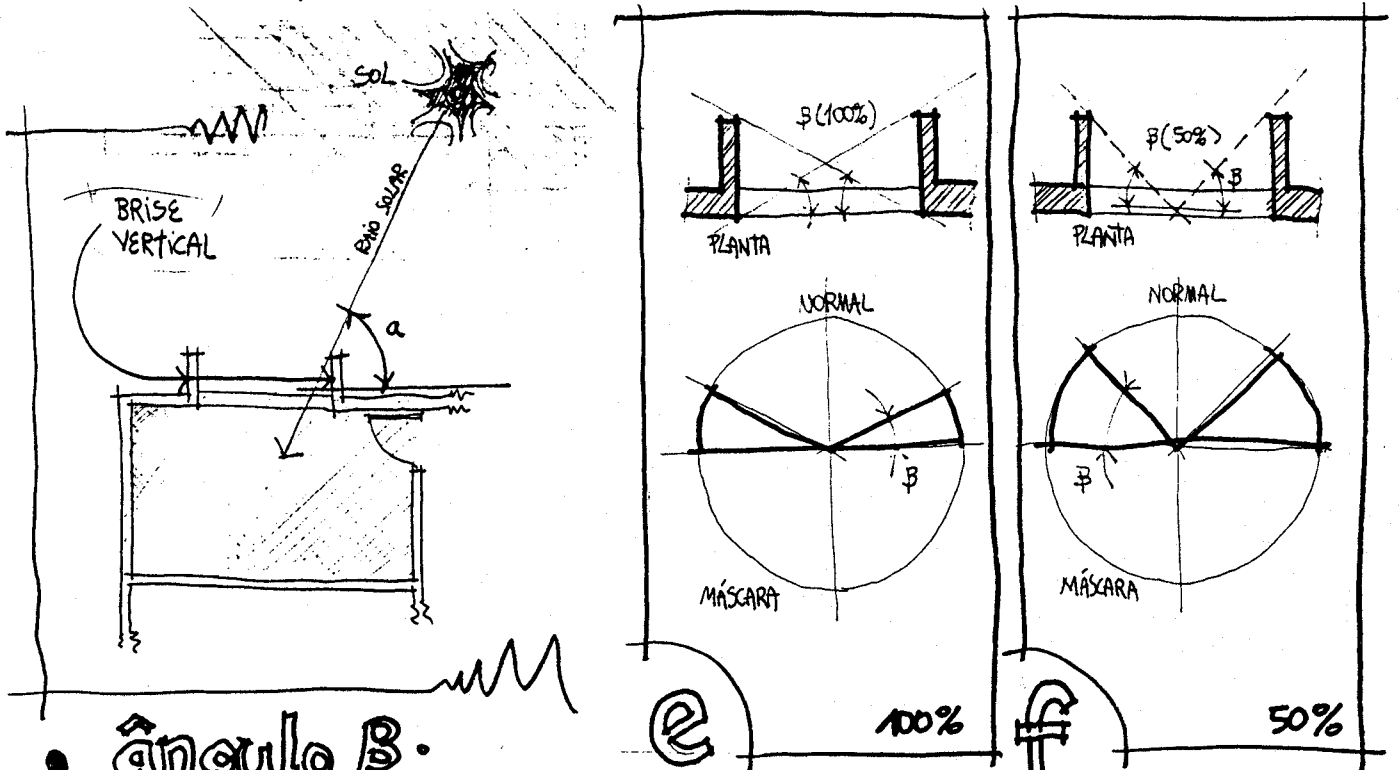
⊗ COMPARANDO-SE A PLANTA DA JANELA AO TRANSFERIDOR DE ÂNGULO, MELHOR SE VISUALIZA O FUNCIONAMENTO DESTES PROCESSOS. A FIGURA COMPREENDIDA ENTRE OS CRUZAMENTOS DOS TRÊS ÂNGULOS (CALCULADOS  $\alpha$ ,  $\gamma'$  e  $\gamma''$ ) É A MÁSCARA DE SOMBRAS DO BRISE (50% ou 100%)



QUE, SOBREPONDO À CARTA SOLAR DO LOCAL, PERMITE AVALIAR COM PRECISÃO O DESEMPENHO DO DISPOSITIVO DE SOBREAMENTO.

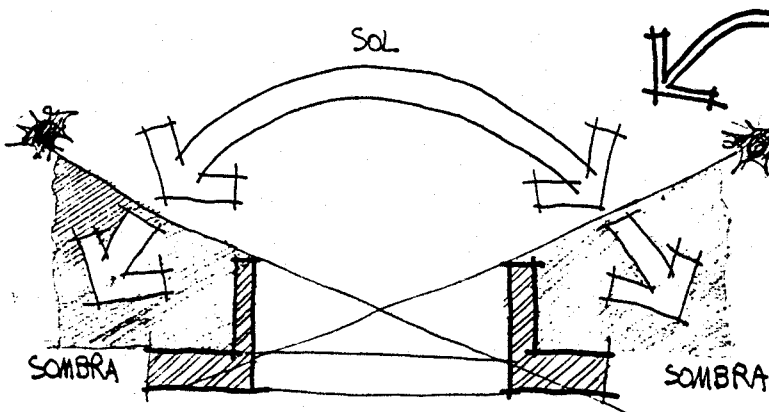
# BRISE VERTICAL

SOMBREANDO O SOL SEGUNDO SEU ÂNGULO DE AZIMUTE ( $\alpha$ ), ESTE BRISE PROTEGE ABERTURAS ORIENTADAS PARA LESTE OU OESTE COM MAIOR EFICIÊNCIA.



## • Ângulo $\beta$ :

TEM-SE NAS FIGURAS e E f OS ÂNGULOS LÍMITES DE AZIMUTE ( $\beta$ ), RESPECTIVAMENTE PARA 100% E 50% DE SOMBREAMENTO NA ABERTURA. O ÂNGULO  $\beta$  É ANOTADO EM LINHAS RADIAIS, A PARTIR DO CENTRO DO TRANSFERIDOR DE ÂNGULO E PODE SER TRANSPORTADO PARA ESTE DIRETAMENTE, CONFORME SE VÊ NAS FIGURAS.



NOTA-SE, NAS FIGURAS, QUE HÁ INCIDÊNCIA DO SOL NA ABERTURA SOMENTE QUANDO SEU ÂNGULO DE AZIMUTE ESTIVER ENTRE OS DOIS ÂNGULOS  $\beta$  CALCULADOS.

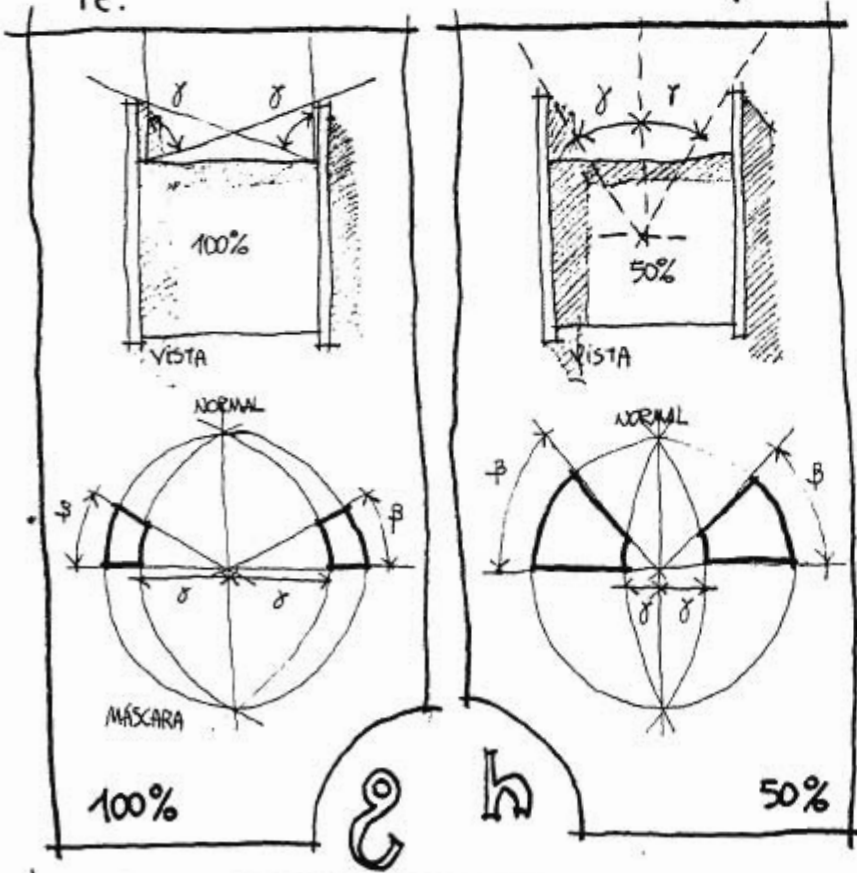
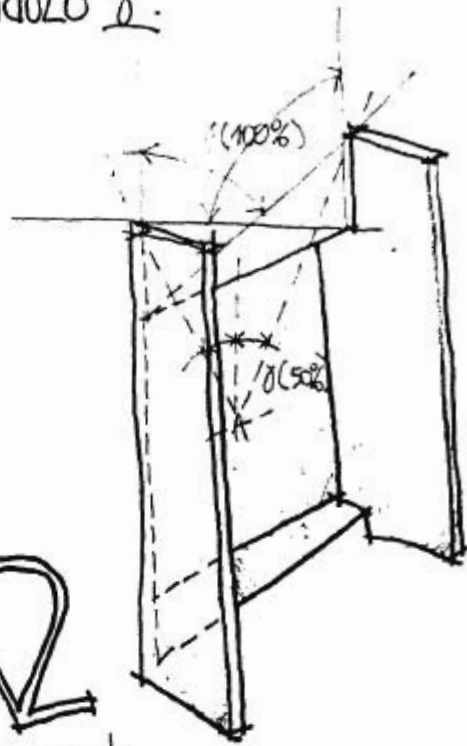


A MÁSCARA CONSTRUÍDA DESTA FORMA, REPRESENTA UM BRISE VERTICAL INFINITO, PARA FINS DE MELHOR VISUALIZAÇÃO. CONTUDO, CASO O DISPOSITIVO A SER PROJETADO NÃO TRABALHE EM ASSOCIAÇÃO COM BRISES HORIZONTAIS, É NECESSÁRIO DEFINIR SUAS DIMENSÕES LÍMITES, ATRAVÉS DO ÂNGULO  $\alpha$ .

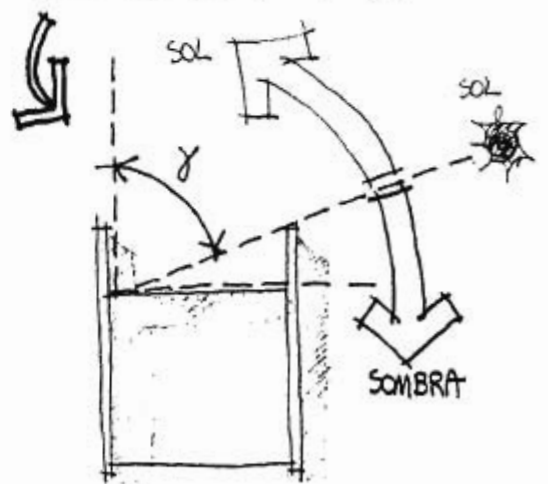
• **ângulo  $\alpha$ :**

TAL QUAL NO BRISE HORIZONTAL, O ÂNGULO  $\alpha$  REPRESENTA A ALTURA PERPENDICULAR A NORMAL DA FACHADA, DEVENDO POIS SER MARCADO A PARTIR DE UM CIRO DE 90° NO TRANSFERIDOR DE ÂNGULO).

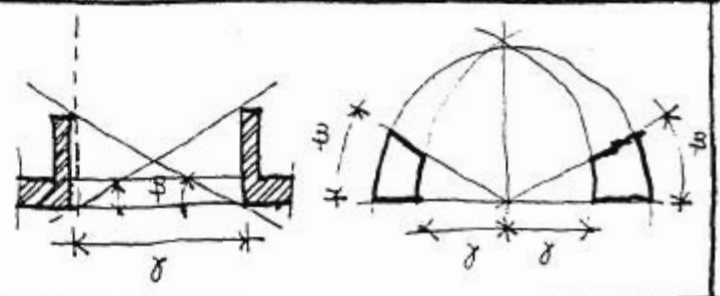
NAS FIGURAS  $g$  E  $h$  TEMOS OS ÂNGULOS  $\alpha$  PARA 100% E 50% DE SOMBREAMENTO, RESPECTIVAMENTE.



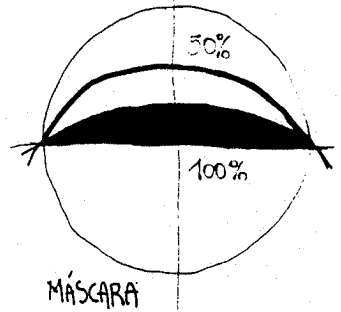
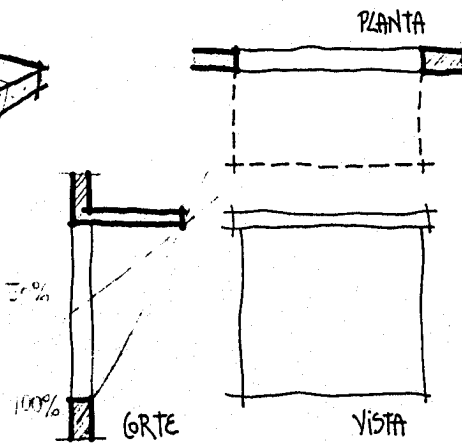
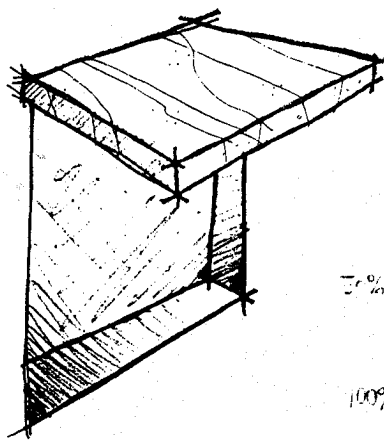
⊗ É IMPORTANTE NOTAR QUE O SOL INCIDE NA ABERTURA QUANDO SUA ALTURA FOR MENOR QUE OS ÂNGULOS  $\alpha$ .



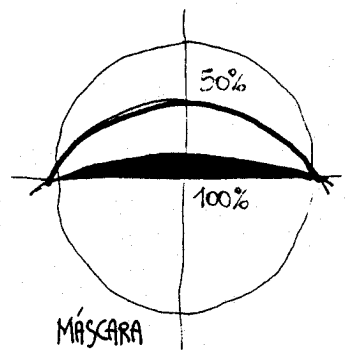
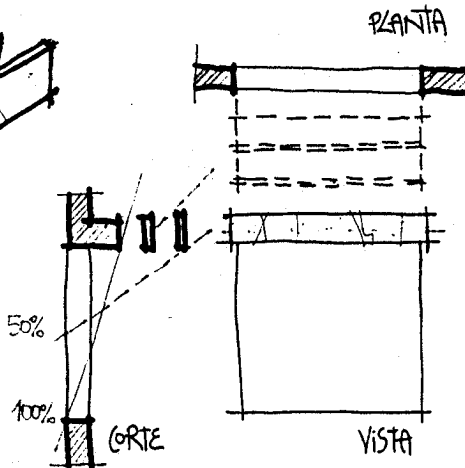
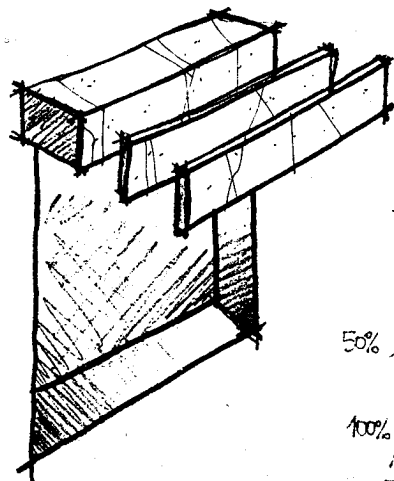
⊗ DA MESMA FORMA QUE NO BRISE HORIZONTAL, A PLANTA DA JANELA (COMPARADA À MÁSCARA DA ABERTURA) ESCLARECE O FUNCIONAMENTO DO TRANSFERIDOR DE ÂNGULO. ○



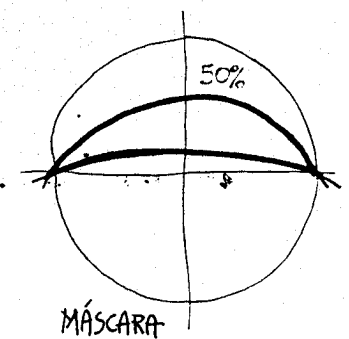
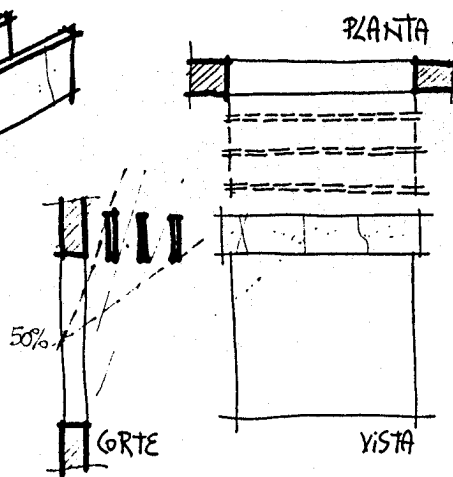
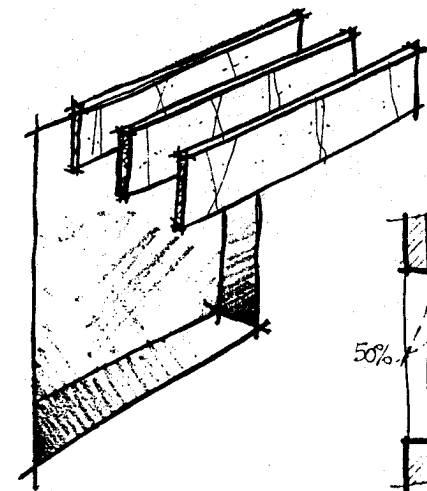
01



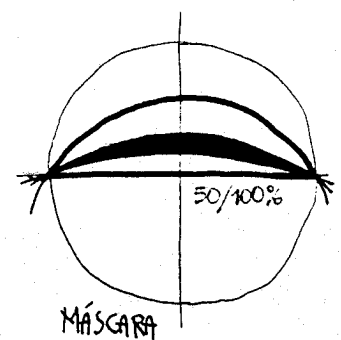
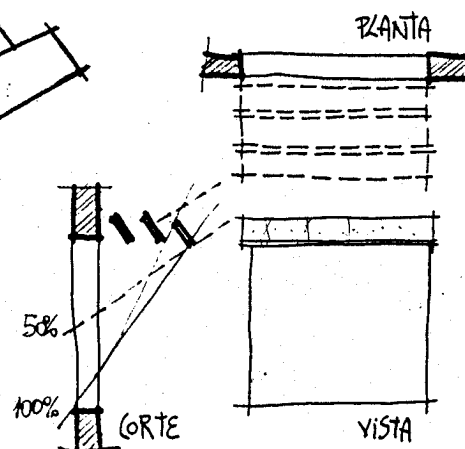
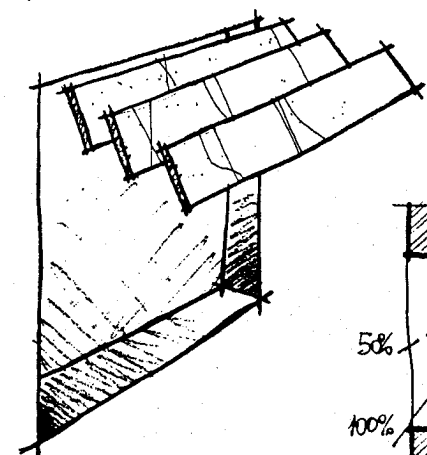
02



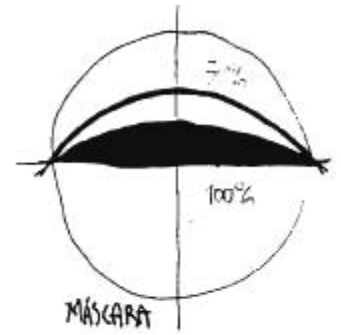
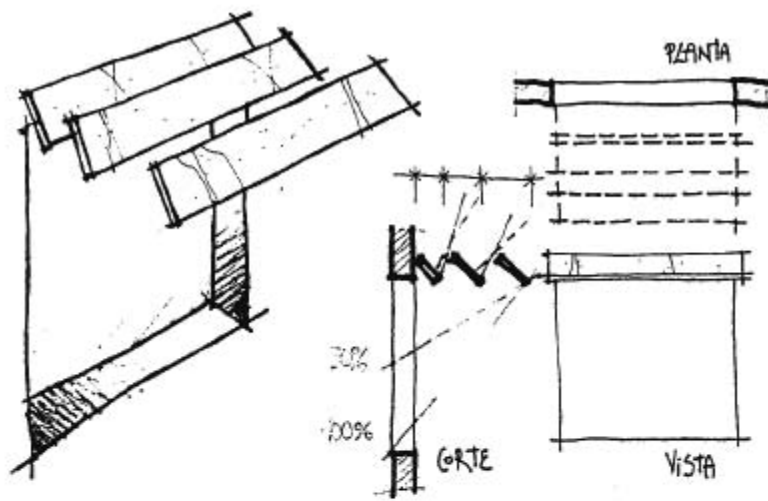
03



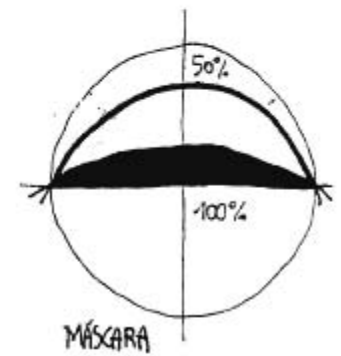
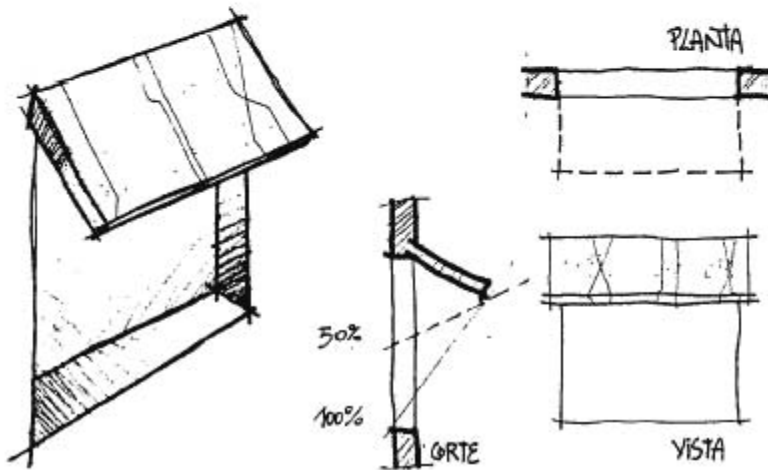
04



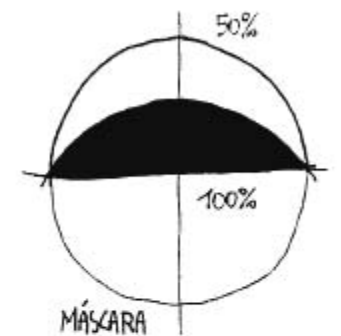
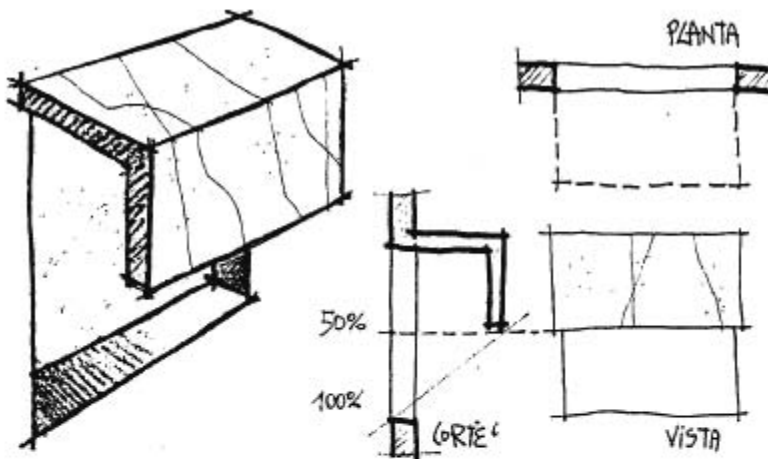
05



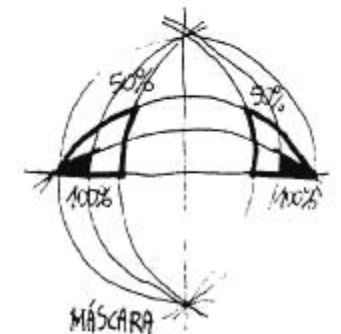
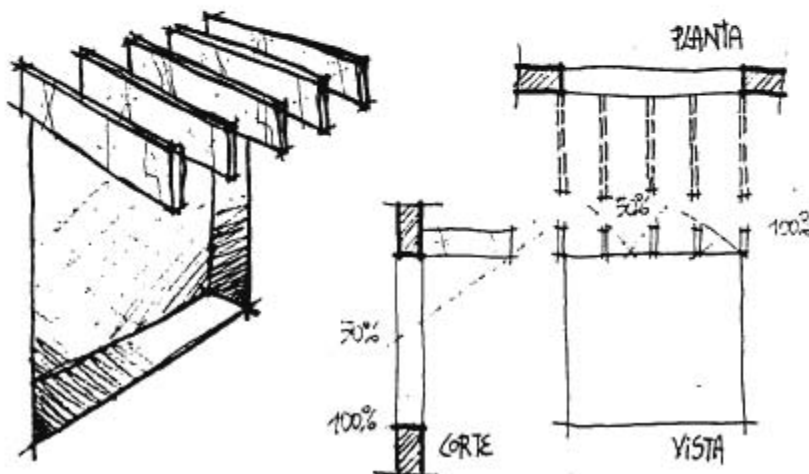
06



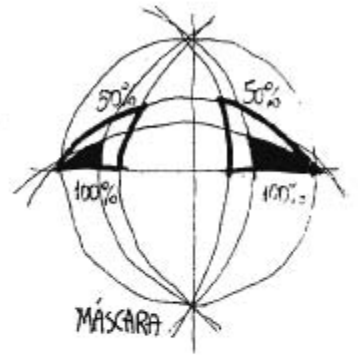
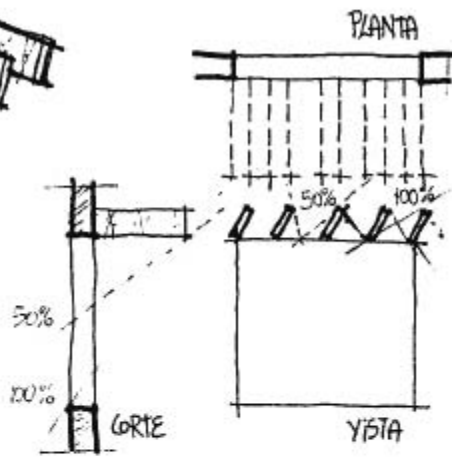
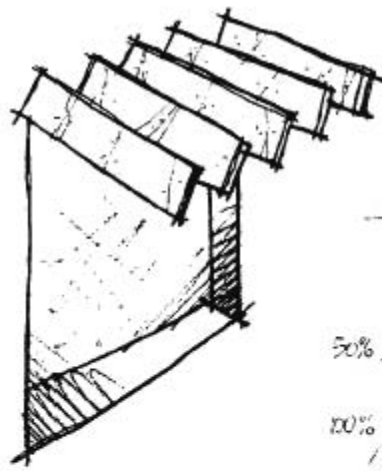
07



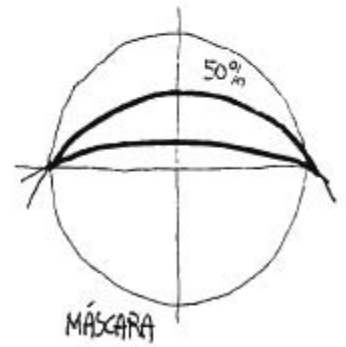
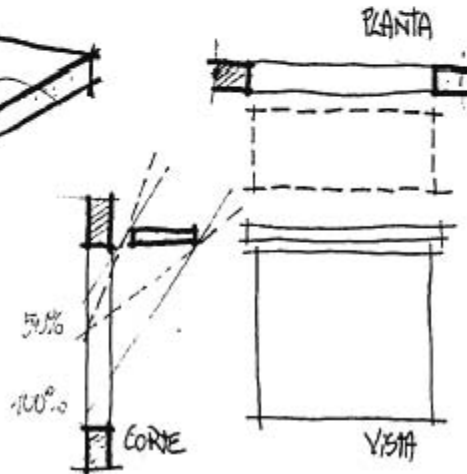
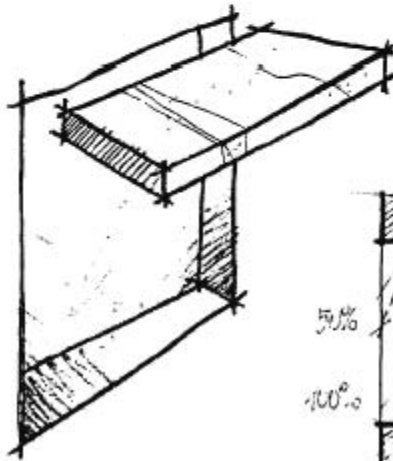
08



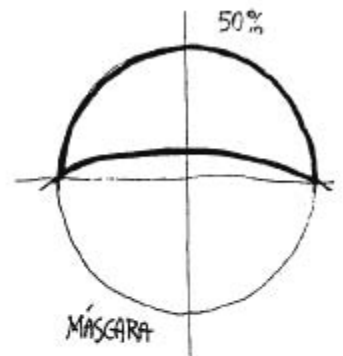
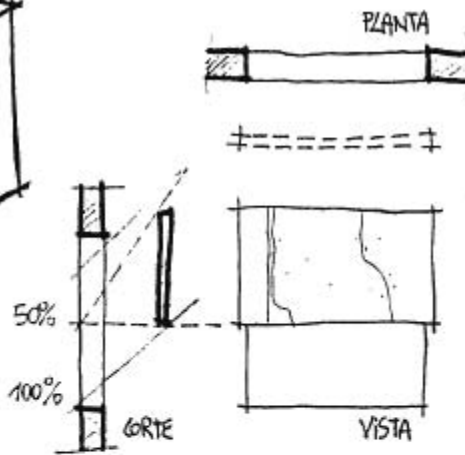
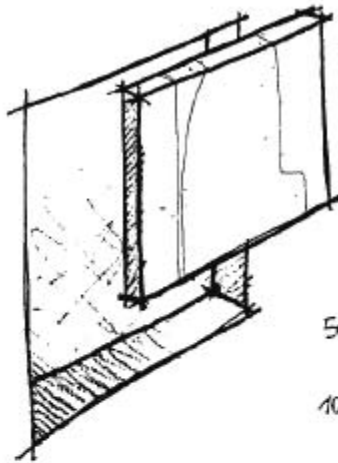
09



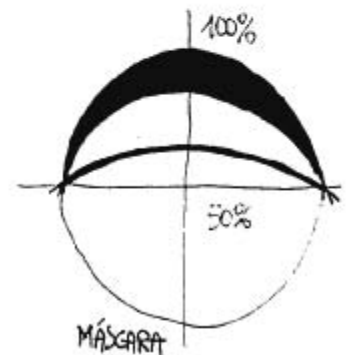
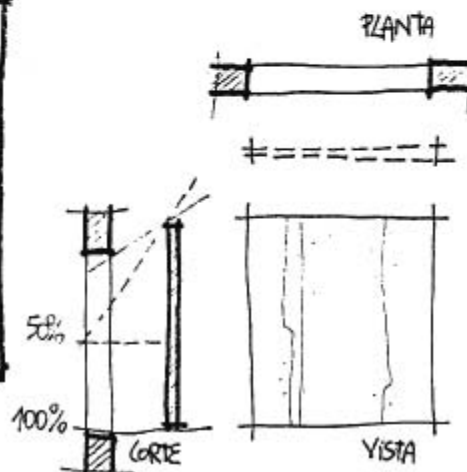
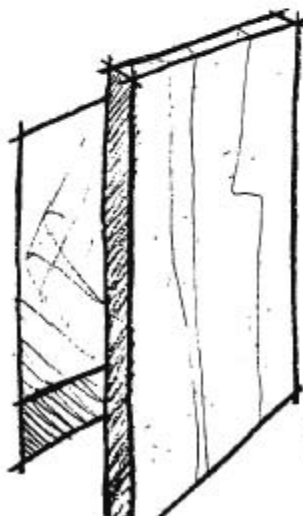
10



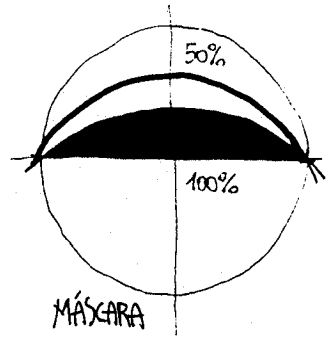
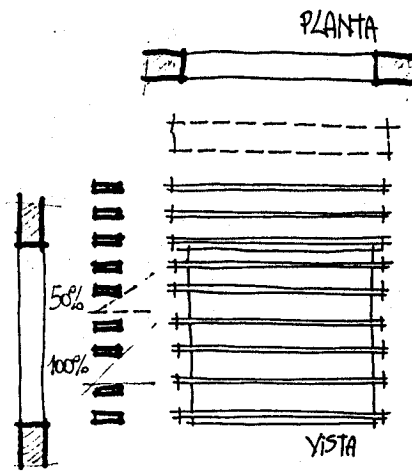
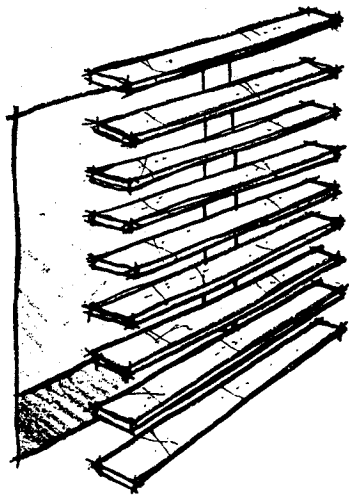
11



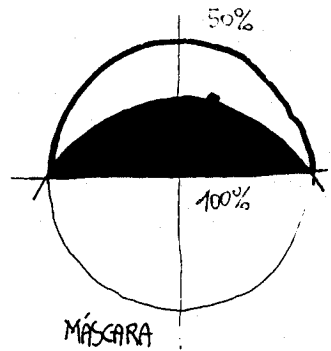
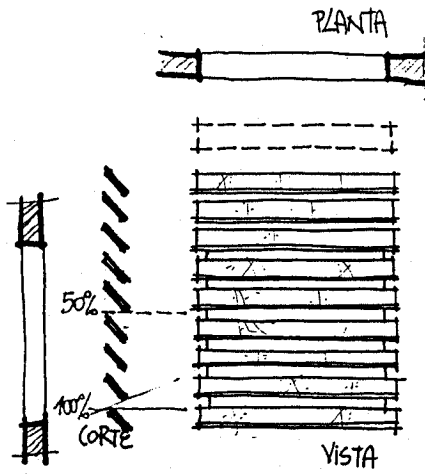
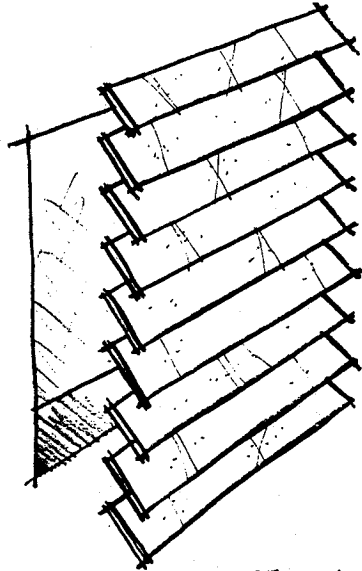
12



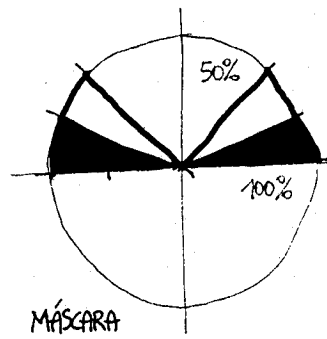
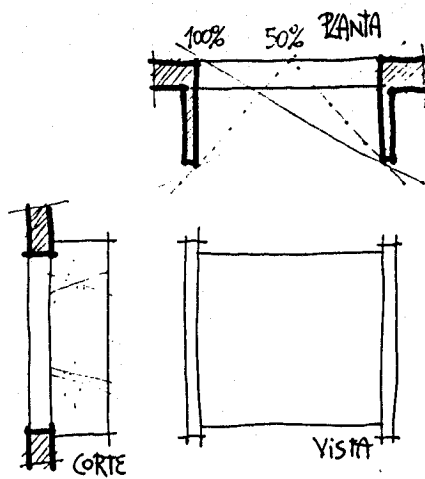
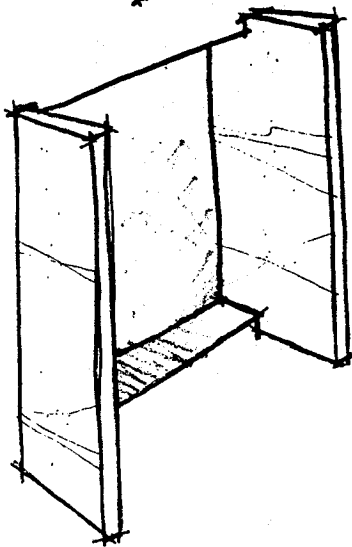
13



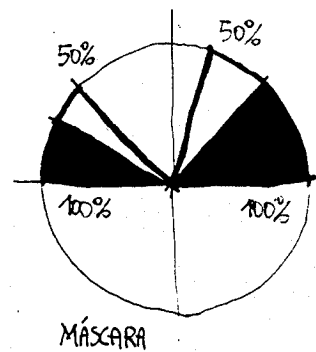
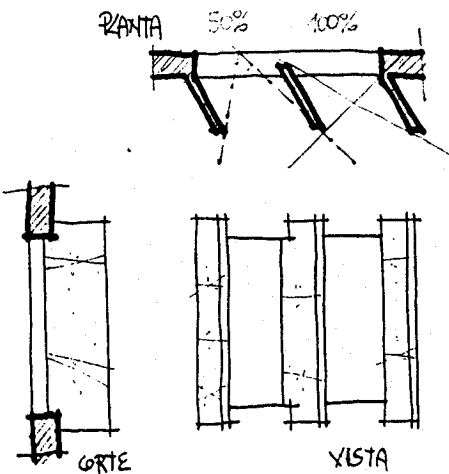
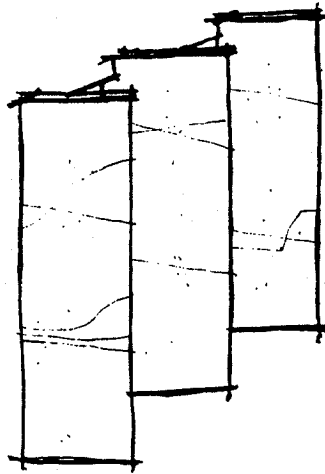
14



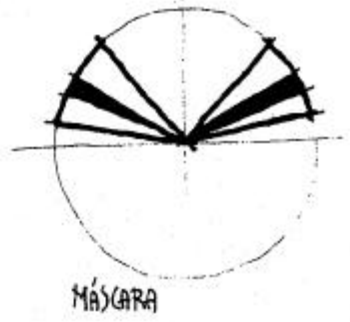
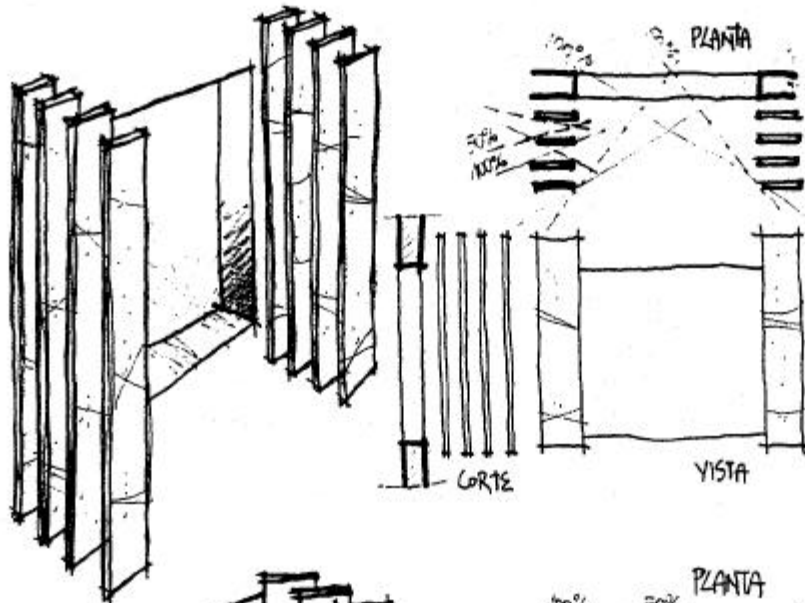
15



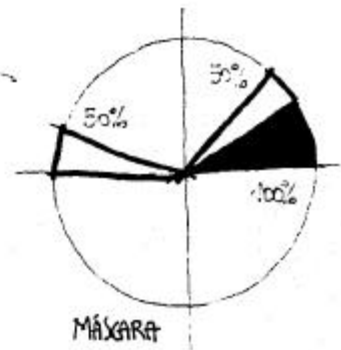
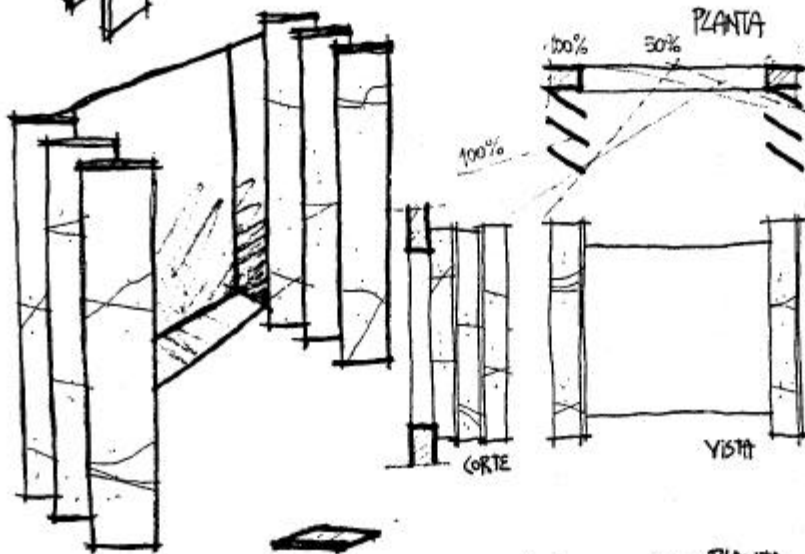
16



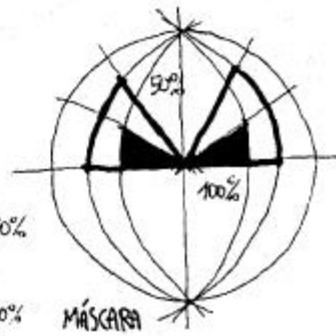
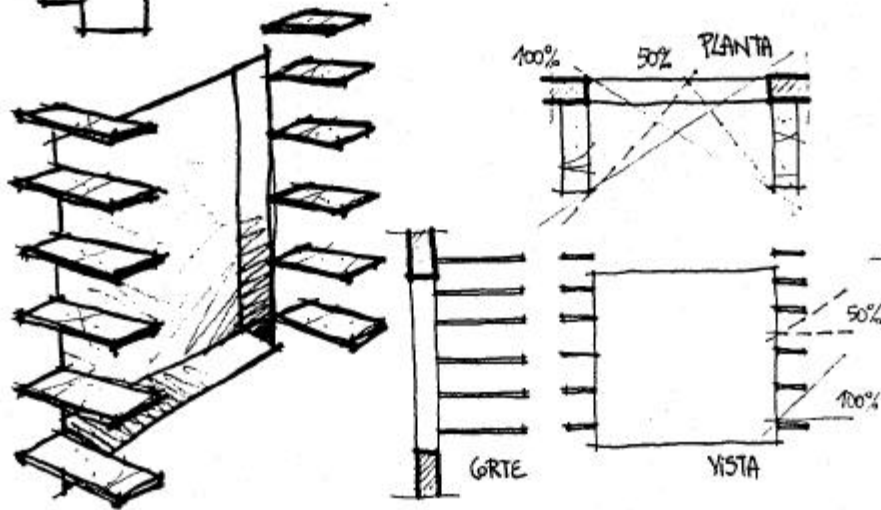
17



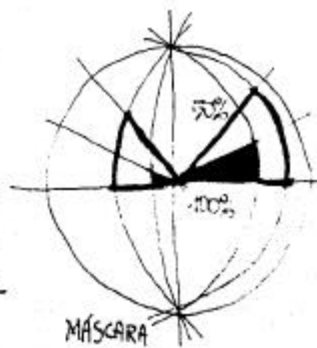
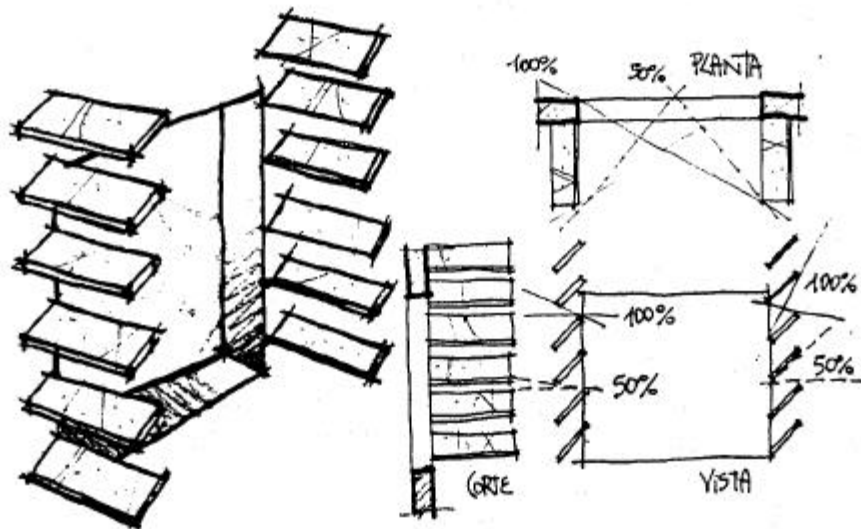
18



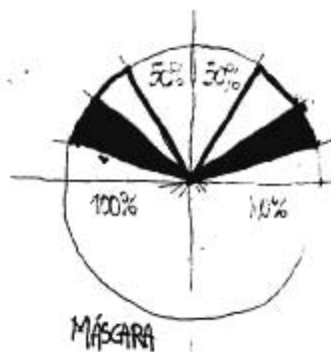
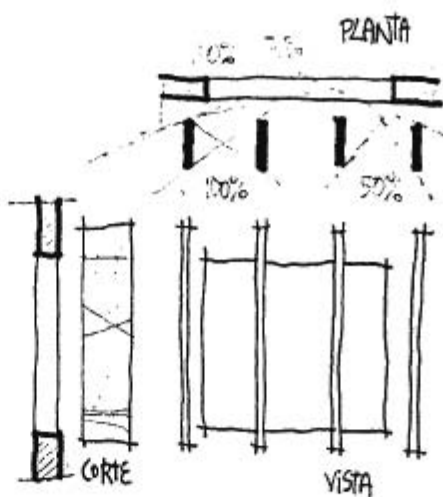
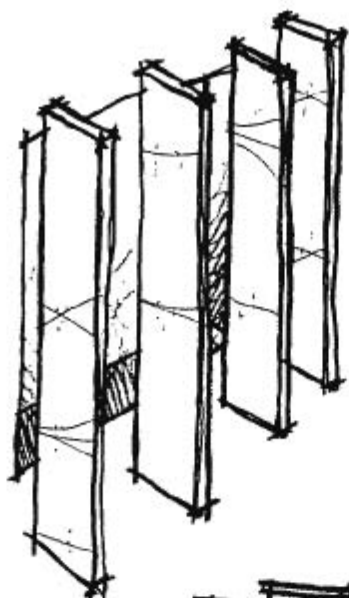
19



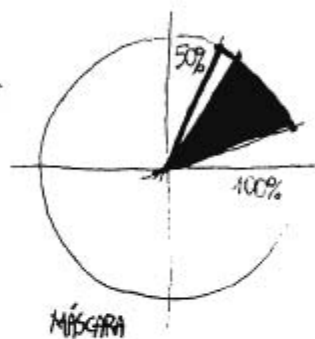
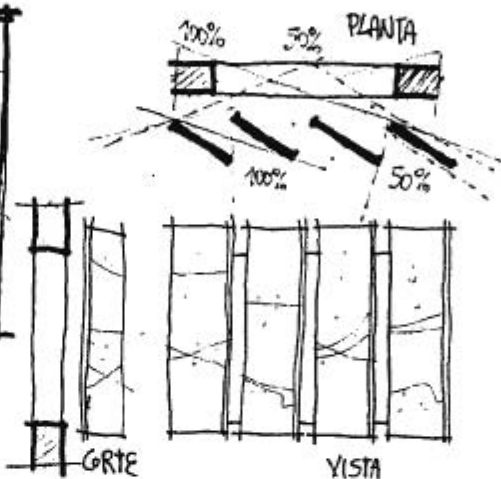
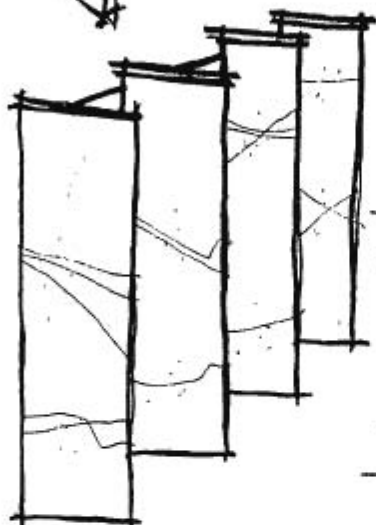
20



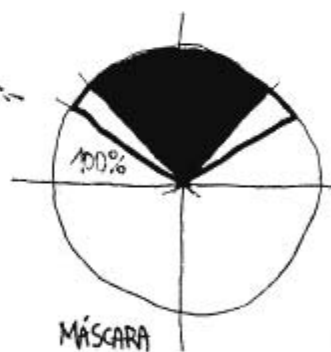
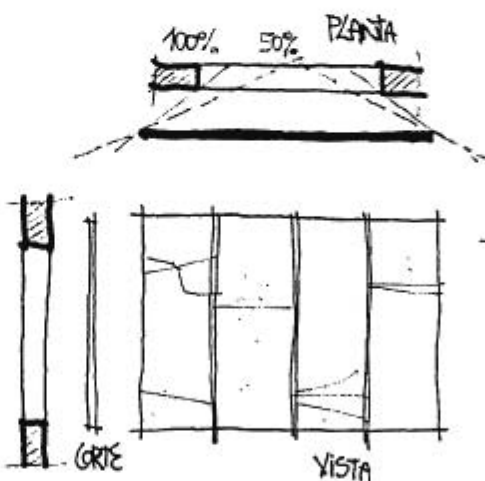
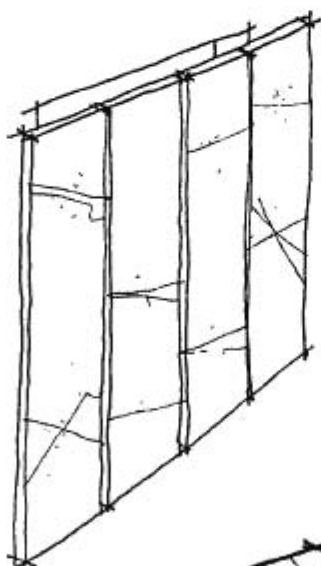
21



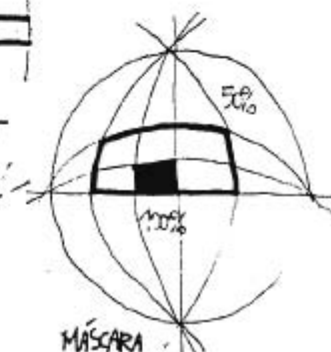
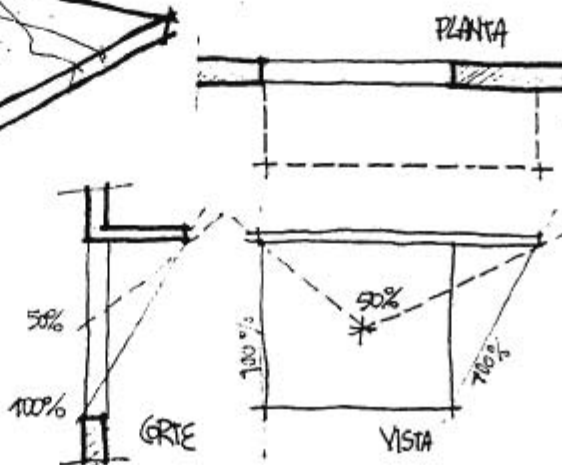
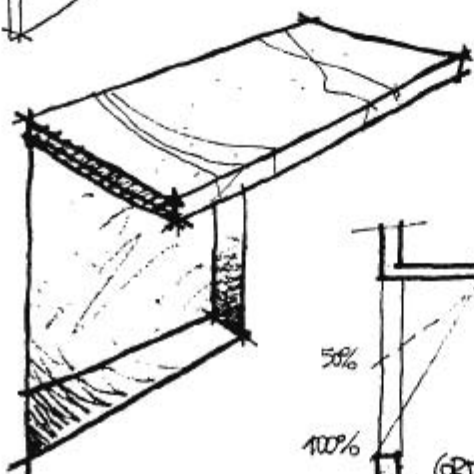
22



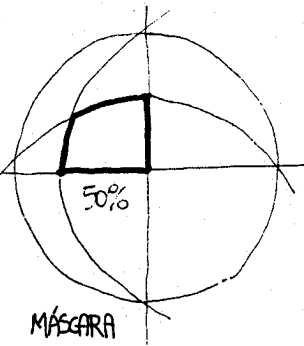
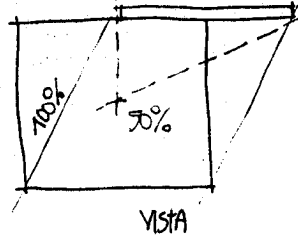
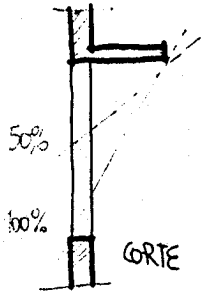
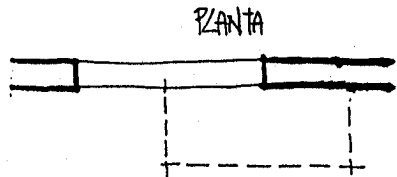
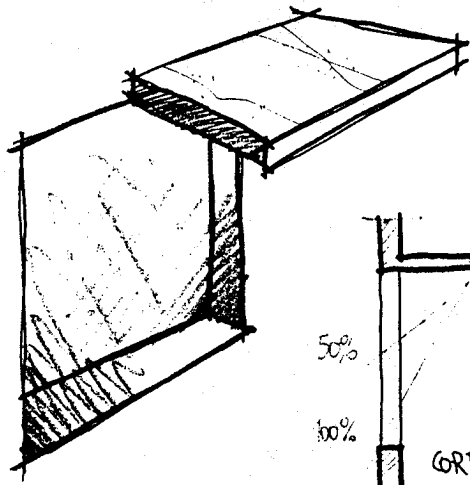
23



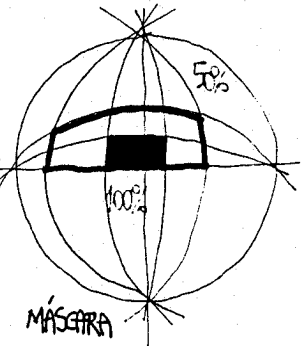
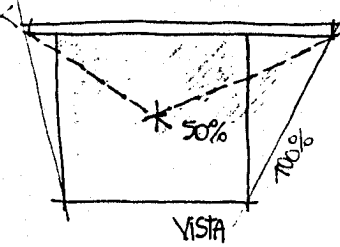
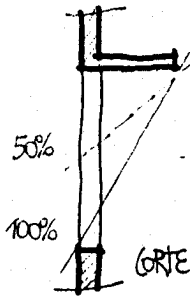
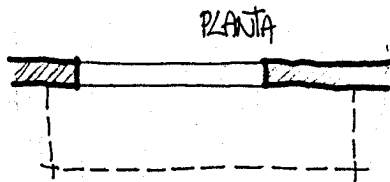
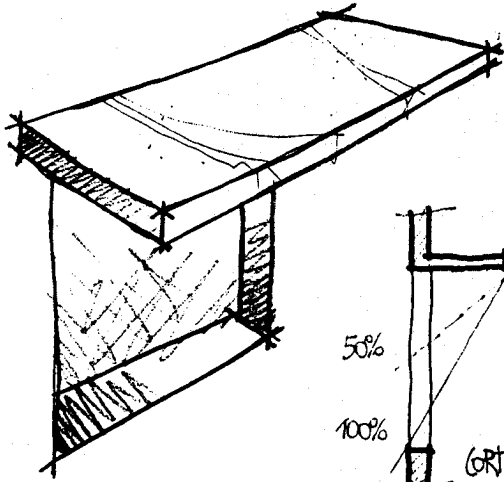
24



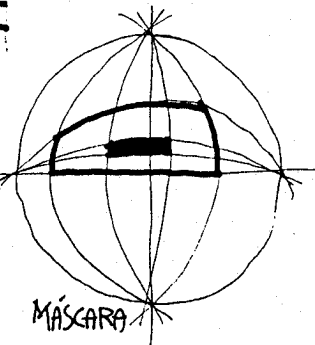
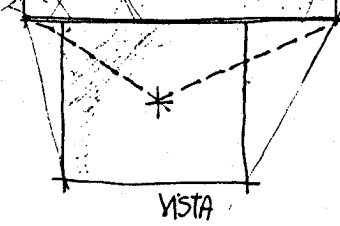
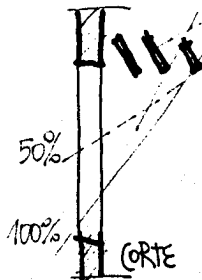
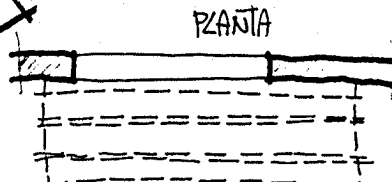
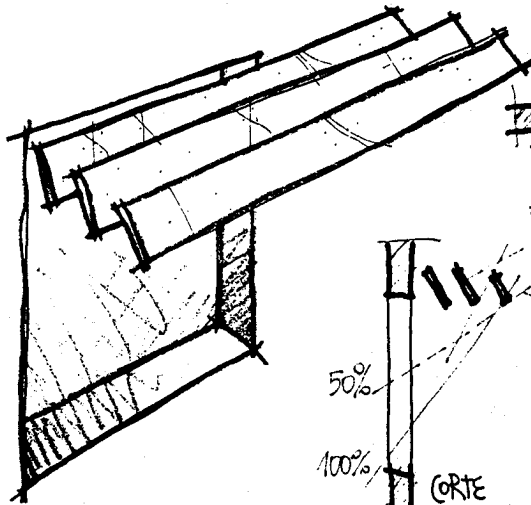
25



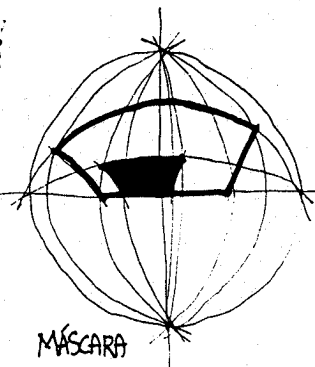
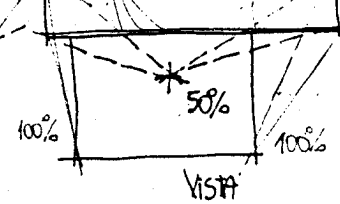
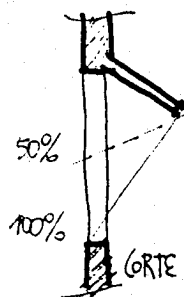
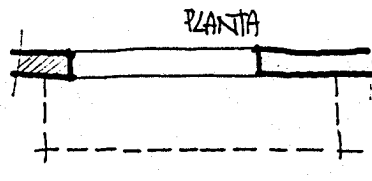
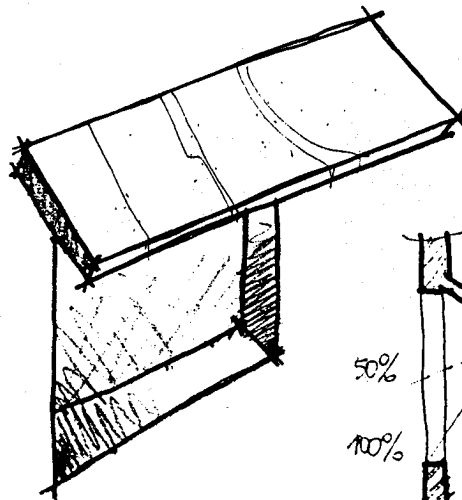
26



27

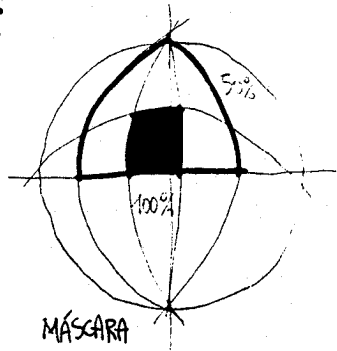
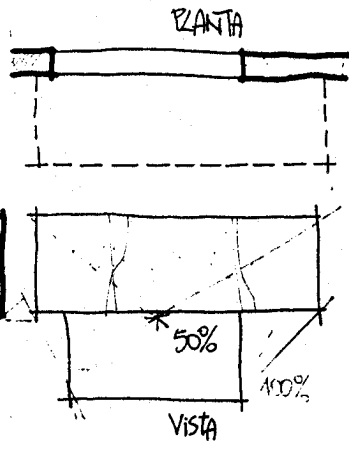
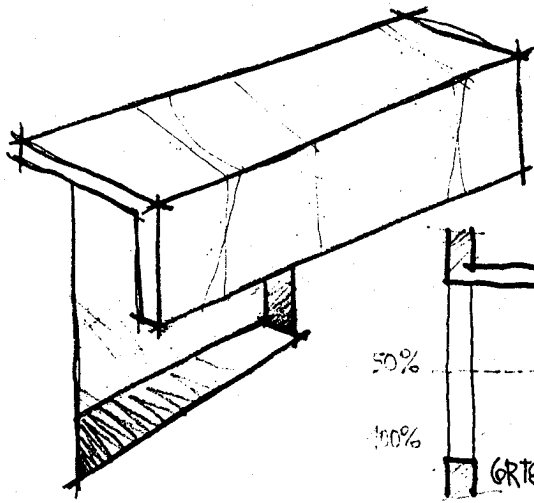


28

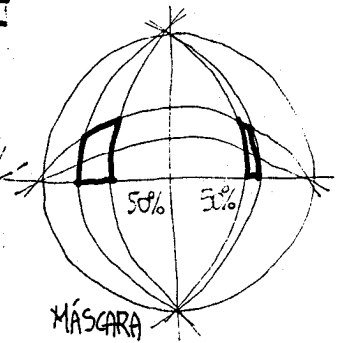
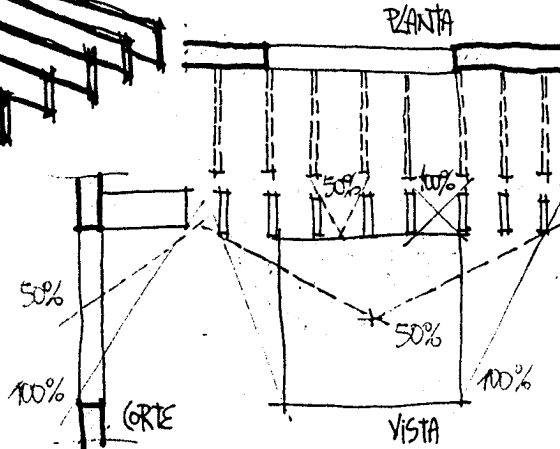
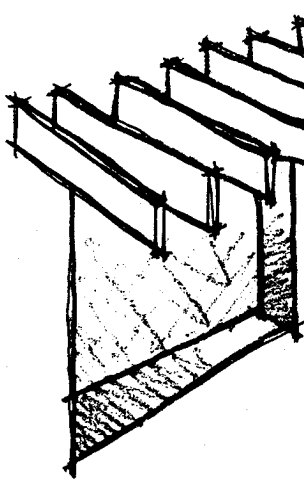




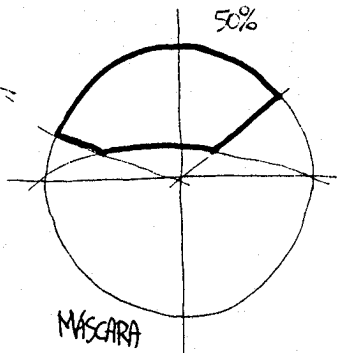
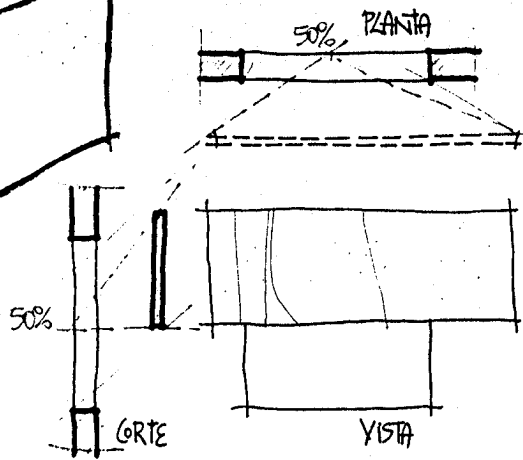
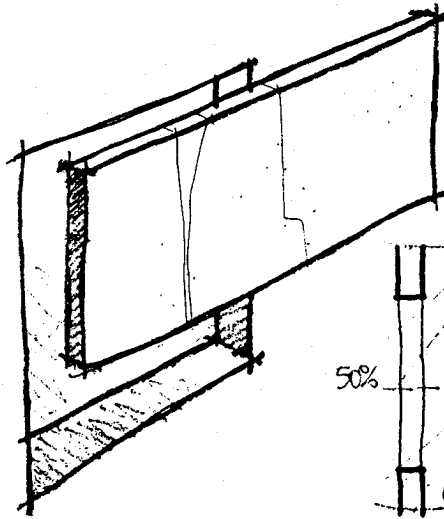
29



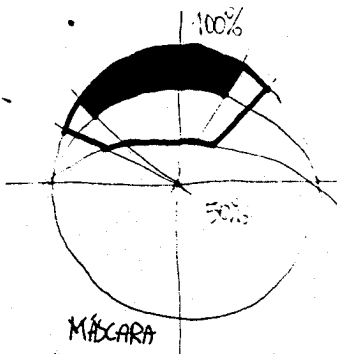
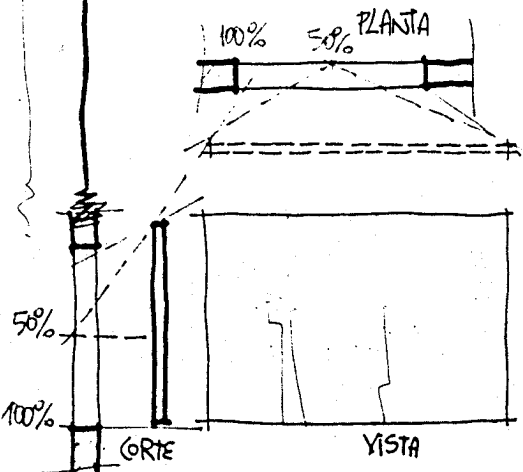
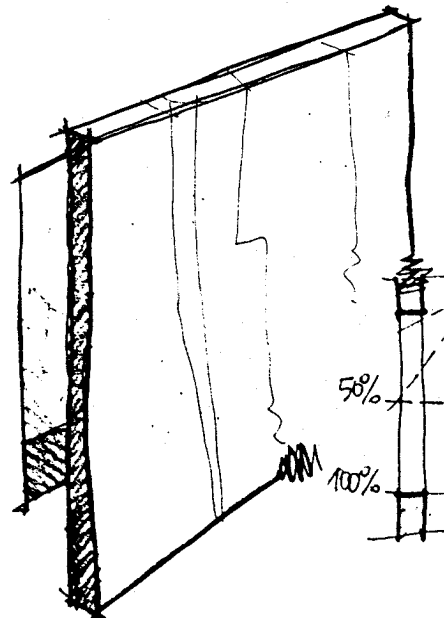
30



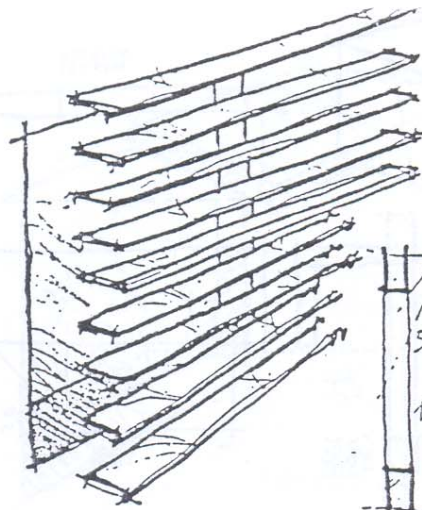
31



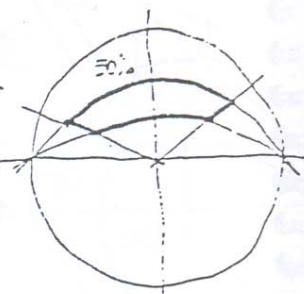
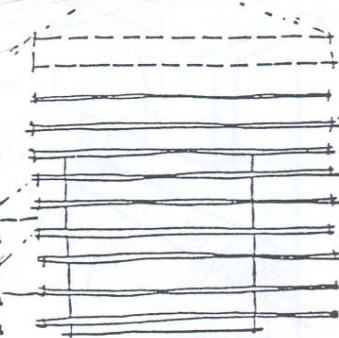
32



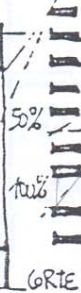
33



100% 50% PLANTA



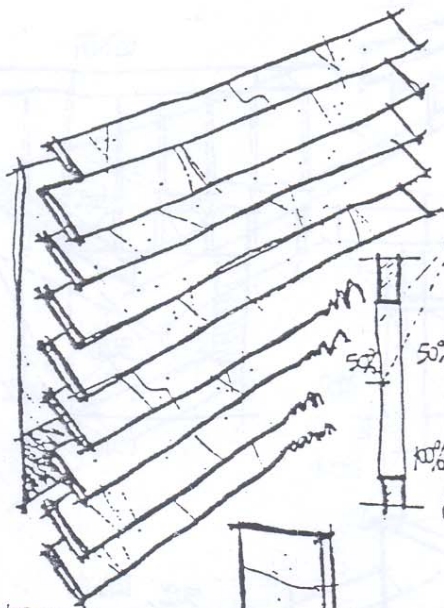
MÁSCARA



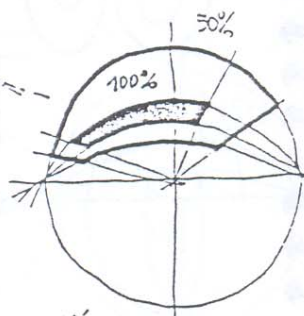
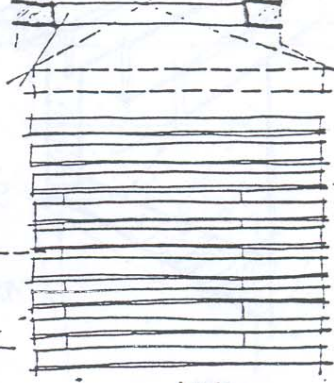
CORTE

VISTA

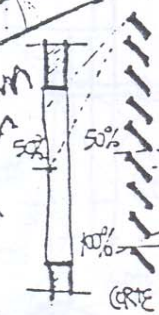
34



100% 50% PLANTA



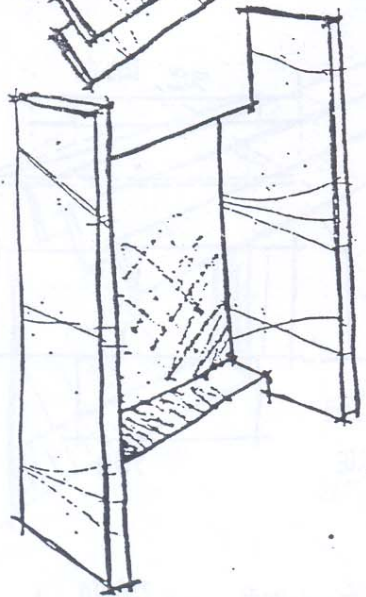
MÁSCARA



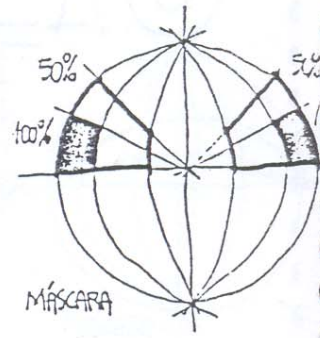
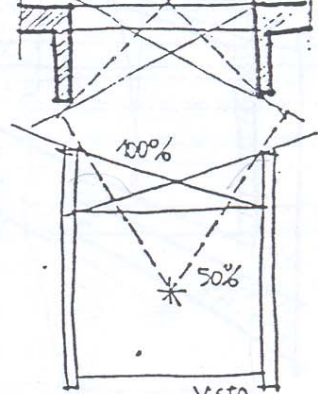
CORTE

VISTA

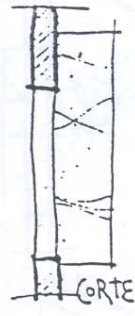
35



100% 50% PLANTA



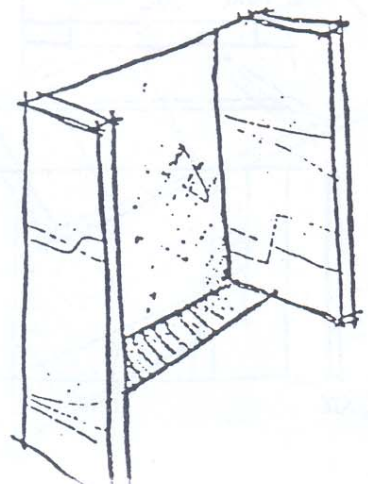
MÁSCARA



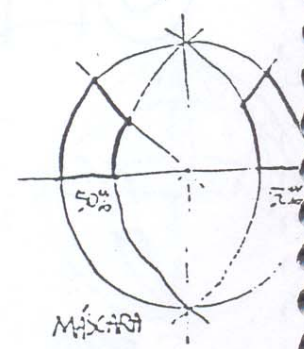
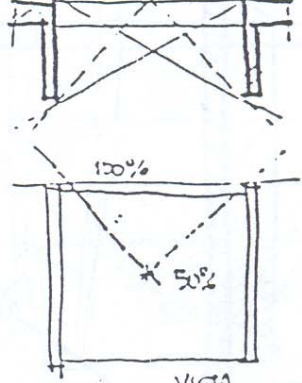
CORTE

VISTA

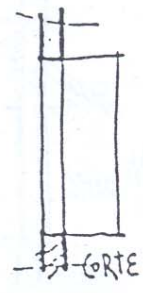
36



100% 50% PLANTA



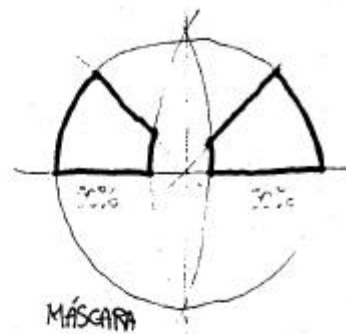
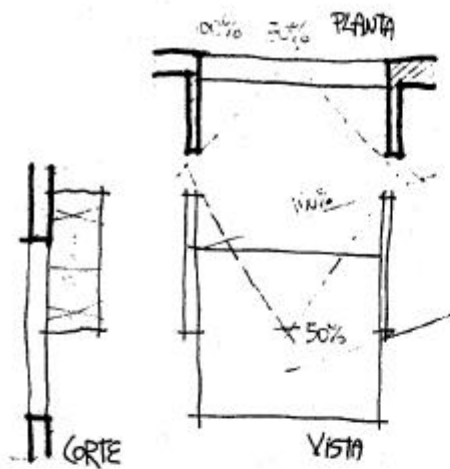
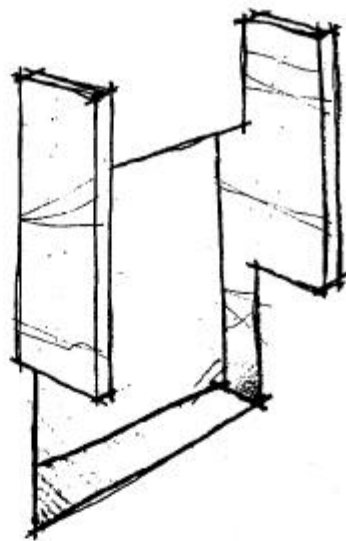
MÁSCARA



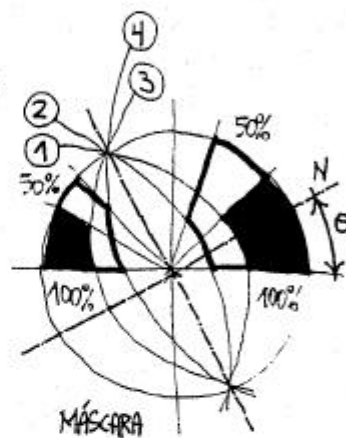
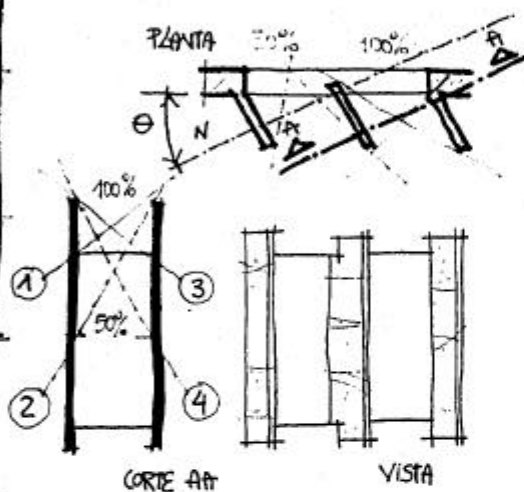
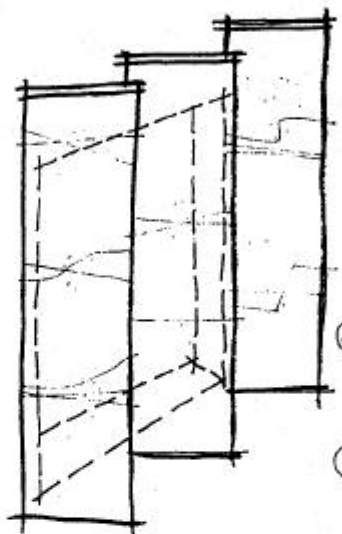
CORTE

VISTA

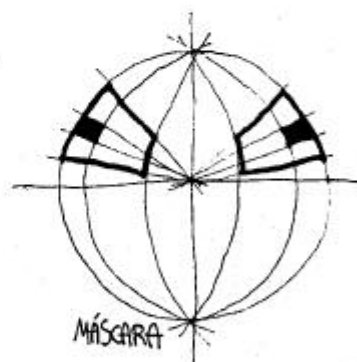
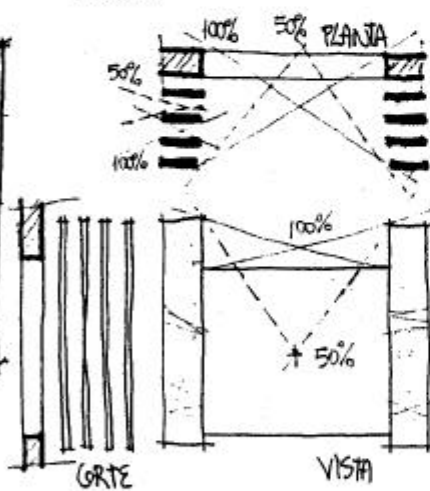
37



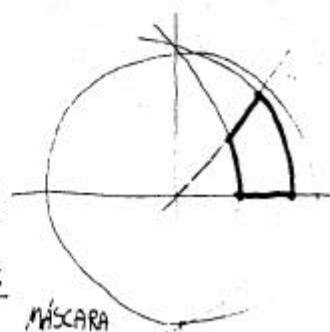
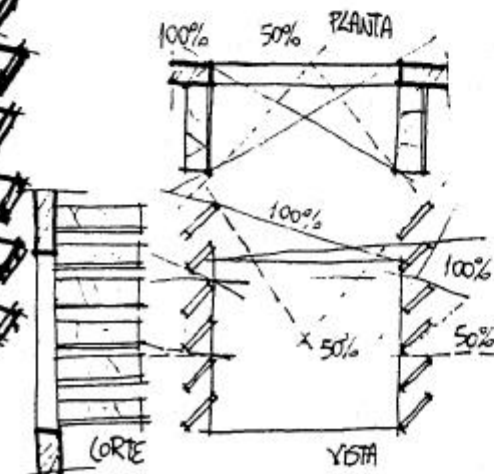
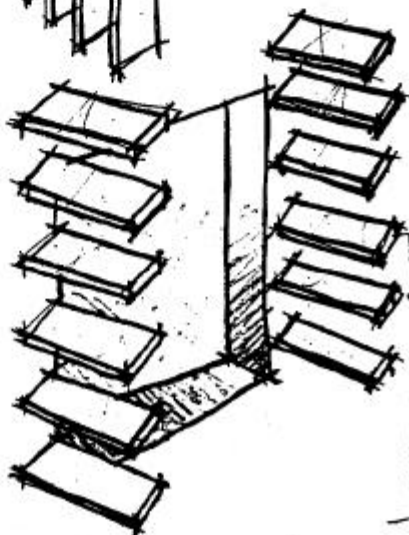
38



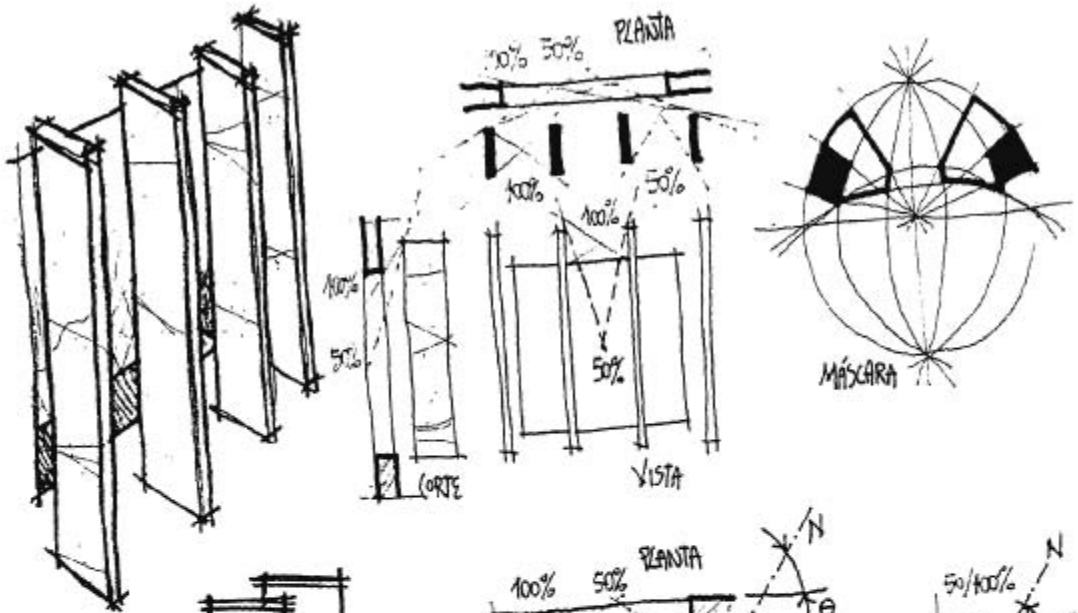
39



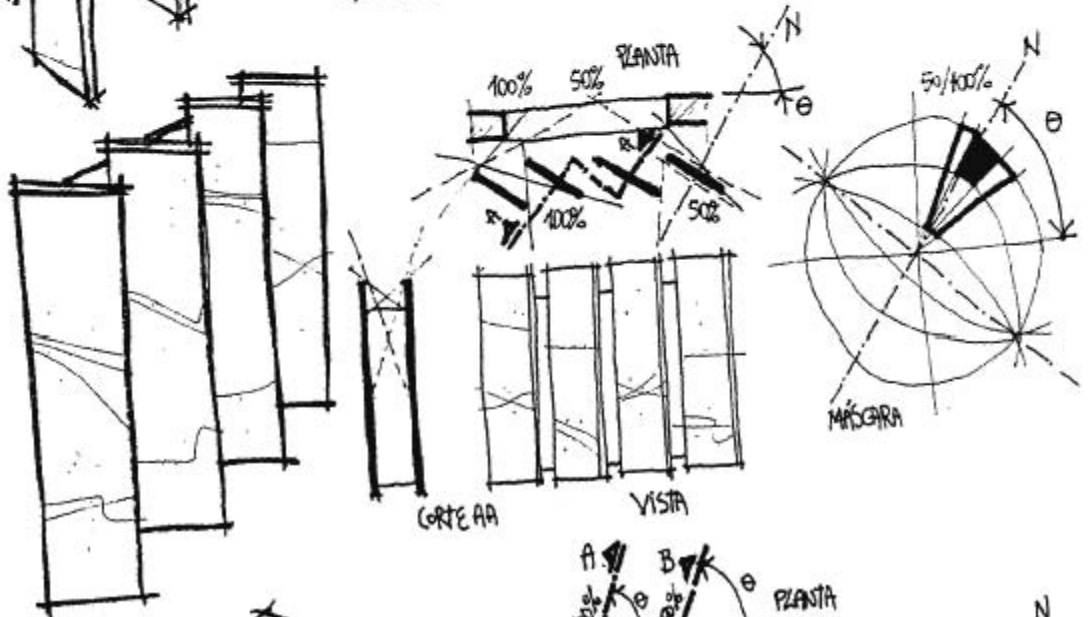
40



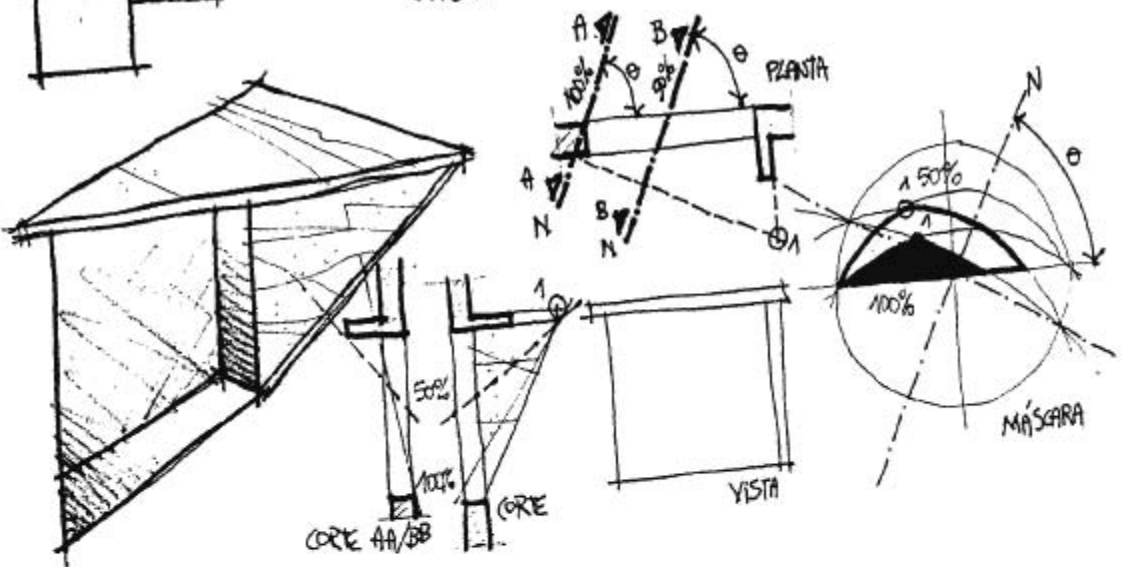
41



42



43



44

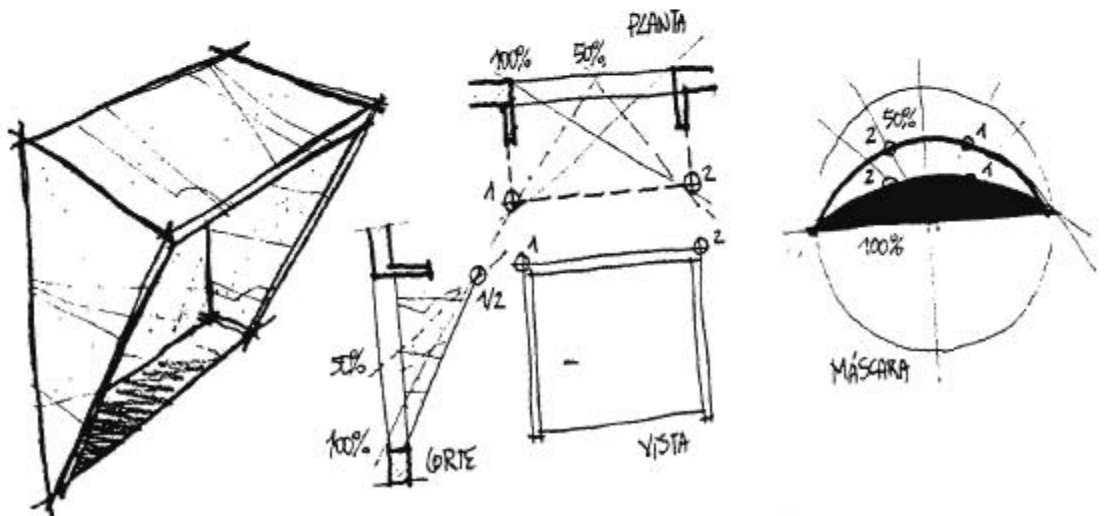
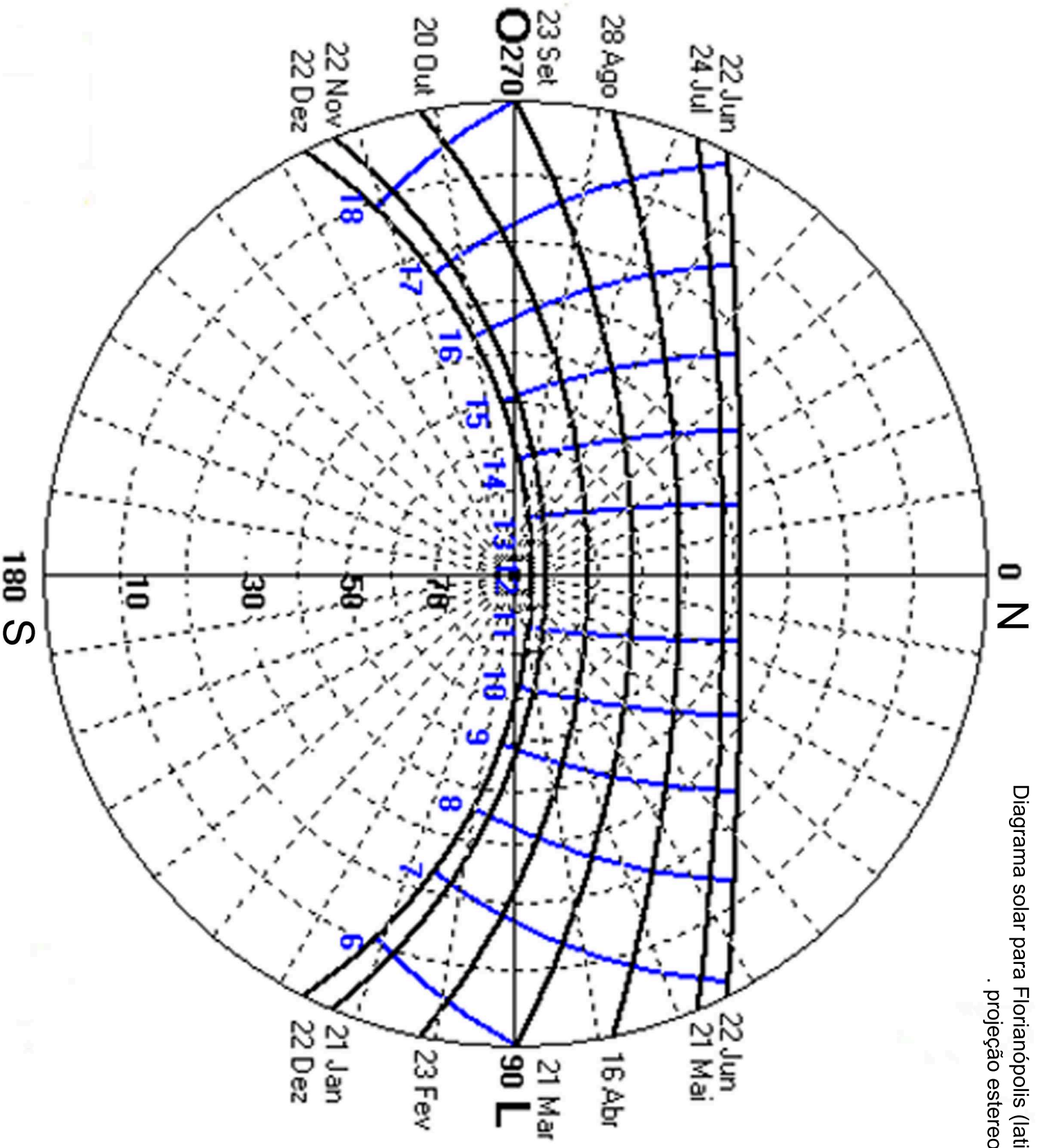
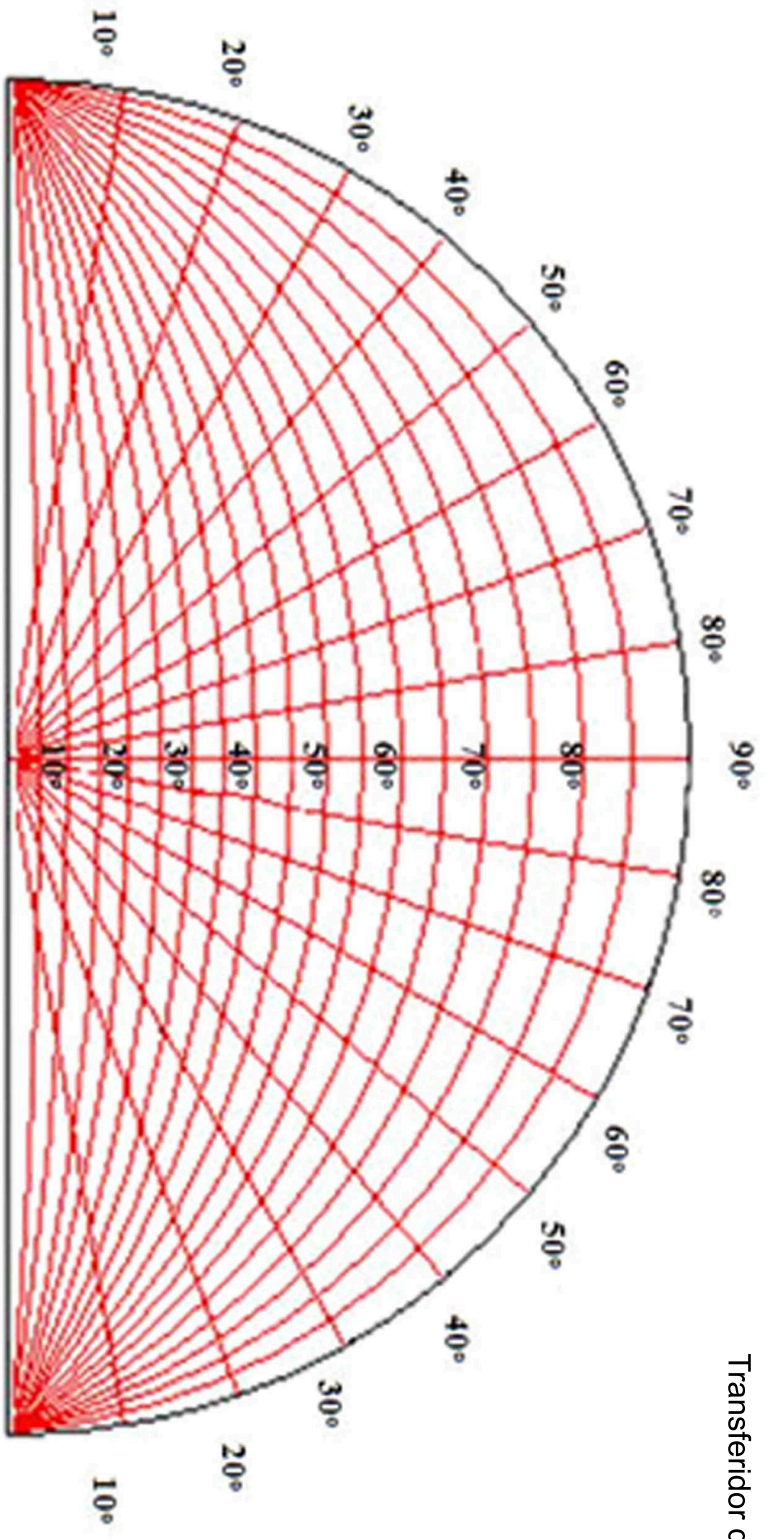


Diagrama solar para Florianópolis (latitude 27  
. projeção estereográfica.



Transferidor de ângulos.



## 4 DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDES E COBERTURAS

### 4.1 DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDES

A condição essencial para a transmissão de calor é que os corpos tenham temperaturas diferentes. A Figura 73 exemplifica esta afirmação.

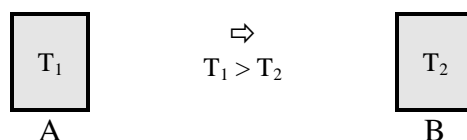


Figura 73. Condição para transferência de calor.

O corpo A cede parte de sua energia térmica, o que provoca uma redução de sua temperatura enquanto que o B, ao assimilar esta energia térmica, aumentará sua temperatura. O processo continua até que as temperaturas se igualem ( $T_1 = T_2$ ), ou seja, até que se atinja o equilíbrio térmico.

Para o caso de paredes, a Figura 74 apresenta o sentido do fluxo de calor em função da diferença de temperatura externa e interna.

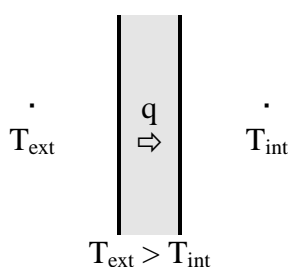


Figura 74. Transferência de calor em uma parede.

Portanto, a equação 5 mostra o fluxo de calor que atravessa a parede.

$$q = U \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) = U \cdot \Delta T \quad (5)$$

Onde

U é a transmitância térmica ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ );

$\Delta T$  é a diferença de temperatura entre os meios externo e interno (K);

q é a densidade de fluxo de calor ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

A transmitância térmica pode ser determinada através dos procedimentos apresentados pelo Projeto 02:135.07-002 (NBR 15220-2/ABNT,2005): *Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações*. Este projeto de norma, bem como o projeto para definições dos termos utilizados são apresentadas nos anexos 2 e 3. No Anexo C do projeto de norma (NBR 15220-2), encontram-se os seguintes exemplos de cálculo para paredes (ver Anexo 3 ao final da apostila):

- Parede de tijolos maciços rebocados em ambas as faces: componente composto por 2

seções: reboco + argamassa + reboco e reboco + tijolo + reboco. Por se tratar de um componente com camadas homogêneas e não homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor, é necessário calcular primeiramente as resistências térmicas de superfície a superfície para cada seção e em seguida calcular a resistências térmicas de superfície a superfície do componente como um todo, utilizando-se a expressão 6 (Ver Anexo 2). Para o cálculo da capacidade térmica, vale a expressão 9 (Ver Anexo 2).

- Parede com blocos de concreto colados, sem reboco: neste exemplo, uma das camadas corresponde à câmara de ar, sendo composto também por 2 seções: concreto (camada homogênea perpendicular ao fluxo de calor) e concreto + câmara de ar + concreto. O cálculo é efetuado de modo semelhante ao exemplo anterior.
- Parede de tijolos cerâmicos de 6 furos rebocados em ambas as faces: neste exemplo, têm-se camadas homogêneas e não homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor. São apresentadas duas possibilidades de cálculo: semelhante aos exemplos anteriores (considerando-se a argamassa e o tijolo ao mesmo tempo) ou calculando-se primeiramente as propriedades térmicas do tijolo para em seguida considerá-lo como uma das camadas da parede (seção composta por reboco + tijolo + reboco);
- Parede dupla com placas de concreto e câmara de ar não ventilada: esta parede possui apenas camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor, sendo constituída, portanto, de uma única seção.

De posse do valor da transmitância térmica total, pode-se efetuar o cálculo do fluxo de calor que incidirá no ambiente interno, dado pela equação 6.

$$\phi = q.A = U.\Delta T.A \quad (6)$$

Porém, o fluxo de calor não é função apenas de  $\Delta T$ . Ele é função, também, da radiação solar incidente na superfície. Assim, antes de incluir a radiação solar nos cálculos (seção 4.3) apresenta-se uma breve revisão das formas de transmissão de calor.

## 4.2 FORMAS DE TRANSMISSÃO DE CALOR

### 4.2.1 Condução

A condução se realiza por contato molecular, ou melhor, por contato entre as moléculas dos corpos. Ocorre em sólidos, líquidos e gases. No entanto, nos fluidos ocorrem fenômenos convectivos que alteram o processo original. Por esta razão, a condução refere-se aos sólidos. Poderá ser relacionada aos fluidos quando não se verificam movimentos convectivos.

### 4.2.2 Convecção

A convecção se verifica quando os corpos estão em contato molecular e um deles, pelo menos, é um fluido. O processo possui duas fases: na primeira o calor se transmite por condução, na segunda, a alteração sofrida pela temperatura do fluido modifica sua densidade provocando o movimento convectivo.

### 4.2.3 Radiação

A radiação ocorre mediante uma dupla transformação da energia: uma parte do calor

---



do corpo com maior temperatura se converte em energia radiante que chega até o corpo com menor temperatura, onde é absorvida numa proporção que depende das propriedades da superfície receptora, sendo novamente transformada em calor.

As propriedades da superfície receptora são representadas pela emissividade  $\epsilon$  (ou poder emissivo) do corpo (Tabela 8).

**Tabela 8. Emissividade de superfícies.**

TIPO DE SUPERFÍCIE	$\epsilon$
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Caiçãõ nova	0,90
Concreto aparente	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico	0,90 / 0,98
Vidro comum de janela	0,90 / 0,95

**Tabela 9. Emissividade de superfícies (cont.).**

TIPO DE SUPERFÍCIE	$\epsilon$
Pintura: - branca	0,90
- amarela	0,90
- verde claro	0,90
- “alumínio”	0,50
verde escuro	0,90
- vermelha	0,90
- preta	0,90

Fonte: Projeto de Norma da ABNT 02:135.07-002 (1998)

A emissividade está relacionada à fontes de baixa temperatura (ondas longas). Quando a superfície está exposta à radiação solar (fonte de alta temperatura – onda curta) as propriedades desta superfície são representadas pela absorvidade  $\alpha$  (Tabela 8).

#### 4.2.4 Condensação

O ar, a uma temperatura determinada, pode conter apenas uma certa quantidade de vapor d’água. Esta quantidade aumenta à medida que aumenta a temperatura do ar. Quando se atinge o valor máximo de vapor d’água no ar diz-se que o ar está saturado e atingiu-se a temperatura de orvalho. Deste modo, qualquer redução em relação a este valor significará o começo da condensação.

### 4.3 COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS OPACOS DIANTE DA RADIAÇÃO SOLAR

Quando a energia radiante incide sobre um corpo opaco ela é absorvida ou refletida, como pode-se observar na Figura 75.

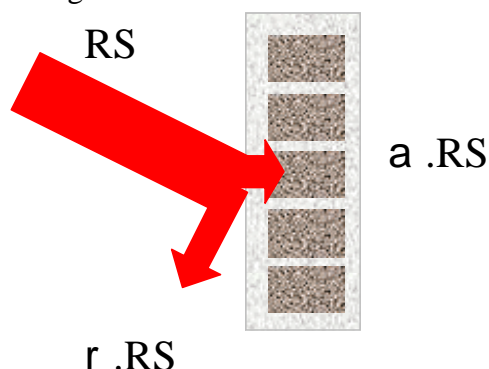


Figura 75. Radiação solar em superfícies opacas.

A equação 7 mostra o balanço térmico para a Figura 75.

$$\alpha \cdot RS + \rho \cdot RS = RS \Rightarrow \alpha + \rho = 1 \quad (7)$$

Onde

RS é a radiação total incidente na superfície ( $\text{W}/\text{m}^2$ );

$\alpha$  é a absortividade solar (função da cor);

$\rho$  é a refletividade solar.

A Tabela 10 apresenta a absortividade para alguns materiais utilizados na construção civil e algumas cores.

Tabela 10. Absortividade de cores e superfícies.

TIPO DE SUPERFÍCIE	$\alpha$
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Caiação nova	0,12 / 0,15
Concreto aparente	0,65 / 0,80
Telha de barro	0,75 / 0,80
Tijolo aparente	0,65 / 0,80
Reboco claro	0,30 / 0,50
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98
Vidro comum de janela	Transparente

Pintura:	- branca	0,20
	- amarela	0,30
	- verde claro	0,40
	- “alumínio”	0,40
	verde escuro	0,70
	- vermelha	0,74
	- preta	0,97

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2005)

A energia radiante absorvida se transforma em energia térmica ou calor; a energia refletida não sofre modificação alguma. Desta forma, a radiação solar será incluída no cálculo do fluxo de calor através de uma temperatura equivalente ou, como é comumente chamada, temperatura sol-ar. Portanto, a equação 6 pode ser reescrita na forma da equação 8.

$$\phi = U \cdot \Delta T \cdot A = U \cdot A \cdot (T_{\text{sol-ar}} - T_{\text{int}}) \quad (8)$$

A temperatura sol-ar ( $T_{\text{sol-ar}}$ ) representa o efeito combinado da radiação solar incidente no fechamento e dos intercâmbios de energia por radiação e convecção entre a superfície e o meio envolvente; nestes processos intervêm o coeficiente de absorção ( $\alpha$ ) e a emissividade ( $\epsilon$ ) do material. A temperatura sol-ar é dada pela equação 9.

$$T_{\text{sol-ar}} = T_{\text{ext}} + \alpha \cdot RS \cdot R_{\text{se}} - \epsilon \cdot \Delta R_L \cdot R_{\text{se}} \quad (9)$$

Onde

RS é a radiação total incidente na superfície ( $\text{W}/\text{m}^2$ );

$R_{\text{se}}$  é a resistência superficial externa; representa as trocas de calor por convecção e radiação entre a superfície e o meio;

$\Delta R_L$  é a diferença entre a radiação de onda longa emitida e recebida pela superfície.

Para planos verticais, a diferença entre a radiação de onda longa emitida e recebida pela superfície ( $\Delta R_L$ ) é nula pois as perdas ficam compensadas pela radiação de onda longa recebida do solo e das superfícies do meio. Portanto, para paredes, a equação 9 pode ser reescrita na forma da equação 10.

$$T_{\text{sol-ar}} = T_{\text{ext}} + \alpha \cdot RS \cdot R_{\text{se}} \quad (10)$$

Assim, substituindo-se a temperatura sol-ar na equação 8, o fluxo de calor em planos verticais (paredes) será dado pela equação 11.

$$\phi = U \cdot A \cdot (T_{\text{ext}} + \alpha \cdot RS \cdot R_{\text{se}} - T_{\text{int}}) \quad (11)$$

No Projeto de Norma do anexo 3 são apresentados exemplos da transmitância térmica ( $U$ ), a capacidade térmica ( $C_T$ ) e o atraso térmico ( $\phi$ ) de paredes comumente utilizadas em edificações brasileiras. As características térmicas dos materiais, fórmulas e exemplos de cálculo são apresentados no Projeto de Norma do anexo 2.

#### 4.4 DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS

Para planos horizontais, como coberturas, o termo  $\varepsilon \Delta R_L R_{se}$ , segundo dados experimentais, é igual a  $4^\circ\text{C}$ , visto que as camadas altas da atmosfera têm sempre uma baixa temperatura fazendo com que estes planos percam permanentemente energia por radiação. Portanto, para coberturas, a equação 9 pode ser reescrita na forma da equação 12.

$$T_{\text{sol-ar}} = T_{\text{ext}} + \alpha \cdot RS \cdot R_{se} - 4 \quad (12)$$

Esta subtração de  $4^\circ\text{C}$  também se aplica durante o período noturno. A condensação da umidade atmosférica é facilmente percebida nestas superfícies horizontais devido as perdas de calor por radiação.

Assim, substituindo-se a temperatura sol-ar (equação 12) na equação 8, o fluxo de calor em planos horizontais (coberturas) será dado pela equação 13.

$$\phi = U \cdot A \cdot (T_{\text{ext}} + \alpha \cdot RS \cdot R_{se} - 4 - T_{\text{int}}) \quad (13)$$

Exemplos de transmitância (U), capacidade térmica ( $C_T$ ), e o atraso térmico ( $\phi$ ) de coberturas são apresentados no Projeto 02:135.07-003 (Anexo D da NBR 15220-3/ ABNT 2005), no anexo 3 ao final desta apostila. As características térmicas dos materiais, fórmulas e exemplos de cálculo são apresentados no Projeto de Norma 02:135.07-002 (NBR 15220-2/ ABNT, 2005).

Os exemplos de cálculo descritos no Anexo C da NBR 15220-2, os quais são reproduzidos no Anexo 2 desta apostila, são os seguintes:

- Telhado inclinado com chapas de fibrocimento com fôrro de pinus e câmara de ar ventilada;
- Telhado inclinado com chapas de fibrocimento com fôrro de pinus, lâmina de alumínio polido e câmara de ar ventilada: neste exemplo, pode-se perceber a redução na transmitância térmica da cobertura resultante do emprego de uma barreira radiante: o alumínio.

Duas observações devem ser consideradas:

- As transmitâncias térmicas e os atrasos térmicos das coberturas são calculados para condições de verão.
- A semelhança entre a transmitância térmica da cobertura com telha de barro e aquela com telha de fibro-cimento se deve ao fato da condutividade térmica do material cerâmico não expressar a sua capacidade de absorção d'água (de chuva ou de condensação) devido a sua porosidade. Este fenômeno contribui para a redução da taxa de fluxo de calor para o interior da edificação, pois parte deste calor será dissipado no aquecimento e evaporação da água contida nos poros da telha.

A Tabela 11 apresenta a radiação solar (RS) incidente em diferentes orientações e em diferentes horas do dia para o dia 22 de dezembro na latitude  $30^\circ$  Sul. Informações para outras latitudes ou outros períodos do ano podem ser obtidas em **FROTA & SCHIFFER (1995)**, no programa Radiasol ([www.solar.ufrgs.br](http://www.solar.ufrgs.br)). Já dados horários em planos horizontais ou normais à superfícies podem ser obtidos para algumas cidades nos arquivos climáticos disponíveis no site do LabEEEE ([www.labeeee.ufsc.br](http://www.labeeee.ufsc.br)).

**Tabela 11. Radiação solar incidente em planos verticais e horizontais para o dia 22 de dezembro na latitude 30° Sul segundo FROTA & SCHIFFER (1995).**

Orientação	Radiação solar (W/m <sup>2</sup> )												
	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h
Sul	142	188	143	78	63	68	65	68	63	78	143	188	142
Sudeste	330	563	586	502	345	116	65	68	63	58	50	43	25
Leste	340	633	715	667	517	309	65	68	63	58	50	43	25
Nordeste	165	357	456	475	422	311	146	68	63	58	50	43	25
Norte	25	43	50	58	117	170	179	170	117	58	50	43	25
Noroeste	25	43	50	58	63	68	146	311	422	475	456	357	165
Oeste	25	43	50	58	63	68	65	309	517	667	715	633	340
Sudoeste	25	43	50	58	63	68	65	116	345	502	586	563	330
Horizontal	114	345	588	804	985	1099	1134	1099	985	804	588	345	114

#### 4.5 Exemplo

a) Dada uma parede com transmitância térmica de 2,00 W/m<sup>2</sup>K, orientada a oeste (latitude 30° Sul) com pintura externa na cor branca, determinar o fluxo de calor para a pior situação de verão. A temperatura externa é de 30°C e a interna de 25°C. A parede tem dimensões de 5,00 x 3,00 m.

Solução

O fluxo de calor é dado pela equação:

$$\phi = U \cdot A \cdot (T_{\text{ext}} + \alpha \cdot R_s \cdot R_{\text{se}} - T_{\text{int}})$$

Assume-se  $\alpha = 0,3$  (parede branca);

$R_{\text{se}} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  (tabela 1 do anexo 2);

$R_s = 715 \text{ W/m}^2$  (às 16 horas – tabela 8).

Portanto, o fluxo de calor será:

$$\phi = 2,00 \cdot 5,00 \cdot 3,00 \cdot (30 + 0,3 \cdot 715 \cdot 0,04 - 25) = 407,4 \text{ W.}$$

b) O mesmo problema anterior com parede na cor preta.

Solução

Nesta nova situação, a única variável alterada é a absorvidade, que para a parede preta será assumida igual a 0,8. Portanto, teremos:

$$\phi = 2,00 \cdot 5,00 \cdot 3,00 \cdot (30 + 0,8 \cdot 715 \cdot 0,04 - 25) = 836,4 \text{ W.}$$

c) Tem-se uma parede de cor branca com transmitância térmica de 3,00 W/m<sup>2</sup>K. Determinar a transmitância que deve ter uma parede equivalente quando pintada de preto para que a densidade de fluxo de calor (W/m<sup>2</sup>) seja a mesma. Orientação leste. Latitude 30° Sul. Pior situação de verão.

## Solução

$$\begin{aligned}
 &\text{Parede branca} \\
 &U = 3,00 \text{ W/m}^2\text{K} \\
 &\alpha = 0,3 \\
 &RS = 715 \text{ W/m}^2 \\
 &R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W} \\
 &T_{ext} = 30^\circ\text{C} \\
 &T_{int} = 20^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Parede preta} \\
 &4.5.1.1.1 \quad U = ? \\
 &\alpha = 0,8 \\
 &RS = 715 \text{ W/m}^2 \\
 &R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W} \\
 &T_{ext} = 30^\circ\text{C} \\
 &T_{int} = 20^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Temos que:

$$q = U \cdot (T_{ext} + \alpha \cdot RS \cdot R_{se} - T_{int})$$

Para a parede branca, temos:

$$q_b = 3,00 \cdot (30 + 0,3 \cdot 715 \cdot 0,04 - 20)$$

Para a parede preta, temos:

$$q_p = U \cdot (30 + 0,8 \cdot 715 \cdot 0,04 - 20)$$

Para a situação proposta, a densidade de fluxo de calor deve ser a mesma para as duas situações. Portanto,

$$q_b = q_p \Rightarrow 3,00 \cdot (30 + 0,3 \cdot 715 \cdot 0,04 - 20) = U \cdot (30 + 0,8 \cdot 715 \cdot 0,04 - 20) \Rightarrow U = 1,46 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

d) Determinar a espessura de cada uma das paredes do exemplo c, supondo-as de concreto maciço ( $\lambda_{\text{concreto}} = 1,75 \text{ W/mK}$ ).

## Solução

Parede branca:

$$U = 3,00 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_T = 1/U = 1/3,00 = 0,3333 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

$$\text{onde } R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Logo,

$$R_t = 0,3333 - 0,13 - 0,04 = 0,1633 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Por definição, temos:

$$R_t = e/\lambda \Rightarrow e = R_t \cdot \lambda = 0,1633 \cdot 1,75 = 0,30 \text{ m} = 30 \text{ cm}.$$

Parede preta:

$$U = 1,46 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_T = 1/U = 1/1,46 = 0,6849 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

$$\text{onde } R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Logo,

$$R_t = 0,6849 - 0,13 - 0,04 = 0,5149 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Por definição, temos:

$$R_t = e/\lambda \Rightarrow e = R_t \cdot \lambda = 0,5149 \cdot 1,75 = 0,90 \text{ m} = 90 \text{ cm}.$$

e) Uma cobertura com telhas de fibro-cimento e forro de pinus apresenta uma transmitância térmica de  $2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$  para a situação de verão. Latitude  $30^\circ\text{Sul}$ . Área =  $28,00 \text{ m}^2$ . Determinar o fluxo de calor para o horário de máxima radiação solar. Admitir temperatura externa e interna iguais.

Solução

O fluxo de calor é dado pela equação:

$$\phi = U.A.(T_{\text{ext}} + \alpha.RS.R_{\text{se}} - 4 - T_{\text{int}})$$

Assume-se  $\alpha = 0,8$  (fibro-cimento escurecido pelo tempo);

$R_{\text{se}} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  (tabela 1 do anexo 2);

$RS = 1134 \text{ W/m}^2$  (às 12 horas – tabela 8).

Portanto, o fluxo de calor será:

$$\phi = 2,00.28,00.(0,8.1134.0,04 - 4) = 1808 \text{ W}.$$

## 4.6 TERMOGRAFIA

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. Nas imagens a seguir apresentam-se alguns exemplos dessas imagens.

Diferentes orientações de fachada:



Figura 76. Diferentes orientações de fachada

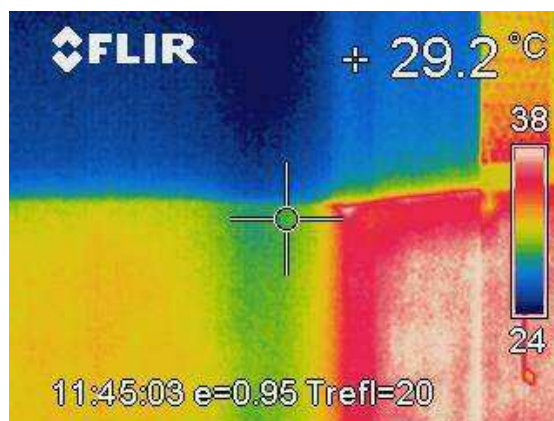


Figura 77. Termografia diferentes orientações de fachada

## Diferentes tintas na fachada exterior 1



Figura 78. Diferentes tintas na fachada exterior 1

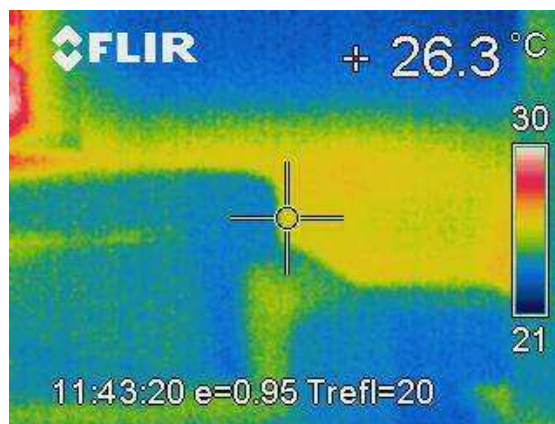


Figura 79. Termografia diferentes tintas na fachada exterior 1

## Diferentes tintas na fachada exterior 2



Figura 80. Diferentes tintas na fachada exterior 2

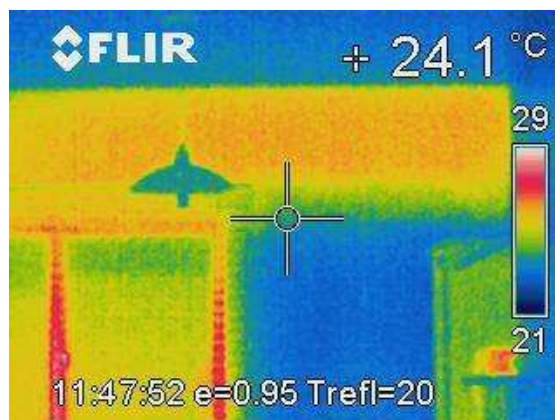


Figura 81. Termografia diferentes tintas na fachada exterior 2

## Diferentes cores no telhado



Figura 82. Diferentes cores no telhado

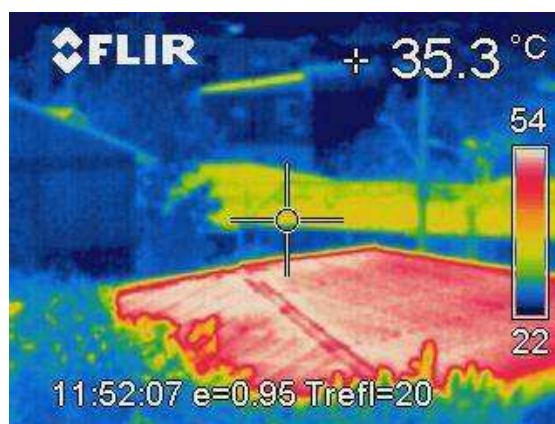


Figura 83. Termografia diferentes cores no telhado



## 5 DESEMPENHO TÉRMICO DE JANELAS

Os vidros são materiais transparentes às radiações visíveis e permitem a iluminação natural do espaço interior estabelecendo uma conexão visual com o exterior. Porém, podem gerar problemas térmicos, acústicos e econômicos.

Quando a energia radiante incide sobre uma superfície transparente ela é absorvida, refletida ou transmitida como se pode observar na Figura 84.

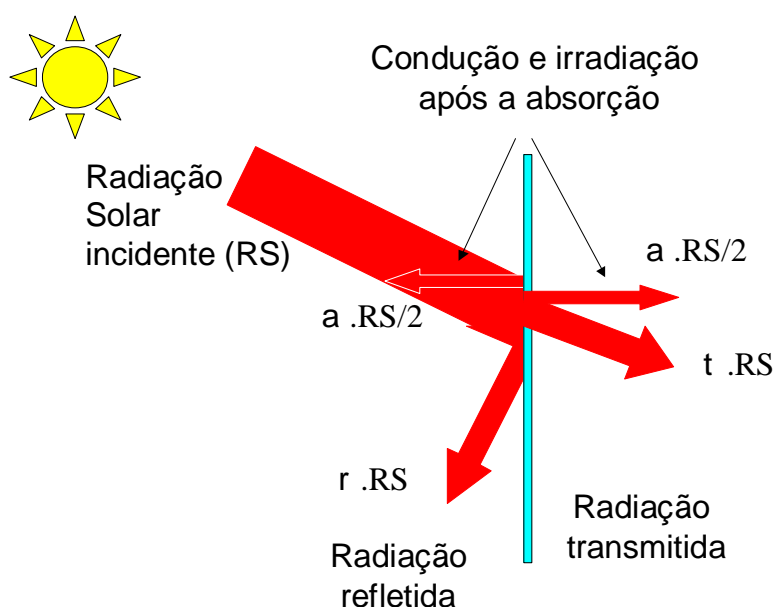


Figura 84. Radiação solar em superfícies transparentes.

A equação 14 mostra o balanço térmico para a Figura 84.

$$\alpha \cdot RS + \rho \cdot RS + \sigma \cdot RS = RS \Rightarrow \alpha + \rho + \sigma = 1 \quad (14)$$

Onde

- $\alpha$  é a absortividade do vidro;
- $\rho$  é a refletividade do vidro;
- $\sigma$  é a transmissividade do vidro.

Um corpo ao receber energia radiante, reage seletivamente, o que significa que a quantidade de energia que absorve, reflete ou transmite, depende do comprimento de onda do raio incidente. Com o vidro acontece um fenômeno similar como mostra a Figura 85.

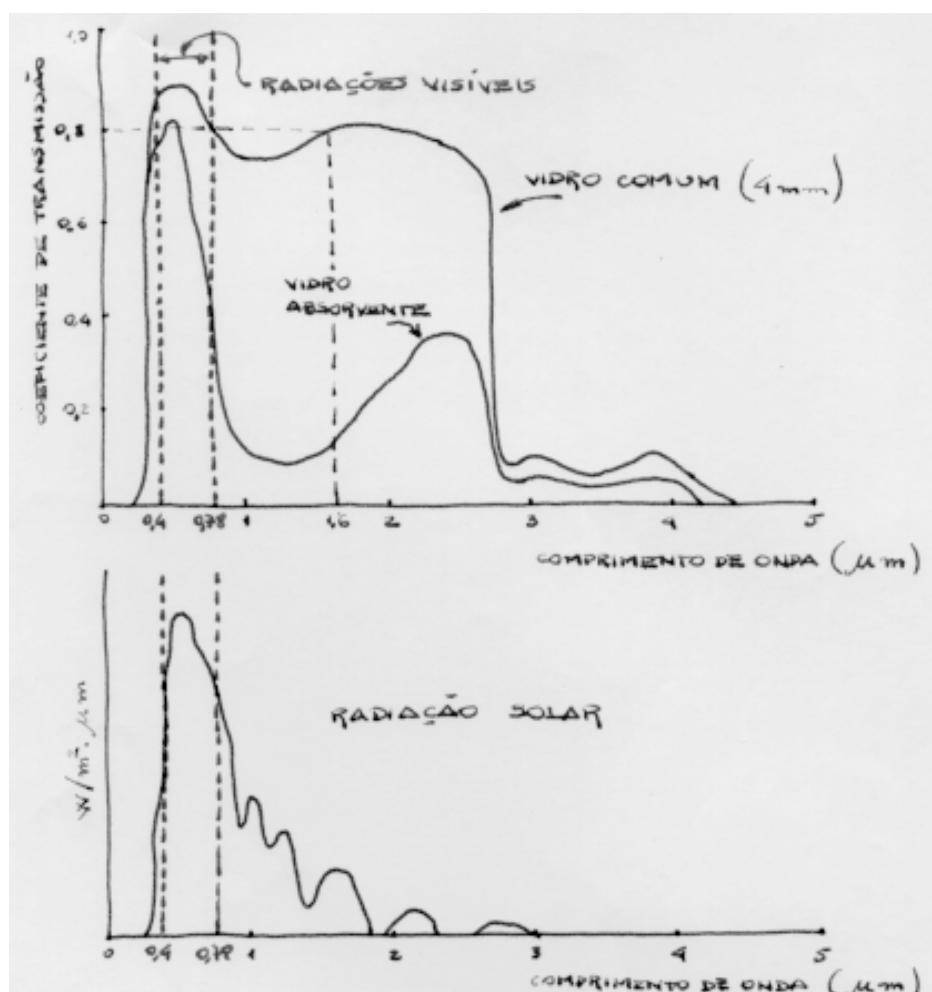


Figura 85. Comportamento de alguns vidros diante da energia radiante.

## 5.1 VIDRO COMUM

Se um raio formado exclusivamente por uma onda eletromagnética de  $1,6 \mu\text{m}$ , por exemplo, incide perpendicularmente sobre este vidro, 80% de sua energia se transmitirá por transparência e os 20% restantes serão refletidos e absorvidos. Este vidro é muito transparente aos comprimentos de onda entre  $0,4$  e  $2,8 \mu\text{m}$ , isto é, numa banda que inclui as radiações visíveis, o infravermelho próximo e parte de infravermelho médio. A partir deste limite, a transmissão desce bruscamente até que após os  $4 \mu\text{m}$  o vidro passa a comportar-se como um material totalmente opaco à radiação incidente.

Quais os fenômenos térmicos que ocorrem em um local quando um raio de sol incide sobre um vidro comum?

Parte dessa energia passa por transparência ao interior do local e é absorvida e refletida pelos móveis e paredes. A energia absorvida se transforma em calor provocando a elevação da temperatura do meio. Como essa energia retorna ao exterior? A primeira possibilidade é por convecção. Nos locais fechados esta forma de transmissão constitui um processo lento já que primeiro o ar deve ser aquecido; depois, mediante movimentos convectivos, atingirá o vidro, o qual, mediante processos de condução, irá transmitir parte da energia ao exterior. A outra forma é por radiação. No entanto, os corpos, à temperatura normal do ambiente em que estamos, emitem energia radiante de onda longa (em torno de  $9 \mu\text{m}$ ). Para este comprimento de onda, o vidro é opaco, bloqueando a radiação da onda longa

do exterior. Este processo onde a radiação solar entrou facilmente no local e encontrou dificuldades para sair é denominado **efeito estufa**.

## 5.2 VIDROS ESPECIAIS

Para amenizar as conseqüências térmicas criadas pelo vidro comum foram desenvolvidos outros tipos de vidro como os vidros absorventes (ou atérmicos) e os vidros refletivos. A Tabela 12 apresenta o percentual transmitido, absorvido e refletido por alguns tipos de vidro.

**Tabela 12. Comportamento térmico de alguns vidros segundo RIVERO (1986).**

Tipo de vidro	$\sigma$	$\alpha$	$\rho$
Comum	0,85	0,07	0,08
Absorvente claro	0,52	0,41	0,07
Absorvente médio	0,31	0,63	0,06
Absorvente escuro	0,09	0,86	0,05
Refletor médio	0,25	0,42	0,33
Refletor escuro	0,11	0,42	0,47

## 5.3 FLUXO DE CALOR ATRAVÉS DA JANELA

Com base na equação 12 para paredes, pode-se perceber que no caso de janelas deve-se acrescentar a parcela de fluxo de calor que penetra no ambiente por transparência. A equação 15 esclarece esta situação.

$$q = U \cdot (T_{\text{ext}} + \alpha \cdot RS \cdot R_{\text{se}} - T_{\text{int}}) + \sigma \cdot RS \quad (15)$$

Onde,

U é a transmitância térmica,

$S_{\text{re}}$  é a resistência superficial externa

RS é a radiação solar incidente

Separando-se os ganhos de calor devido a diferença de temperatura e devido a incidência de radiação solar obtém-se a equação 16.

$$q = U \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) + (U \cdot \alpha \cdot R_{\text{se}} + \sigma) \cdot RS \quad (16)$$

Desta forma, a parcela  $U \cdot \alpha \cdot R_{\text{se}} + \sigma$  é chamada de fator solar ( $F_s$ ). Este fator representa a razão entre a quantidade de radiação solar que atravessa e a que incide na janela. A equação 17 apresenta a forma simplificada de determinação de densidade de fluxo de calor em janelas.

$$q = U \cdot \Delta T + F_s \cdot RS \quad (17)$$

As Tabela 13 e Tabela 14 apresentam, respectivamente, o fator solar para alguns tipos de superfícies transparentes e proteções solares.

**Tabela 13. Fator solar para alguns tipos de superfícies transparentes segundo LAMBERTS et alii (1997).**

Superfícies transparentes		$F_s$
Vidros	Transparente (simples) 3 mm	0,87
	Transparente (simples) 6 mm	0,83
	Transparente (duplo) 3 mm	0,75
	Cinza (fumê) 3 mm	0,72
	Cinza (fumê) 6 mm	0,60
	Verde 3 mm	0,72
	Verde 6 mm	0,60
	Reflexivo 3 mm	0,26 – 0,37
Películas	Reflexiva	0,25 – 0,50
	Absorvente	0,40 – 0,50
Acrílico	Claro	0,85
	Cinza ou bronze	0,64
	Reflexivo	0,18
Policarbonato	Claro	0,85
	Cinza ou bronze	0,64
Domos	Claro	0,70
	Translúcido	0,40
Tijolo de vidro		0,56

**Tabela 14. Fator solar para alguns tipos de proteções solares segundo LAMBERTS et alii (1997).**

Proteções solares		$F_s$
Internas	Cortina translúcida	0,50 – 0,75
	Cortina semi-translúcida	0,40 – 0,60
	Cortina opaca	0,35 – 0,60
	Persiana inclinada 45°	0,64
	Persiana fechada	0,54
Externas	Toldo 45° translúcido***	0,36
	Toldo 45° opaco***	0,20
	5.3.1.1.1 Venezianas	0,09
	Esteira de madeira	0,09
	Venezianas horizontais**	0,19
	Brise horizontal***	0,25
	<i>Light-shelf</i> (espelhada)*	0,58

\* Com vidro duplo, horizontal, metade da abertura com insolação direta.

\*\* Com vidro duplo, branca e razão largura/espacamento = 1,0.

\*\*\* Toda a abertura está sombreada.

Os casos não especificados apresentam vidro simples 3 mm.

## 5.4 EXEMPLOS

a) Determinar a densidade de fluxo de calor em uma janela oeste com vidro comum de 3 mm ( $U = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) . Latitude 30°Sul.

Solução

$F_s = 0,87$  (tabela);

$RS = 715 \text{ W/m}^2$  (tabela 8);

$T_{\text{ext}} = 30^\circ\text{C}$ ;

$T_{\text{int}} = 25^\circ\text{C}$ .

$$q = U \cdot \Delta T + F_s \cdot RS = 5,8 \cdot (30 - 25) + 0,87 \cdot 715 = 651,05 \text{ W/m}^2.$$

b) Substituindo o vidro anterior por vidro cinza fumê de 3 mm ( $F_s = 0,72$ ), teremos:

$$q = U.\Delta T + F_s.RS = 5,8.(30 - 25) + 0,72.715 = 543,80 \text{ W/m}^2.$$

c) Utilizando persiana fechada ( $F_s = 0,54$ ) no exemplo a, teremos:

$$q = U.\Delta T + F_s.RS = 5,8.(30 - 25) + 0,54.715 = 415,10 \text{ W/m}^2.$$

d) Utilizando venezianas ( $F_s = 0,09$ ) no exemplo a, teremos:

$$q = U.\Delta T + F_s.RS = 5,8.(30 - 25) + 0,09.715 = 93,35 \text{ W/m}^2.$$

---

## 6 VENTILAÇÃO

A ventilação de um ambiente é entendida como a troca de ar interno por ar externo. Suas principais funções são as seguintes:

- Manter o ambiente livre de impurezas e odores indesejáveis, além de fornecer O<sub>2</sub> e reduzir a concentração de CO<sub>2</sub>;
- Remover o excesso de calor acumulado no interior da edificação produzido por pessoas ou fontes internas;
- Resfriar a estrutura do edifício e seus componentes evitando o aquecimento do ar interno;
- Facilitar as trocas térmicas do corpo humano com o meio ambiente (especialmente no verão);
- Remover o excesso de vapor d'água existente no ar interno evitando a condensação superficial.

### 6.1 VENTILAÇÃO DE INVERNO E DE VERÃO

Qualquer período do ano exige a necessidade de ventilação no ambiente construído. Porém, suas necessidades são bastante diferentes. No verão as necessidades de ventilação dizem respeito às questões térmicas e higiênicas. Porém, no inverno a necessidade é apenas de ordem higiênica.

As exigências higiênicas têm caráter permanente e devem ser satisfeitas a qualquer época do ano. As térmicas só interessam quando o microclima interno é quente e o ar exterior tem uma temperatura menor que a interior, ou quando as condições de umidade devem ser alteradas.

### 6.2 MECANISMOS DE VENTILAÇÃO

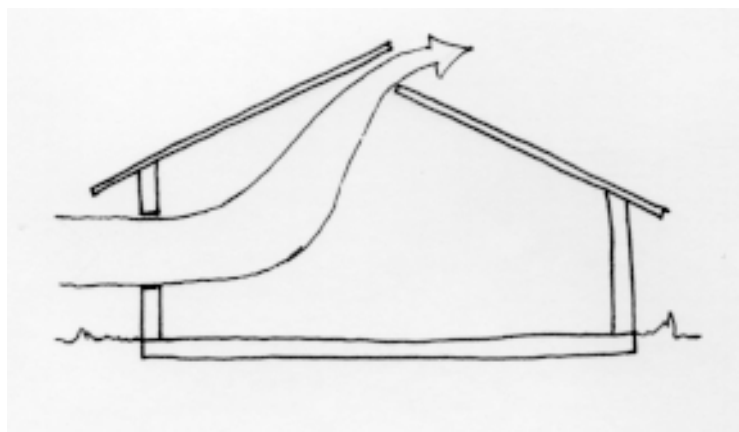
Um ambiente pode ser ventilado através de diferentes formas:

- Ventilação natural:
  - por diferença de pressão causada pelo vento;
  - por diferença de temperatura.
- Ventilação artificial:
  - produzida por equipamentos.

#### 6.2.1 Ventilação natural por diferença de temperatura

Baseia-se na diferença entre as temperaturas do ar interior e exterior provocando um deslocamento da massa de ar da zona de maior para a de menor pressão. Quando, nestas condições, existem duas aberturas em diferentes alturas, se estabelece uma circulação de ar da abertura inferior para a superior, denominada **efeito chaminé**. Este efeito é apresentado na Figura 86.

---

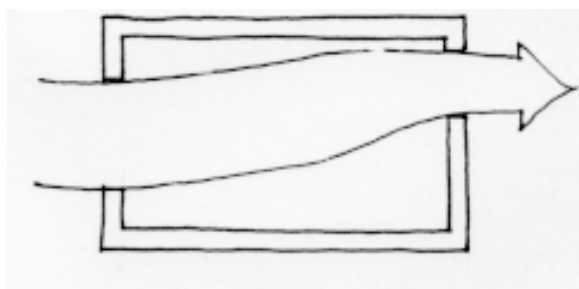


**Figura 86. Efeito chaminé.**

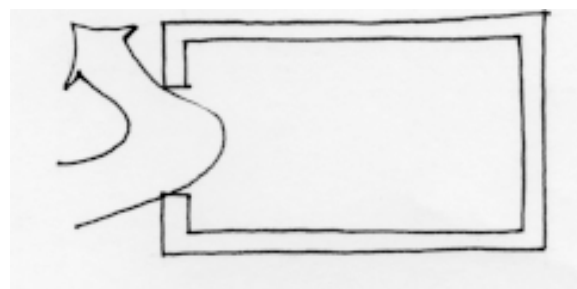
O efeito chaminé não é muito eficiente em casas térreas pois depende da diferença entre as alturas das janelas. Como depende, também, das diferenças entre a temperatura do ar interior e exterior, para climas quentes, especialmente no verão, esse mecanismo de ventilação não deve ser visto como a forma mais eficiente de gerar situações de conforto térmico e/ou remover o excesso de calor acumulado no interior da edificação. Neste caso, deve-se dar maior importância à ventilação dos ambientes pelo efeito do vento.

### **6.2.2 Ventilação natural por diferença de pressão causada pelo vento**

Para que a edificação seja ventilada devido à diferença de pressão provocada pelo vento não basta que a mesma seja simplesmente exposta ao vento. É necessário que os ambientes sejam atravessados transversalmente pelo fluxo de ar, como mostra a Figura 87.



**Figura 87. Ventilação cruzada.**



**Figura 88. Ventilação unilateral.**

A ventilação cruzada ocorre, essencialmente, devido à existência de zonas com diferentes pressões, ou seja, na face de incidência do vento existe uma zona de alta pressão e na face oposta, uma zona de baixa pressão. No caso de ambientes sem abertura para saída do vento, tem-se a ventilação unilateral, como mostra a Figura 88.

### **6.2.3 Cálculo de ventilação por efeito do vento**

Uma forma de avaliar as condições de ventilação de um ambiente comumente utilizada é a determinação do número de trocas de ar que ocorrem a cada hora. O algoritmo apresentado abaixo permite esta determinação de forma simplificada e fácil.

### A) Coeficiente de pressão do vento ( $C_p$ )

Este coeficiente visa quantificar as eventuais reduções sofridas pelo vento em função do ângulo de incidência na abertura e do afastamento entre edificações. A Figura 89 caracteriza o ângulo de incidência.

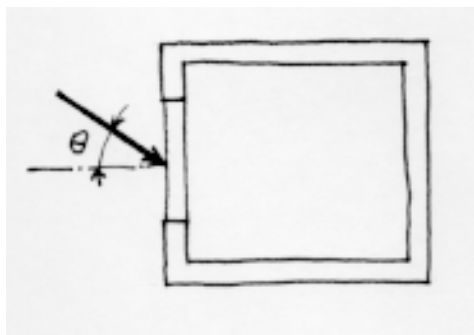


Figura 89. Ângulo de incidência do vento.

A Tabela 15 apresenta a diferença entre os coeficientes de pressão do vento ( $\Delta C_p$ ) para casas em campo aberto em função do ângulo de incidência do vento.

**Tabela 15. Diferença entre os coeficientes de pressão do vento para casas em campo aberto.**

Ângulo de incidência ( $\theta$ )	Diferença entre os coeficientes de pressão do vento ( $\Delta C_p$ )
$0 \leq \theta \leq 30^\circ$	1,2
$30^\circ < \theta \leq 90^\circ$	$0,1 + 0,0183 \cdot (90 - \theta)$

Para o caso de loteamentos, o coeficiente de pressão do vento deve ser corrigido em função do afastamento entre as casas, conforme mostra a Tabela 16.

**Tabela 16. Coeficiente de pressão do vento para loteamentos.**

Distância entre casas	Coeficiente de pressão do vento para loteamentos ( $\Delta C_{pL}$ )
Uma casa	$0,30 \cdot \Delta C_p$
Duas casas	$0,60 \cdot \Delta C_p$

### B) Correção da velocidade do vento

A velocidade do vento, normalmente fornecida por estações meteorológicas a 10 metros de altura deve ser corrigida para a altura de interesse, conforme mostra a equação 18.

$$V_z = V_{10} \cdot K \cdot Z^a \quad (18)$$

Onde

$V_z$  é a velocidade do vento na altura  $Z$  de interesse (m/s);

$V_{10}$  é a velocidade do vento a 10 metros de altura (m/s);

$Z$  é a altura da cumeeira para edificações de até dois andares ou a altura da janela para edificações mais altas (m);

$K$  e  $a$  são função da localização da edificação e podem ser obtidos na Tabela 17.



Tabela 17. Coeficientes K e a.

Localização da edificação	K	a
Campo aberto plano	0,68	0,17
Campo com algumas barreiras	0,52	0,20
Ambiente urbano	0,40	0,25
Centro da cidade	0,31	0,33

### C) Área útil de ventilação (A)

Deve-se atentar que a área útil de ventilação pode não corresponder à área total da janela, como mostra a Figura 90.

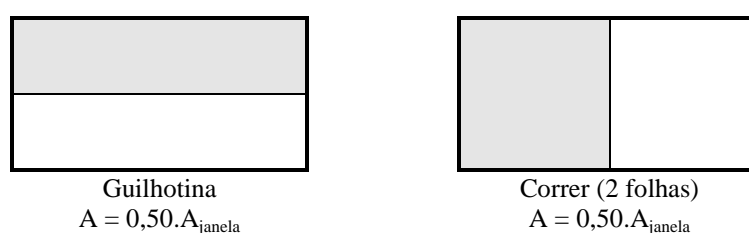


Figura 90. Área útil de ventilação.

### D) Fluxo de ar

O fluxo de ar é determinado de forma diferenciada para ventilação cruzada ( $Q_w$ ) e unilateral ( $Q$ ).

#### Ventilação cruzada (só vento)

O fluxo de ar ( $Q_w$ ) é determinado através da equação 19.

$$Q_w = 0,6 \cdot A_w \cdot V_z \cdot \sqrt{\Delta C_p} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (19)$$

Onde,

$A_w$  é a área equivalente de aberturas, dada pela equação 20.

$$\frac{1}{A_w^2} = \frac{1}{(\sum A_{\text{entrada}})^2} + \frac{1}{(\sum A_{\text{saída}})^2} \quad (\text{m}^2) \quad (20)$$

Caso existam portas intermediárias (em série entre a entrada e a saída), deve-se acrescentar a parcela  $1/(\sum A_{\text{porta}})^2$  na equação 20.

#### Ventilação cruzada (diferença de temperatura)

O fluxo de ar ( $Q_b$ ) é determinado através da equação 21.

$$Q_b = 0,6 \cdot A_b \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta t \cdot g \cdot H / (273 + \bar{t})} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (21)$$

Onde,

H é a altura entre a entrada e saída de ar (m).

g é a força da gravidade (m/s<sup>2</sup>)

$\Delta t$  é a diferença da temperatura interna pela externa (°C ou K)

$A_b$  é a área equivalente de aberturas (m<sup>2</sup>), dada pela equação 22:

$$\frac{1}{A_b^2} = \frac{1}{(\sum A_{entrada})^2} + \frac{1}{(\sum A_{saída})^2} \quad (22)$$

Já  $\bar{t}$  pode ser descrito pela equação 23

$$\bar{t} = \frac{(t_i + t_e)}{2} \quad (23)$$

### Ventilação cruzada (vento e diferença de temperatura)

Quando houver vento e diferença de temperatura, o fluxo de ar ( $Q_T$ ) é igual a  $Q_b$  quando (equação 24):

$$\frac{V_z}{\sqrt{\Delta t}} < 0,26 \cdot \sqrt{\frac{A_b}{A_w}} \cdot \sqrt{\frac{H}{\Delta C_p}} \quad (24)$$

E o fluxo de ar ( $Q_T$ ) é igual a  $Q_w$  quando (equação 25):

$$\frac{V_z}{\sqrt{\Delta t}} > 0,26 \cdot \sqrt{\frac{A_b}{A_w}} \cdot \sqrt{\frac{H}{\Delta C_p}} \quad (25)$$

### Ventilação unilateral (só vento)

O fluxo de ar (Q) é determinado através da equação 26.

$$Q = 0,025 \cdot A \cdot V_z \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (26)$$

### Ventilação unilateral (diferença de temperatura)

O fluxo de ar (Q) é determinado através da equações 27 e 28 para duas aberturas distintas no mesmo lado.

$$Q = 0,6 \cdot A \cdot \left[ \sqrt{2} \cdot \frac{E}{(1+E) \cdot \sqrt{1+E^2}} \right] \cdot \sqrt{\Delta t \cdot g \cdot \frac{H}{t+273}} \quad (27)$$

Onde,

A é a soma total das áreas de aberturas de ventilação (m<sup>2</sup>).

$$E = \frac{A_{saída}}{A_{entrada}} \quad (28)$$

Já para a mesma abertura no mesmo lado, o fluxo de ar (Q) é determinado através da equação 29.

$$Q = 0,6 \cdot \frac{A}{3} \cdot \sqrt{\frac{\Delta t \cdot g \cdot H}{t + 273}} \quad (29)$$

### Ventilação unilateral (vento e diferença de temperatura)

Deve-se calcular os dois fluxos e usar o maior valor.

### E) Redução do fluxo de ar

O fluxo de ar pode sofrer reduções significativas em função do tipo de barreira que se interpõe a este fluxo. A Tabela 18 apresenta as reduções provocadas no fluxo de ar através da adoção de telas contra mosquitos.  $Q_m$  representa o fluxo de ar reduzido.

**Tabela 18. Redução do fluxo de ar com a adoção de telas contra mosquitos.**

Tipo de tela	Ventilação cruzada	Ventilação unilateral
Algodão	$Q_m = 0,30 \cdot Q_w$	$Q_m = 0,30 \cdot Q$
Nylon	$Q_m = 0,65 \cdot Q_w$	$Q_m = 0,65 \cdot Q$

### F) Número de trocas de ar (N)

O número de trocas de ar por hora para ventilação cruzada é determinado pela equação 30.

$$N = \frac{Q \cdot 3600}{V} \quad (\text{trocas/hora}) \quad (30)$$

Onde

V é o volume do ambiente ventilado ( $m^3$ ).

Q é o fluxo de ar ( $m^3/s$ )

Q, na equação 30 deve ser substituído por  $Q_w$  ou por  $Q_m$ , respectivamente, no caso de ventilação cruzada ou no caso de se utilizar telas contra mosquitos.

## 6.2.4 Exemplo

- a) Determinar o número de trocas de ar em uma residência com dimensões de 4,00 x 5,00 m e pé-direito de 2,50 m com duas janelas de correr (50% de aproveitamento para ventilação), uma na fachada norte, com 1,20 x 2,00 m e outra na fachada sul com 1,00 x 1,00 m, ambas com telas de nylon contra mosquitos. O vento incide normalmente à fachada norte com velocidade, a 10 m de altura, de 3,0 m/s. A altura até a cumeeira é de 3,5 m. Esta edificação está localizada em um loteamento (ambiente urbano) cuja distância entre as casas é igual a largura de uma casa.

## Solução

Coeficiente de pressão do vento

$$\Delta C_p = 1,2$$

$$\Delta C_{pL} = 0,3 \cdot 1,2 = 0,36$$

Correção da velocidade do vento

$$V_z = V_{10} \cdot K \cdot Z^a$$

Para ambiente urbano,  $K = 0,40$  e  $a = 0,25$  (Tabela 15). Portanto a velocidade do vento na altura da cumeeira será:

$$V_{3,5} = 3,0 \cdot 0,40 \cdot 3,5^{0,25} = 1,64 \text{ m/s}$$

Área útil de ventilação

$$A_{\text{entrada}} = 0,5 \cdot 1,20 \cdot 2,00 = 1,20 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{saída}} = 0,5 \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 0,50 \text{ m}^2$$

Fluxo de ar

Ventilação cruzada (quando as duas janelas estão abertas)

$$Q_w = 0,6 \cdot A_w \cdot V_z \cdot \sqrt{\Delta C_p}$$

Área equivalente:

$$\frac{1}{A_w^2} = \frac{1}{(1,20)^2} + \frac{1}{(0,50)^2} = 0,46 \text{ m}^2$$

Logo,

$$Q_w = 0,6 \cdot 0,46 \cdot 1,64 \cdot (0,36)^{1/2} = 0,272 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ventilação Unilateral (considerando a janela de 1,00 x 1,00m fechada)

$$Q = 0,025 \cdot A \cdot V_z$$

Neste caso,  $A = 1,20 \text{ m}^2$ 

Logo,

$$Q = 0,025 \cdot 1,20 \cdot 1,64 = 0,049 \text{ m}^3/\text{s}$$

Redução do fluxo de ar devido ao uso de tela contra mosquitos

Ventilação cruzada

$$\text{Da tabela 16 temos que: } Q_m = 0,65 \cdot 0,272 = 0,177 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ventilação unilateral

$$\text{Da tabela 16 temos que: } Q_m = 0,65 \cdot 0,049 = 0,032 \text{ m}^3/\text{s}$$

Número de trocas de ar

$$N = \frac{Q \cdot 3600}{V}$$

O volume da edificação é  $4,00 \cdot 5,00 \cdot 2,5 = 50 \text{ m}^3$ . Portanto, teremos:

Ventilação cruzada

$$N = \frac{0,177 \cdot 3600}{50} = 12,7 \text{ trocas/hora}$$

Ventilação unilateral

$$N = \frac{0,032 \cdot 3600}{50} = 2,3 \text{ trocas/hora}$$

## 7 DIRETRIZES CONSTRUTIVAS PARA HABITAÇÕES NO BRASIL

### 7.1 NBR 15220-3: HABITAÇÕES UNIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL NO ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) apresenta o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e as Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. O Brasil foi dividido, segundo a norma, em oito zonas bioclimáticas. Os parâmetros e diretrizes para cada uma das zonas são:


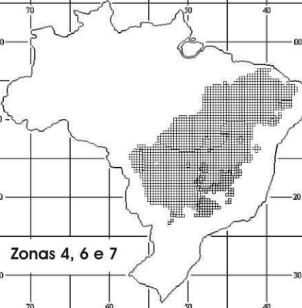
- a) tamanho das aberturas para ventilação (expressas como percentual de área de piso);
- b) proteção das aberturas;
- c) vedações externas, parede externa e cobertura, informando o tipo de vedação (leve ou pesada, refletora ou isolada).
- d) estratégias de condicionamento térmico passivo.

O objetivo de tais recomendações técnico-construtivas é a otimização do desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática (ABNT, 2005). As estratégias de condicionamento ambiental recomendadas pela NBR 15220-3 são baseadas na carta bioclimática de Givoni (1992) e nas planilhas de Mahoney (KOENIGSBERGER et al, 1970). A classificação de cada cidade em uma determinada zona depende das estratégias bioclimáticas que são definidas previamente, tendo sido utilizadas as planilhas de Mahoney para a definição dos limites das propriedades térmicas dos elementos construtivos (Fator Solar, Atraso Térmico e Transmitância Térmica).


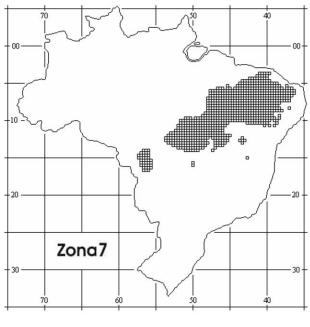
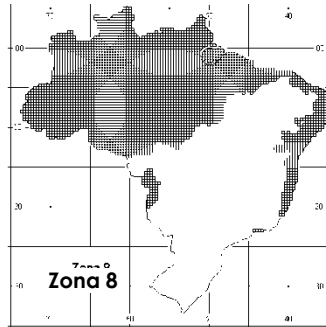
As tabelas incluídas no Projeto 02:135.07-003 (Anexo C da NBR 15220-3) apresentam os percentuais de área de piso relativos às aberturas para ventilação, classificando-as em pequenas, médias ou grandes. São indicados também os valores de transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar para paredes externas e coberturas. Já no Anexo D, são apresentadas as propriedades térmicas de diversos tipos de paredes e coberturas, podendo-se verificar a adequação desses exemplos comparando-se a transmitância e o atraso térmico dos mesmos com os limites recomendados pela norma para cada zona bioclimática (ver Anexo 3).

Nas Tabela 19 e Tabela 20 encontram-se alguns dos exemplos de paredes e coberturas apresentados no Anexo 3 (Anexos C e D da NBR 15220-3) e as respectivas zonas bioclimáticas para as quais tais exemplos são indicados. Convém salientar que o Fator Solar das superfícies também deve ser observado na seleção dos componentes construtivos para cada zona bioclimática. Para a determinação do Fator Solar, assim como das demais propriedades térmicas de outros tipos de paredes e coberturas, devem-se utilizar os métodos de cálculo descritos no Projeto 02:135.07-002 (NBR 15220-2/ ABNT, 2005), reproduzidos no Anexo 2.

**Tabela 19. Exemplos de paredes adequados às diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005).**

<p><b>Zonas 1 a 3, 5 e 8</b></p>  <p>Zonas 1 a 3, 5 e 8</p>	<p><b>Paredes leves (Zonas 1 e 2):</b> <math>U \leq 3,00 \ \varphi \leq 4,3</math>  <b>Paredes leves refletoras (Zonas 3, 5 e 8):</b> <math>U \leq 3,00 \ \varphi \leq 4,3</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parede de tijolos de 6 ou 8 furos quadrados (espessura = 14 cm)</li> <li>• Parede de tijolos de 8 ou 6 furos circulares (espessura = 15 cm)</li> <li>• Parede de tijolos de 4 furos circulares (espessura = 14,5 cm)</li> <li>• Parede de tijolos de 3 furos circulares (espessura = 18 cm)</li> <li>• Parede de blocos cerâmicos 2 furos circulares (espessura = 19 cm)</li> <li>• Parede de tijolos de 2 furos circulares (espessura = 17,5 cm)</li> <li>• Parede de tijolos de 21 furos circulares (espessura = 17 cm)</li> </ul>
<p><b>Zonas 4, 6 e 7</b></p>  <p>Zonas 4, 6 e 7</p>	<p><b>Paredes pesadas:</b> <math>U \leq 2,20 \ \varphi \geq 6,5</math></p> <p>Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares (espessura = 26 cm)</p> <p>Parede dupla de tijolos de 21 furos circulares (espessura = 30 cm)</p> <p>Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares (espessura = 36 cm)</p> <p>Parede dupla de tijolos de 8 furos quadrados (espessura = 44 cm)</p> <p>Parede dupla de tijolos de 8 furos circulares (espessura = 46 cm)</p>

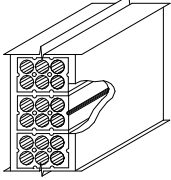
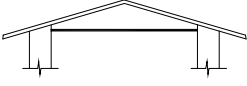
**Tabela 20. Exemplos de coberturas adequados às diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005).**

<p><b>Zonas 1 a 6: Cobertura leve isolada</b>  <math>U \leq 2,00 \ \varphi \leq 3,3</math></p>  <p>Zonas 1 a 6</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobertura de telha de barro + forro de madeira ou + lâ de vidro (espessuras 2,5 cm e 5 cm) e forro de madeira;</li> <li>• Cobertura de telha de barro+ lâmina de alumínio polido + forro de madeira</li> <li>• Cobertura de telha de fibro-cimento + forro de madeira ou + lâmina de alumínio polido e forro de madeira</li> </ul>	<p><b>Zona 7: Cobertura pesada</b>  <math>U \leq 2,00 \ \varphi \geq 6,5</math></p>  <p>Zona 7</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 20 cm ou 25 cm</li> <li>• Cobertura de telha de fibro-cimento com laje de concreto de 20 ou 25 cm</li> <li>• Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 20 ou 25 cm</li> <li>• Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 20 ou 25 cm</li> </ul>	<p><b>Zona 8: Cobertura leve isolada</b>  <math>U \leq 2,30.FT \ \varphi \leq 3,3^*</math></p>  <p>Zona 8</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobertura de telha de barro ou fibrocimento com forro de concreto (espessura = 3 cm)</li> </ul> <p><b>*Obs.: Na Zona 8, caso hajam aberturas entre o fôrro e a cobertura, o valor de U depende da altura desta abertura (h), sendo que <math>FT = 1,17 - 1,07 \cdot h^{-1,04}</math></b></p>
---	--	--

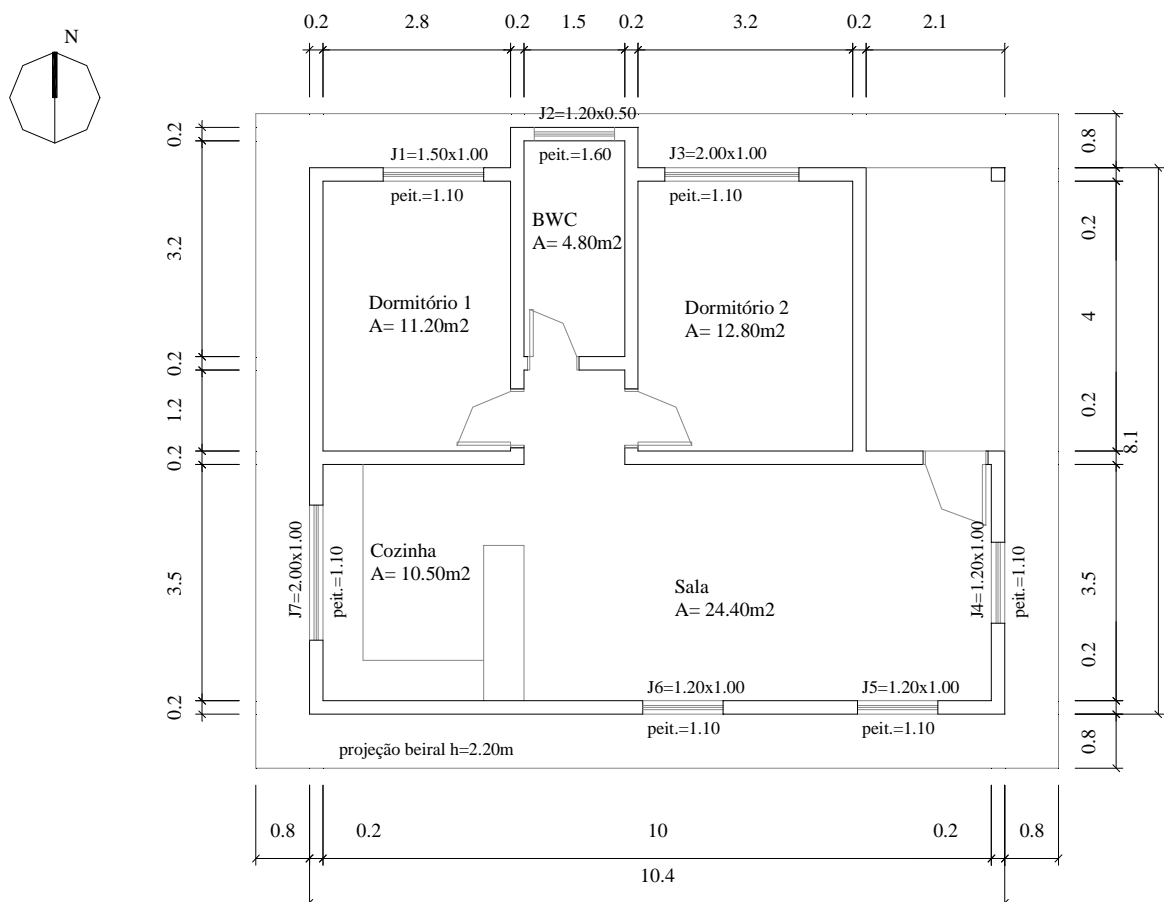
### Exemplo de aplicação

Considere que você está projetando uma edificação para Florianópolis/SC, com características térmicas de paredes e cobertura conforme a Tabela 21. As paredes externas são pintadas com a cor amarela ( $\alpha = 0,30$ ), e a telha é cor de barro ( $\alpha = 0,75$ ).

**Tabela 21. Transmitância Térmica, capacidade térmica e atraso térmico para uma edificação exemplo.**

Parede / Cobertura	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura arg. de assentamento: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 20,0 cm	1,92	202	4,8
	Cobertura de telha de barro com forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	2,00	32	1,3

A Figura 82 mostra a planta baixa da edificação e o tamanho das aberturas. Considere todas as janelas de correr com duas folhas de vidro. O beiral está a 2,20 m acima do piso interno.



**Figura 91. Planta Baixa edificação exemplo.**

Segundo o Anexo A do Projeto de Norma 02:135.07-003 (NBR 15220-3/ABNT, 2005) (anexo 3), a cidade de Florianópolis/SC (27°35' Latitude Sul) encontra-se na zona bioclimática 3. As diretrizes construtivas apresentadas para esta zona bioclimática serão analisadas por item para verificar se a edificação é ideal a este local específico.

a) Aberturas para ventilação: **entre 15% e 25% da área do piso;**

**Tabela 22. Cálculo das aberturas conforme Norma e da edificação exemplo.**

Ambiente	Área ambiente (m <sup>2</sup> )	Área abertura Norma (m <sup>2</sup> ) 15%<A<25%	Área abertura projeto (m <sup>2</sup> )	Aceitabilidade
Dormitório 1	11,20	1,68<A<2,80	0,75	não
Dormitório 2	12,80	1,92<A<3,20	1,00	não
BWC	4,80	0,72<A<1,20	0,30	não
Cozinha	10,50	1,58<A<2,63	1,00	não
Sala	24,40	3,66<A<6,10	1,80	não

As janelas do dormitório 2 e da cozinha, caso fossem de abrir (100% da área da abertura), ao invés de correr (50% da área da abertura), estariam dentro das diretrizes propostas pela Norma, mas os outros ambientes precisariam aumentar as dimensões de suas janelas para poderem atender as recomendações da Norma.

Uma das soluções propostas é aumentar a altura das janelas para 1,20m e a janela do banheiro para 0,70m, com sistemas de abertura tipo de abrir (100% da abertura). Este aumento de 20 cm na parte superior da abertura poderá ser usado como uma janela basculante, permitindo ventilação higiênica no inverno (mínimo de trocas de ar por hora para um ar saudável), e ventilação noturna no verão evitando problemas com a segurança.

b) Sombreamento das aberturas

**Tabela 23. Sombreamento das aberturas para a edificação exemplo.**

Janela	Sombreamento	Aceitabilidade
J1	permite entrada de sol só no período frio (inverno)	sim
J2	evita sol setembro a março	sim
J3	permite entrada de sol só no período frio (inverno)	sim
J4	permite entrada de sol período matutino	parcial
J5	permite entrada de sol início manhã e fim da tarde período quente	parcial
J6	permite entrada de sol início manhã e fim da tarde período quente	parcial
J7	permite entrada de sol a partir 14:00 h. no inverno e 15:00 h. no verão	não

As janelas J5 e J6 precisariam de algum tipo de proteção solar lateral (brise vertical) ou alguma proteção pela vegetação para impedir a entrada do sol durante o período quente (vegetação caduca). Já a J7 precisaria de algum tipo de proteção solar frontal, como vegetação ou até mesmo venezianas, que impedissem a entrada indesejada de sol. Uma outra opção para a J7, seria orientar a abertura na direção sul, necessitando protegê-la apenas nos períodos de início e fim do dia no período quente.



## c) Vedações Externas

Pela Norma, a parede deve ser leve e refletora, e a cobertura leve e isolada.

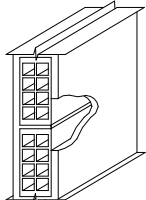
As características de transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar da edificação e os especificados pela Norma são apresentados na Tabela 24.

**Tabela 24. Transmitância Térmica, atraso térmico e Fator de Calor Solar conforme a Norma e da edificação exemplo.**

	Parede Norma	Parede exemplo	Aceitabilidade	Cobertura Norma	Cobertura exemplo	Aceitabilidade
“U” (W/m <sup>2</sup> .K)	≤ 3,60	1,92	Sim	≤ 2,00	2,00	Sim
Atraso térmico (h)	≤ 4,3	4,8	Não	≤ 3,3	1,3	Sim
FCS (%)	≤ 4,0	2,3	Sim	≤ 6,5	6,0	Sim

Seguindo as diretrizes da Norma, o Atraso Térmico estariam acima dos valores recomendados, mas a transmitância térmica e o fator de calor solar seriam aceitáveis. O recomendado seria usar outra composição de parede, conforme a apresentada na Tabela 25.

**Tabela 25. Composição da parede recomendada para a edificação do exemplo, conforme a Norma**

Parede	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura arg. de assentamento: 1,0 cm Espessura arg. de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,49	158	3,3

Neste caso, o resultado calculado do Fator de Calor Solar da parede para a cor amarela ( $\alpha = 0,30$ ) é de 2,99 %.

## d) Estratégia de condicionamento térmico passivo para o verão:

- Ventilação cruzada.

Para garantir a ventilação cruzada nos dormitórios, sugere-se o uso de venezianas nas janelas, garantindo a ventilação no período noturno sem ter-se preocupações com segurança, e em cima das portas internas, colocar uma bandeira de veneziana, permitindo a ventilação cruzada, mesmo com as portas dos dormitórios estando fechadas. Nas aberturas da sala e cozinha, sugere-se o uso de janelas basculantes sobre as janelas. Assim será possível, mesmo com as janelas de correr (ou abrir) fechadas, permitir a ventilação cruzada através das janelas basculantes no período noturno.

## e) Estratégia de condicionamento térmico passivo para o inverno:

- Aquecimento Solar da edificação;

Nos ambientes íntimos o aquecimento solar na edificação se dará pelo fato de se permitir a incidência solar apenas no inverno. Já os ambientes de estar permitem que o aquecimento matinal ocorra de um lado da edificação, e o aquecimento vespertino em outro lado da edificação, e pelo fato dos ambientes de estar serem integrados, eles garantem uma melhor distribuição térmica.

- Vedações internas pesadas.  
As paredes internas continuarão sendo de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão (dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm).

### 7.1.1 Conclusão do exercício

Esta edificação, para atender a Proposta de Norma 02:135.07-003 no anexo 3 (NBR 15220-3/ABNT, 2005), precisaria modificar algumas de suas características a princípio propostas:

1. Aumentar área das aberturas para ventilação;
2. Sombreamento de todas as aberturas nos períodos críticos de verão;
3. Alterar as características térmicas de sua parede, ou a absorvidade de sua parede;
4. Alterar as características de suas aberturas para permitir a ventilação cruzada.

## 7.2 NBR 15575: EDIFÍCIOS HABITACIONAIS DE ATÉ CINCO PAVIMENTOS – DESEMPENHO

### 7.2.1 Introdução

Normas de desempenho são estabelecidas buscando atender às exigências dos usuários, que, no caso desta Norma (ABNT 2008), referem-se a sistemas que compõem edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, independentemente dos seus materiais constituintes e do sistema construtivo utilizado.

O foco desta Norma está nas exigências dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas, quanto ao seu comportamento em uso e não na prescrição de como os sistemas são construídos.

As Normas assim elaboradas visam de um lado incentivar e balizar o desenvolvimento tecnológico e de outro, orientar a avaliação da eficiência técnica e econômica das inovações tecnológicas.

---

Esta norma elaborada pelo Comitê Brasileiro da Construção Civil esta dividida em 6 partes:

- 1.Requisitos gerais;
- 2.Requisitos para os sistemas estruturais;
- 3.Requisitos para os sistemas de pisos internos;
- 4.Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- 5.Requisitos para os sistemas de cobertura;
- 6.Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Para considerar que uma edificação satisfaça às exigências dos usuários, devem ser atendidos os requisitos, a partir dos critérios estabelecidos para cada um deles.

Com o objetivo de satisfazer as necessidades básicas de desempenho, os diferentes sistemas têm requisitos mínimos de desempenho (M), os quais devem ser considerados e atendidos em todos os casos. Para incentivar a melhoria da qualidade das edificações, são estabelecidos níveis mais elevados do que o mínimo, denominados de intermediário (I) e superior (S), os quais devem atender requisitos respectivamente mais elevados.

A presente apostila apresenta de modo geral o que tem a ver com o desempenho térmico das edificações verticais até de 5 pavimentos correspondentes as partes 1, 4 e 5 da norma NBR 15575.

## **7.2.2 Requisitos Gerais**

O conteúdo apresentado na Parte 1 da NBR 15575 se refere às exigências dos usuários e aos requisitos gerais comuns aos diferentes sistemas, estabelecendo as diversas interações e interferências entre estes.

A edificação habitacional deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando-se a região de implantação da obra e as respectivas características bioclimáticas definidas na ABNT NBR 15220-3 e considerando-se que o desempenho térmico do edifício depende do comportamento interativo entre fachada, cobertura e piso.

### **7.2.2.1 Procedimentos:**

Esta parte da NBR 15575 estabelece um procedimento normativo e apresentado dois procedimentos informativos para avaliação da adequação de habitações:

Procedimento 1 - Simplificado (normativo): Verificação do atendimento aos requisitos e critérios para fachadas e coberturas, estabelecidos nas ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5, para os sistemas de vedação e para os sistemas de cobertura, respectivamente;

Procedimento 2 - Simulação (informativo): Verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos nesta ABNT NBR 15575-1, por meio de simulação computacional do desempenho térmico do edifício;

Procedimento 3 - Medição (informativo): verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos nesta ABNT NBR 15575-1, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos.

## **7.2.3 Sistemas de vedações verticais internas e externas**

A parte 4 da NBR 15575 trata dos sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) dos edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, que além da volumetria e da compartimentação dos espaços internos do imóvel, integram-se de forma muito estreita aos demais elementos da construção, recebendo influências e influenciando o desempenho do

---

edifício habitacional. Mesmo sem função estrutural, as vedações podem atuar como contraventamento de estruturas reticuladas, ou sofrer as ações decorrentes das deformações das estruturas, requerendo assim uma análise conjunta do desempenho dos elementos que interagem. As vedações verticais exercem ainda importantíssimas funções de estanqueidade, à água, isolamento térmico e acústico, capacidade de fixação de peças suspensas e compartimentação em casos de incêndio.

Os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas são apresentados a seguir, conforme definições, símbolos e unidades das ABNT NBR 15220-1 e ABNT NBR 15220-3.

### 7.2.3.1 Requisito - Adequação de paredes externas

Apresentar transmitância térmica e capacidade térmica que proporcionem pelo menos desempenho térmico mínimo estabelecido nos dois critérios a seguir para cada zona bioclimática.

#### 7.2.3.1.1 Critério - Transmitância térmica de paredes externas

Os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das paredes externas estão apresentados na Tabela 26.

**Tabela 26. Transmitância térmica de paredes externas**

Transmitância Térmica U [W/m <sup>2</sup> .K]		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
$\alpha^a$ é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede		

O método de avaliação é feito através de cálculos conforme procedimentos apresentados na ABNT NBR 15220-2.

O nível de desempenho mínimo para aceitação é o M (denominado mínimo).

#### 7.2.3.1.2 Critério - Capacidade térmica de paredes externas

Os valores mínimos admissíveis para a capacidade térmica (CT) das paredes externas estão apresentados na Tabela 27.

**Tabela 27. Capacidade térmica de paredes externas**

Capacidade térmica (CT) [kJ/m <sup>2</sup> .K]	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥130

O método de avaliação é feito através de cálculos conforme procedimentos apresentados na ABNT NBR 15220-2. No caso de paredes que tenham na sua composição materiais isolantes térmicos de condutividade térmica menor ou igual a 0.065 W/(m.K) e resistência térmica maior que 0.5 (m<sup>2</sup>.K)/W; o cálculo da capacidade térmica deve ser feito desprezando-se todos os materiais voltados para o ambiente externo, posicionados a partir do isolante ou espaço de ar.

O nível de desempenho mínimo para aceitação é o M (denominado mínimo), ou seja, atende aos valores indicados na Tabela anterior.

### 7.2.3.2 Requisito - Aberturas para ventilação

Apresentar aberturas, nas fachadas das habitações, com dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes. Este requisito só se aplica aos ambientes de longa permanência: salas, cozinhas e dormitórios.

#### 7.2.3.2.1 Critério:

Os valores mínimos admissíveis para as áreas de aberturas para ventilação de ambientes de longa permanência estão apresentados na Tabela 28:

**Tabela 28. Áreas mínimas de aberturas para ventilação**

Nível de desempenho	Aberturas para Ventilação (A) % da área do piso*		
	Zonas 1 e 6 Aberturas médias	Zona 7 Aberturas pequenas	Zona 8 Aberturas grandes
Mínimo	$A \geq 8$	$A \geq 5$	$A \geq 15$
*Nas zonas 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio			

O método de avaliação consiste em fazer uma análise do projeto arquitetônico, considerando, para cada ambiente de longa permanência, a seguinte relação:

$$A = 100 \cdot \left( \frac{A_a}{A_p} \right) (\%)$$

Onde:

A. é a área efetiva de abertura de ventilação do ambiente, sendo que para o cálculo desta área somente são consideradas as aberturas que permitam à livre circulação do ar, devendo ser descontadas as áreas de perfis, vidros e de qualquer outro obstáculo, nesta área não são computadas as áreas de portas;

A<sub>p</sub> é a área de piso do ambiente.

O nível de desempenho mínimo para aceitação é o M (denominado mínimo).

### 7.2.3.3 Requisito - Sombreamento das aberturas localizadas dos dormitórios em paredes externas

Possibilitar o controle da entrada de luz e calor pelas aberturas dos dormitórios localizadas em fachadas.

#### 7.2.3.3.1 Critério - Sombreamento das aberturas

As janelas dos dormitórios, para qualquer região climática, devem ter dispositivos de sombreamento, externos ao vidro (quando este existir), de forma a permitir o controle do sombreamento, ventilação e escurecimento, a critério do usuário, como, por exemplo, venezianas.

O método de avaliação consiste em fazer uma análise do projeto.

O nível de desempenho mínimo para aceitação é o M (denominado mínimo), ou seja, atende ao projeto.

## 7.2.4 Sistemas de coberturas

A parte 5 da NBR 15575 se refere às exigências dos usuários e aos requisitos referentes aos sistemas de coberturas de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Os sistemas de coberturas (SC) exercem funções importantes nos edifícios habitacionais, desde a contribuição para preservação da saúde dos usuários até a própria proteção do corpo da construção, interferindo diretamente na durabilidade dos demais elementos que a compõem. Os sistemas de coberturas (SC) impedem a infiltração de umidade oriunda das intempéries para os ambientes habitáveis e previnem à proliferação de microorganismos patogênicos e de diversificados processos de degradação dos materiais de construção, incluindo apodrecimento, corrosão, fissuras de origem higrotérmica e outros.

Sendo o (SC), a parte do edifício habitacional mais exposto à radiação direta do sol, ele exerce predominante influência na carga térmica transmitida aos ambientes (casas térreas e último pavimento de sobrados ou prédios), influenciando diretamente no conforto térmico dos usuários e no consumo de energia para acionamento de equipamentos de ventilação forçada e/ou condicionamento artificial do ar.

Os SC, ao integrarem-se perfeitamente ao corpo dos edifícios habitacionais, interagem com os sistemas de instalações hidrossanitárias, sistemas de proteção de descargas atmosféricas, sistemas de isolamento térmica e outros, necessariamente previstos em projeto.

As ações atuantes, particularmente vento, intensidade de chuvas e insolação, são as que exercem a maior influência e são determinantes nos projetos de (SC).

NOTA 1: Alguns requisitos ou critérios, por questões essencialmente práticas podem ser estendidos aos componentes dos sistemas de coberturas.

NOTA 2: Excetuados critérios que dependam diretamente da altura do edifício habitacional, os demais critérios estabelecidos nesta norma podem ser aplicados para edificações habitacionais com mais de cinco pavimentos.

A continuação apresenta sem os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de coberturas, conforme definições, símbolos e unidades da ABNT NBR 15220-1 e ABNT NBR 15220-3.

### 7.2.4.1 Requisito - Isolação térmica da cobertura

Apresentar transmitância térmica e absortância à radiação solar que proporcionem um desempenho térmico apropriado para cada zona bioclimática.

#### 7.2.4.1.1 Critério - Transmitância térmica

Os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das coberturas, considerando fluxo térmico descendente, em função das zonas bioclimáticas, encontram-se indicados na Tabela 29.

**Tabela 29. Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica**

Transmitância térmica (U) W/m <sup>2</sup> .K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 e 6		Zonas 7 e 8*	
U ≤ 2,30	α** ≤ 0,6	α** > 0,6	α** ≤ 0,4	α** > 0,4
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3FV	U ≤ 1,5FV
* Na zona bioclimática 8 também estão atendidas coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que a cobertura não tenha forro. ** α é absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura NOTA: O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2				

O método de avaliação consiste na determinação da transmitância térmica, por meio de cálculo, conforme procedimentos apresentados na ABNT NBR 15220-2.

Premissas de projeto: Em todas as zonas bioclimáticas, com exceção da zona 7, recomenda-se que elementos com capacidade térmica maior ou igual a 150 kJ/(m<sup>2</sup>K) não sejam empregados sem isolamento térmico ou sombreamento.

Caso no projeto do SC haja previsão de isolamento térmico, este deve fazer referência às Normas Brasileiras pertinentes.

O nível mínimo de desempenho para aceitação é o M (denominado mínimo), ou seja, atende ao critério de transmitância térmica e às premissas de projeto.

## 8 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

### 8.1 SELO CASA AZUL

O Selo Casa Azul CAIXA é um instrumento de classificação socioambiental de projetos de empreendimentos habitacionais, que busca reconhecer os empreendimentos que adotam soluções mais eficientes aplicadas ao projeto, à construção, ao uso, à ocupação e à manutenção das edificações, objetivando incentivar o uso racional de recursos naturais e a melhoria da qualidade da habitação e de seu entorno. O Selo Casa Azul CAIXA é o primeiro sistema de classificação da sustentabilidade de projetos ofertado no Brasil, desenvolvido para a realidade da construção habitacional brasileira, com o qual pretende-se promover a conscientização de empreendedores e moradores sobre as vantagens das construções sustentáveis.



Com o Selo Casa Azul CAIXA, busca-se reconhecer os projetos de empreendimentos que demonstrem suas contribuições para a redução de impactos ambientais, avaliados a partir de critérios vinculados aos seguintes temas: qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, conservação de recursos materiais, gestão da água e práticas sociais.

A metodologia do Selo foi desenvolvida por uma equipe técnica da CAIXA e um grupo multidisciplinar de professores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade Federal de Santa Catarina e Universidade Estadual de Campinas – que integrava uma rede de pesquisa financiada pelo Finep/Habitare e pela CAIXA. A rede de pesquisa trabalhou anteriormente no projeto “Tecnologias para a Construção Habitacional mais Sustentável” (2005-2008) o qual serviu como base para o desenvolvimento da metodologia do Selo Casa Azul. O objetivo desse projeto foi desenvolver soluções adequadas à realidade brasileira, para tornar a sua construção habitacional mais sustentável. O foco da pesquisa estava nos conjuntos habitacionais unifamiliares de interesse social e na construção autogerida (site do projeto: <http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/>)

O conteúdo do Selo é apresentado através de um manual o qual está organizado em duas partes. A primeira apresenta alguns dos principais impactos socioambientais da cadeia produtiva da construção, e, em consequência, as necessidades de transformação do setor com vistas à sustentabilidade. A seguir, são disponibilizados os critérios e os procedimentos de avaliação do Selo Casa Azul, além de introduzido um conceito fundamental na promoção da sustentabilidade: o processo de definição da agenda do empreendimento. A segunda parte do guia está organizada em capítulos diretamente relacionados aos principais desafios da agenda de construção sustentável, os quais estruturam o Selo Casa Azul. Em todos os capítulos, são apresentados e discutidos os fundamentos de cada categoria e os critérios de análise. O download do manual completo pode ser feito gratuitamente pelo site da CAIXA

O método utilizado pela CAIXA para a concessão do Selo consiste em verificar, durante a análise de viabilidade técnica do empreendimento, o atendimento aos critérios estabelecidos pelo instrumento, que estimula a adoção de práticas voltadas à sustentabilidade dos empreendimentos habitacionais. A adesão ao Selo é voluntária e o proponente deve manifestar o interesse em obtê-lo para que o projeto seja analisado sob a ótica deste



instrumento. A Tabela 30 mostra o número de atendimento de critérios, necessário para a obtenção de cada nível

**Tabela 30. Níveis de graduação de Selo Casa Azul**

<b>GRADAÇÃO</b>	<b>ATENDIMENTO MÍNIMO</b>
BRONZE	Critérios obrigatórios
PRATA	Critérios obrigatórios e mais 6 critérios de livre escolha
OURO	Critérios obrigatórios e mais 12 critérios de livre escolha

### 8.1.1 Categorias e critérios do Selo Casa Azul CAIXA

O Selo Casa Azul possui 53 critérios de avaliação, distribuídos em seis categorias que orientam a classificação de projeto, conforme Tabela 31 e Tabela 32. Os critérios pretendem mitigar os impactos ambientais e maximizar os benefícios sociais da construção habitacional, sendo de execução simples nas condições de mercado brasileiro, a maioria economicamente viáveis mesmo em projetos de habitação popular.

**Tabela 31. Resumo categorias, critérios e classificação**

<b>CATEGORIAS/CRITÉRIOS</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO</b>		
	<b>BRONZE</b>	<b>PRATA</b>	<b>OURO</b>
<b>1. Qualidade Urbana</b>			
1.1 Qualidade do Entorno - Infraestrutura	obrigatório		
1.2 Qualidade do Entorno - Impactos	obrigatório		
1.3 Melhorias no Entorno			
1.4 Recuperação de Áreas Degradadas			
1.5 Reabilitação de Imóveis			
<b>2. Projeto e conforto</b>			
2.1 Paisagismo	obrigatório		
2.2 Flexibilidade de Projeto			
2.3 Relação com a Vizinhança			
2.4 Solução Alternativa de Transporte			
2.5 Local para Coleta Seletiva	obrigatório		
2.6 Equipamentos de Lazer, Sociais e Esportivos	obrigatório		
2.7 Desempenho Térmico - Vedações	obrigatório		
2.8 Desempenho Térmico - Orientação ao Sol e Ventos	obrigatório		
2.9 Iluminação Natural de Áreas Comuns			
2.10 Ventilação e Iluminação Natural de Banheiros			
2.11 Adequação às Condições Físicas do Terreno			
<b>3. Eficiência Energética</b>			
3.1 Lâmpadas de Baixo Consumo - Áreas Privativas	obrigatório		
3.2 Dispositivos Economizadores - Áreas Comuns	obrigatório		
3.3 Sistema de Aquecimento Solar			
3.4 Sistemas de Aquecimento à Gás			
3.5 Medição Individualizada - Gás	obrigatório		
3.6 Elevadores Eficientes			
3.7 Eletrodomésticos Eficientes			
3.8 Fontes Alternativas de Energia			
<b>4. Conservação de recursos materiais</b>			
4.1 Coordenação Modular			

Critérios obrigatórios + 6 ítems de livre escolha

Critérios obrigatórios + 12 ítems de livre escolha

4.2 Qualidade de Materiais e Componentes	obrigatório		
4.3 Componentes Industrializados ou Pré-fabricados			
4.4 Formas e Escoras Reutilizáveis	obrigatório		
4.5 Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (RCD)	obrigatório		
4.6 Concreto com Dosagem Otimizada			
4.7 Cimento de Alto-Forno (CPIII) e Pozolânico (CP IV)			
4.8 Pavimentação com RCD			
4.9 Facilidade de Manutenção da Fachada			
4.10 Madeira Plantada ou Certificada			

Tabela 32. Resumo categorias, critérios e classificação (cont.)

CATEGORIAS/CRITÉRIOS	CLASSIFICAÇÃO		
	BRONZE	PRATA	OURO
<b>5. Gestão da água</b>			
5.1 Medição Individualizada - Água	obrigatório	Critérios obrigatórios + 6 itens de livre escolha	Critérios obrigatórios + 12 itens de livre escolha
5.2 Dispositivos Economizadores - Sistema de Descarga	obrigatório		
5.3 Dispositivos Economizadores - Arejadores			
5.4 Dispositivos Economizadores - Registro Regulador de Vazão			
5.5 Aproveitamento de Águas Pluviais			
5.6 Retenção de Águas Pluviais			
5.7 Infiltração de Águas Pluviais			
5.8 Áreas Permeáveis	obrigatório		
<b>6. Práticas sociais</b>			
6.1 Educação para a Gestão de RCD	obrigatório		
6.2 Educação Ambiental dos Empregados	obrigatório		
6.3 Desenvolvimento Pessoal dos Empregados			
6.4 Capacitação Profissional dos Empregados			
6.5 Inclusão de trabalhadores locais			
6.6 Participação da Comunidade na Elaboração do Projeto			
6.7 Orientação aos Moradores	obrigatório		
6.8 Educação Ambiental dos Moradores			
6.9 Capacitação para Gestão do Empreendimento			
6.10 Ações para Mitigação de Riscos Sociais			
6.11 Ações para a Geração de Emprego e Renda			

O nível “bronze” do Selo será concedido somente aos empreendimentos cujo valor de avaliação da unidade habitacional não ultrapassar os limites da Tabela 33. Os projetos de empreendimentos com valores de avaliação superiores aos limites da Tabela 33 deverão se enquadrar, no mínimo, no nível “prata”.

Tabela 33. Limites de avaliação e localidades para o Selo Casa Azul nível bronze

Localidades	Valor de avaliação da unidade habitacional
Distrito Federal Cidades de São Paulo e Rio de Janeiro Municípios com população igual ou superior a 1 milhão de habitantes integrantes das regiões metropolitanas dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro	Até R\$ 130.000,00
Municípios com população igual ou superior a 250 mil habitantes	Até R\$ 100.000,00

Região Integrada do Distrito Federal e Entorno – RIDE/DF nas demais regiões metropolitanas e nos municípios em situação de conurbação com as capitais estaduais (exceto Rio de Janeiro e São Paulo)	
Demais municípios	Até R\$ 80.000,00

### 8.1.2 Orientações gerais

Após de manifestar o interesse de adesão ao Selo Casa Azul CAIXA, o proponente deverá apresentar os projetos, a documentação e informações técnicas completas referentes aos critérios a serem atendidos pelo projeto. Toda a documentação necessária para análise deverá ser datada e assinada pelo representante legal e por um responsável técnico pelos projetos.

Durante a obra, o proponente deverá executar todos os itens previamente mencionados no projeto, de acordo com as especificações apresentadas e aprovadas pela CAIXA, implantar as práticas sociais previstas em projeto e divulgar aos usuários os itens incorporados ao projeto, assim como orientar os moradores sobre manutenção, reposição e uso dos dispositivos/equipamentos. Qualquer alteração do projeto durante a obra, referente aos critérios definidos para a obtenção do Selo, deverá ser comunicada à CAIXA.

O atendimento aos itens propostos em projeto será verificado também no curso do acompanhamento da obra, durante as medições mensais ou em vistorias específicas. A não conformidade entre projeto e execução da obra será informada no Relatório de Acompanhamento do Empreendimento, e a correção será solicitada pela CAIXA por meio de ofício, contendo o prazo para apresentação de justificativa e correção dos itens não conformes. Caso a inconformidade apontada não seja solucionada, a CAIXA poderá suspender a autorização

Após aprovação do projeto, a CAIXA informará ao proponente a gradação alcançada pelo projeto. Na contratação da proposta, será emitido um certificado de concessão do Selo Casa Azul CAIXA contendo o nível alcançado: bronze, prata ou ouro. Os projetos de empreendimentos que receberem o Selo poderão fazer o uso da logomarca em material publicitário de venda das unidades, tais como folders, placa de obra, anúncios em jornais, revistas e outros meios de comunicação. Após a conclusão das obras, os empreendimentos poderão instalar placa metálica, divulgando o nível de gradação do Selo atingido pelo projeto



Figura 92. Logomarcas do Selo Casa Azul níveis Ouro, Prata e Bronze

Não haverá despesas para o proponente na concessão do Selo, apenas será cobrada uma taxa de análise de projeto candidato ao Selo Casa Azul CAIXA, emitida na entrega da documentação para cobertura dos custos da análise técnica, conforme fórmula abaixo:

Taxa =  $40,00 + 7 (n-1)$  limitada a R\$ 328,00,

sendo n = número de unidades

Não haverá taxas de vistorias extras.

O download do manual do Selo Casa Azul da CAIXA pode ser efetuado no seguinte link:

[http://downloads.caixa.gov.br/arquivos/desenvolvimento\\_urbano/gestao\\_ambiental/Guia\\_Selo\\_Casa\\_Azul\\_CAIXA.pdf](http://downloads.caixa.gov.br/arquivos/desenvolvimento_urbano/gestao_ambiental/Guia_Selo_Casa_Azul_CAIXA.pdf)

---

## 8.2 ETIQUETAGEM DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

No dia 29 de novembro de 2010 foi realizado o lançamento da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) de Edificações Residenciais. Nesta oportunidade, foram apresentadas as três possibilidades de ENCEs para esta tipologia de edificação: ENCE de Unidades Habitacionais Autônomas (edificações unifamiliares ou apartamentos de edificações multifamiliares), ENCE de Edificações Multifamiliares e ENCE de Áreas de Uso Comum.

O processo de etiquetagem de edificações tanto residenciais quanto comerciais é um dos resultados da regulamentação brasileira criada para promover a eficiência energética no país. A primeira iniciativa no âmbito de legislações efetivamente instituídas para promover a eficiência energética, surgiu como consequência da crise de energia de 2001, quando foi sancionada Lei No 10.295, de 17 de outubro de 2001, que “dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia”. O artigo 4º desta lei afirma que “o Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no País”. Dois meses depois a regulamentação foi publicada sob forma do Decreto 4.059 de 19 de dezembro de 2001, indicando, no artigo 1o, que “os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, (...), bem como as edificações construídas, serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica (...)”. A Universidade Federal de Santa Catarina, através de um convênio com a Eletrobrás/PROCEL, ficou responsável pelo desenvolvimento da base técnica para esta regulamentação.

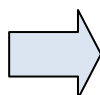
A continuação apresenta-se um resumo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), o qual tem como objetivo criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares.

### 8.2.1 CLASSIFICAÇÃO

As edificações obtêm uma classificação (Tabela 35) que varia do nível A (mais eficiente) ao E (menos eficiente) mediante uma pontuação final calculada a partir dos níveis de eficiência dos diferentes requisitos (Tabela 34). O nível de eficiência de cada requisito equivale a um número de pontos correspondentes (Equivalente Numérico).

**Tabela 34. Níveis de Eficiência dos requisitos**

Eficiência	EqNum
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1



**Tabela 35. Classificação final das edificações**

Pontuação Total	Classificação
$PT \geq 4,5$	A
$3,5 \leq PT \leq 4,5$	B
$2,5 \leq PT \leq 3,5$	C
$1,5 \leq PT \leq 2,5$	D
$PT \leq 1,5$	E

### 8.2.2 Tipos de etiqueta

O processo da etiquetagem residencial começa pela identificação do tipo de espaço que se quer avaliar, sendo que existem três categorias: Unidades Habitacionais Autônomas (UH), Edificações Multifamiliares e Áreas de Uso Comum de edificações multifamiliares ou de condomínios de edificações residenciais. As UH's correspondem a uma unidade de uma edificação multifamiliar (apartamento) ou a uma edificação unifamiliar (casa).



Figura 93. Tipos de espaços a etiquetar

A etiquetagem de eficiência energética para cada uma das categorias acima é feita da seguinte forma:

#### 8.2.2.1 Unidades Habitacionais Autônomas (UHs):

Avaliam-se os requisitos relativos ao desempenho térmico da envoltória, à eficiência do(s) sistema(s) de aquecimento de água e a eventuais bonificações (ventilação natural, iluminação natural, iluminação artificial, uso racional de água, condicionamento artificial de ar, ventiladores de teto, refrigeradores e medição individualizada).

#### 8.2.2.2 Edificação Unifamiliar:

Aplica-se o procedimento descrito acima para a unidade habitacional autônoma.

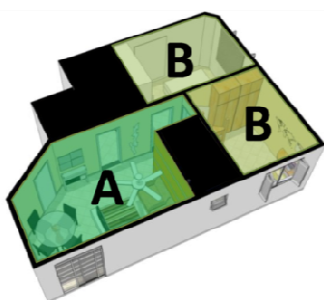


Figura 94. Avaliação individual de ambientes de permanência prolongada

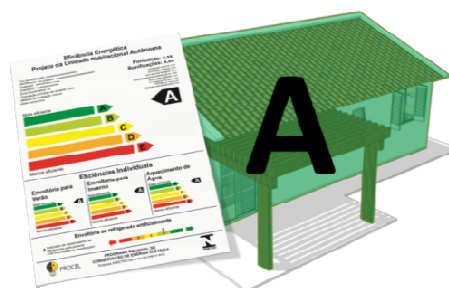


Figura 95. Avaliação individual das UHs

#### 8.2.2.3 Edificações Multifamiliares:

Resulta da ponderação da avaliação dos requisitos de todas as (UHs) da edificação pela área útil das mesmas, excluindo terraços e varandas.

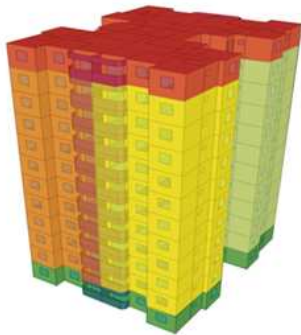


Figura 96. Equivalente numérico de cada UH de uma edificação multifamiliar

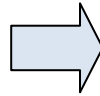


Figura 97. Equivalente numérico da edificação Multifamiliar

8.2.2.4 Áreas de Uso Comum:

Elas dividem-se em áreas comuns de uso frequente (corredores, halls, garagens, elevadores, acessos, etc ) e áreas comuns de uso eventual (salão de festas, piscinas, sala de ginástica, cinema, espaço gourmet e demais áreas destinadas ao lazer). Para as primeiras avaliam-se os requisitos relativos à eficiência do sistema de iluminação artificial, dos elevadores e das bombas centrífugas; nas segundas avalia-se a iluminação artificial, os equipamentos (condicionadores de ar, eletrodomésticos, outros), o sistema de aquecimento de água (chuveiros e piscina) e sauna. Elas também podem obter bonificações correspondentes ao uso racional de água, a iluminação e a ventilação natural em áreas de uso frequente.

8.2.2.5 ENCEs:

Na Figura 98, Figura 99 e Figura 100 apresentam-se as Etiquetas Nacionais de Conservação de Energia (ENCEs) possíveis de serem obtidas

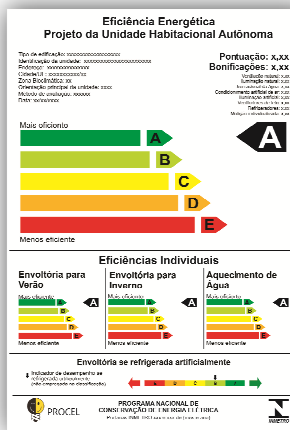


Figura 98. Etiqueta UH

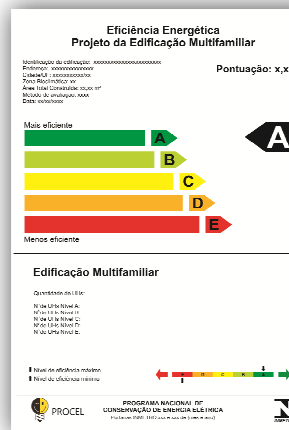


Figura 99. Etiqueta Multifamiliar

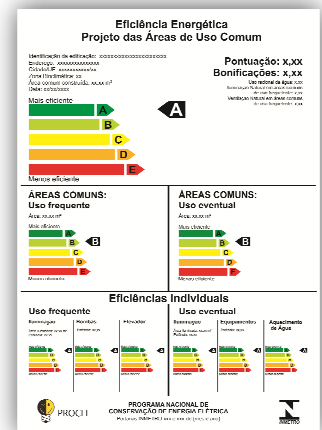


Figura 100. Etiqueta Área de Uso Comum

8.2.3 Pré-requisitos:

Antes de calcular os requisitos necessários para obter a etiqueta final, deve se verificar uns pré-requisitos dependendo da tipologia do espaço avaliado.

Para a envoltória das UHs deve se verificar as transmitâncias, capacidade térmica e absorvância das superfícies; assim como a ventilação e iluminação natural. No caso de utilizar o método de simulação deve-se verificar, além da ventilação e iluminação natural descritos anteriormente, o programa de simulação e o arquivo climático. Para o sistema de aquecimento de água, a tubulação deve ser apropriada para a função e se for desejado obter níveis A e B neste requisito, as tubulações devem ter isolamento térmico. Os reservatórios que não solares devem ter resistência térmica mínima de 0,220 (m<sup>2</sup>K)/W.

Para as edificações multifamiliares, cada UH deve possuir medição centralizada de água e energia. Nas áreas de uso comum de uso freqüente, os motores elétricos trifásicos devem ser de alto rendimento para obtenção do nível A, e os sistemas de ventilação mecânica devem ter controle do nível de (CO) para garagens sem ventilação natural.

#### 8.2.4 CALCULO DE UHS:

As Unidades Habitacionais Autônomas recebem uma pontuação total (PT<sub>UH</sub>) aplicando a equação a seguir:

$$PT_{UH} = (a \times EqNumEnv) + [(1 - a) \times EqNumAA] + Bonificações$$

**Equação 1. Pontuação total da UH**

Onde:

a: coeficiente adotado de acordo com a região geográfica (mapa político do Brasil) na qual a edificação está localizada (Tabela 36);

EqNumEnv: equivalente do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autônoma quando ventilada naturalmente;

EqNumAA: equivalente numérico do sistema de aquecimento de água;

Bonificações: pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência.

##### 8.2.4.1 Coeficiente a:

**Tabela 36**

Coeficiente	Região Geográfica				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
a	0,95 / 0,65	0,95 / 0,65	0,75	0,75	0,75

##### 8.2.4.2 Equivalente Numérico da envoltória:

O EqNumEnv deve ser calculado para a edificação quando ventilada naturalmente ou condicionada artificialmente. Na equação, utiliza-se os resultados da edificação quando ventilada naturalmente e a eficiência da envoltória quando condicionada artificialmente é de caráter informativo. As variáveis usadas para seu cálculo podem ser obtidas mediante o método prescritivo ou de simulação e seu calculo é feito resolvendo a equação a seguir.

$$EqNumEnv = 0,08 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0,92 \times EqNumEnv_A$$

**Equação 2. Equivalente numérico da envoltória**



Onde:

EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória da UH;

EqNumEnv<sub>Resfr</sub>: equivalente numérico da envoltória da UH para resfriamento;

EqNumEnv<sub>A</sub>: equivalente numérico da UH para aquecimento

#### 8.2.4.2.1 Equivalente numérico da envoltória para resfriamento

Para determinar o “EqNumEnv<sub>Resfr</sub>” precisa-se calcular os “Graus Hora de Refrigeração” (GHR.Equação 3) de cada ambiente de permanência prolongada avaliado. As condições que determinarão a classificação da envoltória para resfriamento variam de acordo com a zona bioclimática na qual a edificação está localizada (Figura 101). Com base neste cálculo pode se obter a eficiência da envoltória para verão.

Eficiência	EqNumEnvAmb <sub>Resfr</sub>	Condição	Condição
A	5	$GHR \leq 143$	$GHR \leq 727$
B	4	$143 < GHR \leq 287$	$727 < GHR \leq 1.453$
C	3	$287 < GHR \leq 430$	$1.453 < GHR \leq 2.180$
D	2	$430 < GHR \leq 574$	$2.180 < GHR \leq 2.906$
E	1	$GHR > 574$	$GHR > 2.906$

Figura 101

Comparação do equivalente numérico da envoltória para resfriamento da Zona Bioclimática 1 e 4

O cálculo dos GHR pelo método prescritivo usa equações de regressão múltipla baseadas em casos simulados no programa de simulação “EnergyPlus”. Nesse processo foram simulados mais de 150 mil casos e foram necessárias mais de 3 mil horas de simulação computacional. A Equação 3 apresenta um exemplo de uma equação para a Zona Bioclimática 1. No site do Labeee (<http://www.labeee.ufsc.br/>) esta disponível uma planilha para o cálculo de todas as zonas.


$$\begin{aligned}
 GHR = & (a) + (b \times CT_{baixa}) + (c \times PD/AU_{amb}) + (d \times U_{cob} \times \alpha_{cob} \times cob \times AU_{amb}) \\
 & + [e \times (U_{cob} \times \alpha_{cob}/CT_{cob}) \times AU_{amb}] + (f \times somb) + (g \times CT_{cob}) + (h \times \alpha_{cob}) \\
 & + (i \times AAb_O \times (1-somb)) + (j \times isol) + (k \times solo) + (l \times Ab_S) \\
 & + [m \times (U_{par} \times \alpha_{par}/CT_{par}) \times SomA_{par}] + (n \times F_{vent}) + (o \times CT_{par}) + (p \times pil) \\
 & + (q \times cob \times AU_{amb}) + (r \times vid) + (s \times cob) + (t \times Ab_O) \\
 & + (u \times AAb_N \times somb) + (v \times AU_{amb}) + (w \times PD) + (x \times solo \times AU_{amb}) \\
 & + (y \times AAb_L \times F_{vent}) + (z \times AP_{ambN} \times \alpha_{par}) + (aa \times AP_{ambL} \times U_{par} \times \alpha_{par}) \\
 & + (ab \times AP_{ambL} \times U_{par}) + (ac \times AAb_S \times somb) + (ad \times AAb_O \times somb) \\
 & + (ae \times AP_{ambS} \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (af \times \alpha_{par}) + (ag \times CT_{alta}) + (ah \times U_{par}) \\
 & + (ai \times AAb_S \times F_{vent}) + (aj \times AP_{ambO} \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (ak \times AP_{ambO} \times U_{par}) \\
 & + (al \times P_{ambN}) + (am \times Ab_N)
 \end{aligned}$$

Equação 3 Indicador graus-hora para resfriamento da ZB1

#### 8.2.4.2.2 Equivalente numérico da envoltória para aquecimento

Para determinar o “EqNumEnv<sub>A</sub>” precisa-se calcular o “Consumo Relativo para Aquecimento” (CA.Equação 4) de cada ambiente avaliado. As condições que determinarão a classificação da envoltória para aquecimento variam de acordo com a zona bioclimática na qual a edificação está localizada (Figura 102). Com base neste cálculo pode obter se a eficiência da envoltória para inverno.

Eficiência	EqNumEnvAmb <sub>A</sub>	Condição (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
A	5	$C_A \leq 16,700$
B	4	$16,700 < C_A \leq 33,400$
C	3	$33,400 < C_A \leq 50,099$
D	2	$50,099 < C_A \leq 66,799$
E	1	$C_A > 66,799$



Condição (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	
$C_A \leq 5,838$	
$5,838 < C_A \leq 11,675$	
$11,675 < C_A \leq 17,513$	
$17,513 < C_A \leq 23,350$	
$C_A > 23,350$	

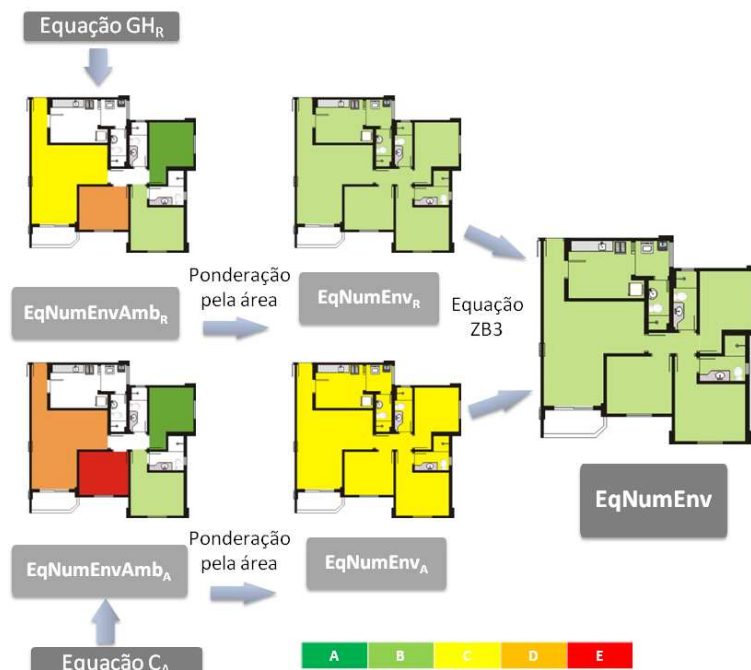
**Figura**  
**Comparação do equivalente numérico da envoltória para aquecimento da Zona Bioclimática 1 e 4**

102

A Equação 4 apresenta um exemplo de uma equação para a Zona Bioclimática 1. No site do Labeee (<http://www.labeee.ufsc.br/>) esta disponível uma planilha para o cálculo de todas as zonas.

$$\begin{aligned}
 C_A = & [(a) + (b \times AU_{amb}) + (c \times pil) + (d \times U_{par}) + (e \times solo) + (f \times CT_{par}) \\
 & + (g \times P_{ambS}) + (h \times U_{cob}) + (i \times PD \times AU_{amb}) + (j \times CT_{baixa}) + (k \times \alpha_{par}) \\
 & + (l \times CT_{cob}) + (m \times P_{ambL}) + (n \times vid) + (o \times AP_{ambO}) + (p \times somb) \\
 & + (q \times AAbS) + (r \times AAbN \times F_{vent}) + (s \times CT_{alta}) \\
 & + [t \times (U_{cob} \times \alpha_{cob}/CT_{cob}) \times AU_{amb}] + (u \times U_{cob} \times \alpha_{cob} \times cob \times AU_{amb}) \\
 & + (v \times AP_{ambN} \times U_{par}) + (w \times AP_{ambN} \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (x \times AAbO \times F_{vent}) \\
 & + [y \times (U_{par} \times \alpha_{par}/CT_{par}) \times SomA_{par}] + (z \times F_{vent}) + (aa \times cob \times AU_{amb}) \\
 & + (ab \times \alpha_{cob}) + (ac \times cob) + (ad \times AP_{ambO} \times \alpha_{par}) + (ae \times AP_{ambS} \times U_{par}) \\
 & + (af \times AP_{ambS} \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (ag \times AP_{ambS}) + (ah \times AAbL \times F_{vent}) \\
 & + (ai \times AAbS \times F_{vent}) + (aj \times AAbO \times somb) + (ak \times AAbL) \\
 & + (al \times SomA_{parExt} \times CT_{par}) + (am \times P_{ambO}) + (an \times AP_{ambS} \times \alpha_{par}) \\
 & + (ao \times pil \times AU_{amb}) + (ap \times AP_{ambN} \times \alpha_{par}) + (aq \times AP_{ambL} \times \alpha_{par}) + (ar \times AbO) \\
 & + (as \times AAbN \times somb) + (at \times isol) + (au \times AAbS \times U_{vid}) \\
 & + (av \times AAbL \times U_{vid}) + (aw \times AAbO \times U_{vid}) + (ax \times AAbN \times U_{vid}) + (ay \times PD) \\
 & + (az \times AAbO) + (ba \times AAbN \times (1-somb))] / 1000
 \end{aligned}$$

**Equação 4 consumo relativo para aquecimento da ZB1**



**Figura 103 Resumo calculo EqNumEnv**

Para calcular a eficiência da envoltória quando condicionada artificialmente aplica-se o procedimento anterior, porém utilizando as equações de consumo relativo para refrigeração ( $C_R$ ) ao invés do indicador de graus hora para resfriamento ( $GH_R$ ). Esse cálculo deve ser feito somente nos dormitórios. Todas as edificações devem realizar este cálculo, porém o resultado é apenas informativo. A obtenção do nível A de eficiência quando condicionada artificialmente é obrigatória para edificações que pretendem obter a bonificação de condicionamento de ar.

### 8.2.4.3 Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água

O cálculo do “EqNumAA” muda em função do sistema utilizado, podendo ser este: aquecimento solar, elétrico, a gás, ou com bombas de calor. Para a sua obtenção se faz uma ponderação dos sistemas instalados pela demanda e seu EqNumAA.



Figura 104. Sistemas de aquecimento de água

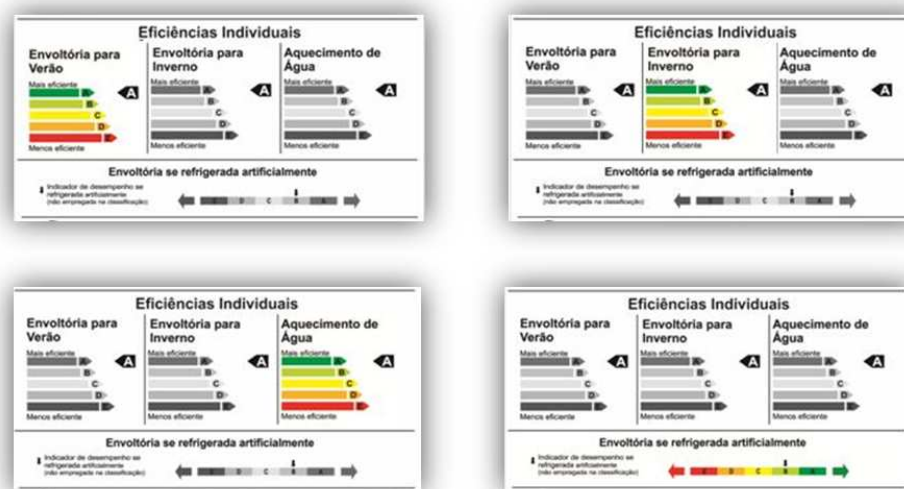


Figura 105. Eficiências Individuais dos requisitos das UHs

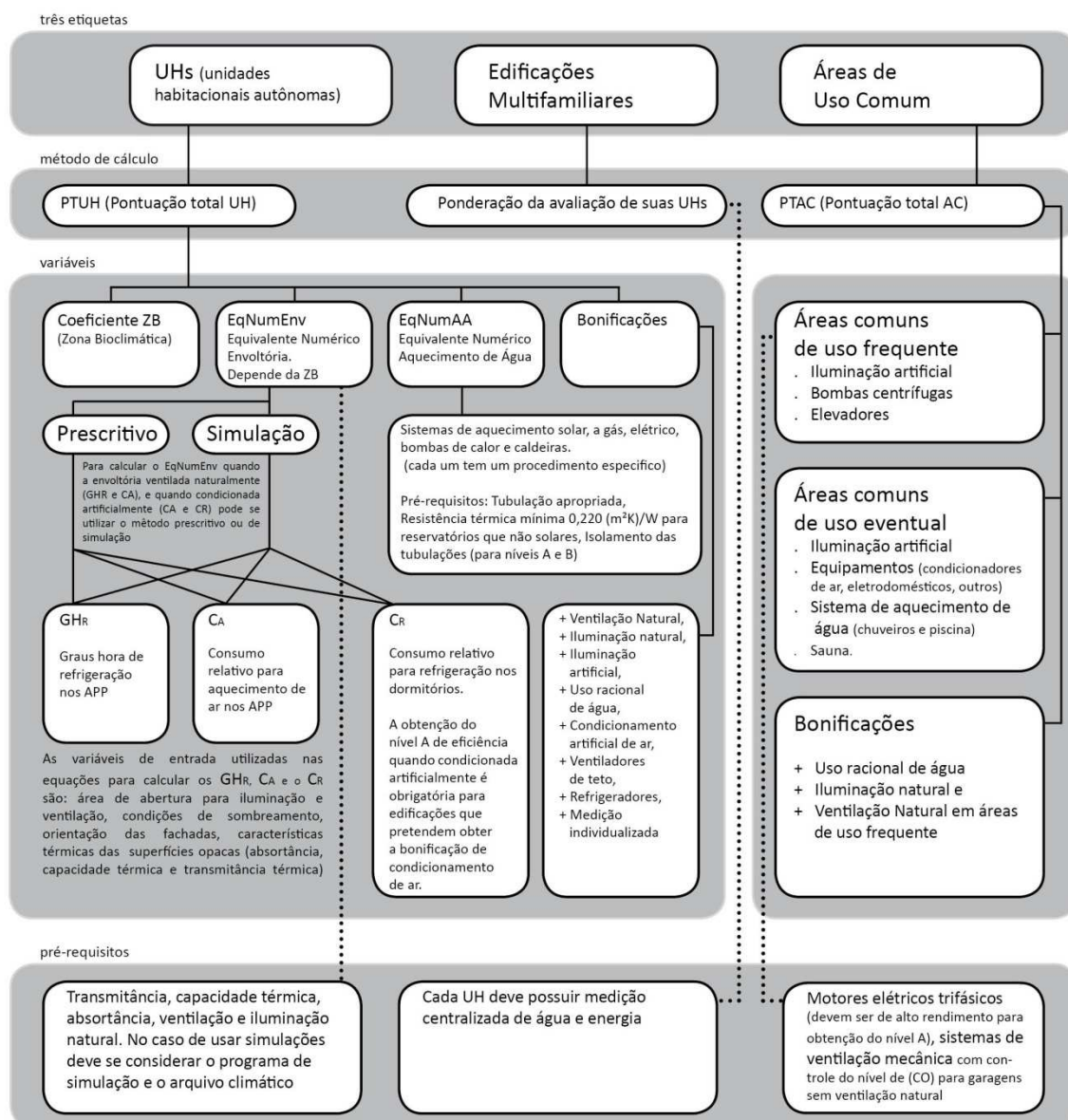
### 8.2.4.4 Bonificações:

As iniciativas que aumentem a eficiência da UH poderão receber até 1 (um) ponto na classificação geral da UH somando os pontos obtidos por meio das bonificações (Figura 106). Para tanto, estas iniciativas devem ser justificadas e comprovadas. As bonificações possíveis são independentes entre si e podem ser parcialmente alcançadas. A bonificação total alcançada é a somatória das bonificações obtidas em cada item.

Ventilação Natural	0,40
Iluminação Natural	0,30
Uso racional de Água	0,20
Condicionamento de Ar	0,20
Iluminação Artificial	0,10
Ventiladores de teto	0,10
Refrigeradores	0,10
Medição individualizada	0,10

Figura 106. Bonificações

### 8.2.5 Quadro resumo do etiquetagem residencial



## 8.2.6 Publicações

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) apresenta-se em quatro volumes os quais tem os principais conteúdos referentes à etiquetagem. O Volume 1 contém um texto de apresentação do processo; o Volume 2 apresenta o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R); o Volume 3 apresenta o Regulamento de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RAC-R), estabelecendo o processo de avaliação da conformidade da edificação e os critérios para etiquetagem junto ao Organismo de Inspeção Acreditado; e o Volume 4 apresenta o manual explicativo para aplicação do RTQ-R:

**Volume 1 (INTRO-R):** Introdução à etiquetagem de eficiência energética de edificações residenciais;

**Volume 2 (RTQ-R):** Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais;

**Volume 3 (RAC-R):** Requisitos de avaliação da conformidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais;

**Volume 4 (MANUAL-R):** Manual para aplicação do RTQ-R.





## SUMÁRIO DE FIGURAS

Figura 1. Equilíbrio no balanço térmico gera a sensação de conforto. ....	5
Figura 2. Atividades metabólicas e suas taxas expressas em Met. Fonte: www.innova.dk.....	7
Figura 3. Somatório de peças de roupa que produzem índice de resistência térmica final para a vestimenta. Fonte: www.hku.hk/bse/bbse3004/bbse3004_0405 .....	9
Figura 4. Trocas entre um ambiente real e o corpo e entre um ambiente imaginário e o mesmo corpo, através da temperatura radiante média. Fonte: www.innova.dk.....	10
Figura 5. Termometro de globo, utilizado para medição da temperatura de globo. ....	10
Figura 6. Psicrômetro giratório, utilizado para medição da temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido. Fonte: www.labcon.ufsc.br .....	11
Figura 7. Anemômetro de hélice para medição da velocidade do vento. Fonte: www.labcon.ufsc.br .....	12
Figura 8. Termoanemômetro para medição da velocidade do ar. Fonte: www.labcon.ufsc.br.....	12
Figura 9. Carta psicrométrica. ....	14
Figura 10. PMV e PPD.....	15
Figura 11. Tela de entrada das variáveis climáticas para avaliação no módulo de conforto térmico do Analysis CST. ....	16
Figura 12. Tela do resultado gráfico de PMV e PPD no módulo de conforto térmico do Analysis CST.....	16
Figura 13. Tela da ilustração das trocas térmicas no módulo de conforto térmico do Analysis CST, para as variáveis Met= 70W/m <sup>2</sup> , Vestimenta= 1.85clo, T <sub>ar</sub> = 27°C , .....	17
Figura 14. Tela do resultado gráfico do Analysis CST mostrando o PPD de 45,71% em relação ao PMV de aproximadamente 1,40. ....	21
Figura 15. Tela do resultado gráfico do Analysis CST mostrando a situação de conforto para a temperatura do ar de 16°C.....	21
Figura 16. Redução do PMV em função da queda da TBU.....	22
Figura 17. Trajetória do sol diferenciando as estações do ano. ....	24
Figura 18. Temperaturas máximas e mínimas diárias para Florianópolis. ....	25
Figura 19. Umidade relativa máxima e mínima diária para o TRY de Florianópolis.....	26
Figura 20. Rosa dos ventos do TRY de Florianópolis, com direção e velocidades mais frequentes.....	27
Figura 21. Zona de conforto. ....	28
Figura 22. Zona de ventilação. ....	28
Figura 23. Ventilação cruzada, em planta. ....	28
Figura 24. Ventilação pela cobertura.....	28
Figura 25. Ventilação cruzada, elevação. Fonte: Watson e Labs, 1983 .....	29
Figura 26. Zona de resfriamento evaporativo.....	29
Figura 27. Resfriamento evaporativo direto com microaspersão de água no ar. ....	29
Figura 28. Resfriamento indireto, através da cobertura.....	29
Figura 29. Zona de inércia térmica para resfriamento. ....	30
Figura 30. O solo como estratégia de inércia térmica para resfriamento.....	30
Figura 31. Paredes com inércia e sombreadas proporcionam resfriamento no ambiente. ....	30
Figura 32. Zona de resfriamento artificial. ....	30
Figura 33. Zona de umidificação.....	31
Figura 34. Umidificação com fontes de água. ....	31
Figura 35. Zona de inércia térmica e aquecimento solar. ....	31
Figura 36. Uso da energia solar e inércia térmica no forro para aquecimento.....	32
Figura 37. Inércia térmica nas paredes externas com um pano de vidro (parede Trombe) recebendo a radiação solar e aquecendo os ambientes.....	32
Figura 38. Inércia térmica em paredes internas. ....	32
Figura 39. Inércia térmica associada a varandas fechadas com vidro. ....	32
Figura 40. Zona de aquecimento solar passivo.....	32
Figura 41. Uso pleno da radiação solar para aquecimento. ....	33
Figura 42. Orientação norte permite o controle da radiação solar.....	33
Figura 43. Zona de aquecimento artificial. ....	33
Figura 44. Carta bioclimática para Florianópolis pelo Analysis Bio.....	34
Figura 45. Parte do relatório do Analysis Bio contendo as estratégias bioclimáticas para Florianópolis.....	35
Figura 46. Carta bioclimática para Natal.....	36
Figura 47. Carta bioclimática para Brasília .....	36
Figura 48. Carta bioclimática para Curitiba .....	37
Figura 49. Zonas bioclimáticas definidas pela Norma Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2003).....	39

Figura 50. Planta de uma residência hipotética na cidade de Porto Alegre. ....	40
Figura 51. Planta com modificações sugeridas para adequar a edificação ao clima. ....	41
Figura 52. Espectro Eletromagnético. Fonte: CARMODY et al., 1996 (adaptado). ....	42
Figura 53. Rotação da Terra. ....	43
Figura 54. Translação da Terra ao redor do Sol. ....	43
Figura 55. Azimute e altura solar para um dia qualquer às 10h (Ilustração: Luciano Dutra) ....	44
Figura 56. Projeção Estereográfica. ....	45
Figura 57. Movimento aparente do Sol no hemisfério sul. ....	45
Figura 58. Projeção estereográfica para a latitude 27° Sul (vista em corte). ....	46
Figura 59. Diagrama solar para a latitude 27° Sul (vista em planta). ....	46
Figura 60. Informações contidas no diagrama solar. (Ilustração: Luciano Dutra). ....	46
Figura 61. Diagrama solar para Florianópolis (latitude 27° Sul), projeção estereográfica. ....	47
Figura 62. Ângulos alfa interno e externo. ....	51
Figura 63. Transferidor de ângulos. ....	51
Figura 64. Ângulos alfa, beta e gama. ....	52
Figura 65. Mascaramento proporcionado pelo brise horizontal infinito. ....	58
Figura 66. Mascaramento proporcionado pelo brise vertical infinito. ....	59
Figura 67. Mascaramento proporcionado pelo brise horizontal finito. ....	60
Figura 68. Mascaramento proporcionado pelo brise vertical finito. ....	61
Figura 69. Brises mistos. ....	61
Figura 70. Carta solar para a latitude de Florianópolis e transferidor auxiliar com máscara de proteção solar orientada a 20o do programa Sol-Ar. ....	62
Figura 71. Temperaturas horárias do primeiro semestre do TRY de Florianópolis (1963) do programa Sol-Ar. ....	62
Figura 72. Frequência de ocorrência do vento do TRY de Florianópolis (1963) do programa Sol-Ar. ....	63
Figura 73. Condição para transferência de calor. ....	87
Figura 74. Transferência de calor em uma parede. ....	87
Figura 75. Radiação solar em superfícies opacas. ....	90
Figura 76. Diferentes orientações de fachada. ....	95
Figura 77. Termografia diferentes orientações de fachada. ....	95
Figura 78. Diferentes tintas na fachada exterior 1. ....	96
Figura 79. Termografia diferentes tintas na fachada exterior 1. ....	96
Figura 80. Diferentes tintas na fachada exterior 2. ....	96
Figura 81. Termografia diferentes tintas na fachada exterior 2. ....	96
Figura 82. Diferentes cores no telhado. ....	96
Figura 83. Termografia diferentes cores no telhado. ....	96
Figura 84. Radiação solar em superfícies transparentes. ....	97
Figura 85. Comportamento de alguns vidros diante da energia radiante. ....	98
Figura 86. Efeito chaminé. ....	103
Figura 87. Ventilação cruzada. ....	103
Figura 88. Ventilação unilateral. ....	103
Figura 89. Ângulo de incidência do vento. ....	104
Figura 90. Área útil de ventilação. ....	105
Figura 91. Planta Baixa edificação exemplo. ....	111
Figura 92. Logomarcas do Selo Casa Azul. ....	123
Figura 93. Tipos de espaços a etiquetar. ....	126
Figura 94. Avaliação individual de ambientes de permanência prolongada. ....	126
Figura 95. Avaliação individual das UHs. ....	126
Figura 96. Equivalente numérico de cada UH de uma edificação multifamiliar. ....	127
Figura 97. Equivalente numérico. ....	127
Figura 98. Etiqueta UH. ....	127
Figura 99. Etiqueta Multifamiliar. ....	127
Figura 100. Etiqueta Área. ....	127
Figura 101. Comparação do equivalente numérico da envoltória. ....	129
Figura 102. Comparação do equivalente numérico da envoltória. ....	130
Figura 103. Resumo calculo EqNumEnv. ....	130
Figura 104. Sistemas de aquecimento de água. ....	131
Figura 105. Eficiências Individuais dos requisitos das UHs. ....	131
Figura 106. Bonificações. ....	132

---

**SUMÁRIO DE TABELAS**



Tabela 1. Taxa metabólica para diferentes atividades segundo ISO 7730 (1994).....	7
Tabela 2. Índice de resistência térmica para vestimentas segundo ISO 7730 (1994).....	8
Tabela 3. Escala térmica de Fanger.....	13
Tabela 4. Fator de expectativa (e).....	19
Tabela 5. Estratégias bioclimáticas para 3 cidades brasileiras indicadas pelo.....	38
Tabela 6. Datas de início das estações do ano para o hemisfério sul.....	44
Tabela 7. Azimutes e alturas solares para solstícios e equinócios (Florianópolis, latitude 27° Sul).....	48
Tabela 8. Emissividade de superfícies.....	89
Tabela 9. Emissividade de superfícies (cont.).....	89
Tabela 10. Absortividade de cores e superfícies.....	90
Tabela 11. Radiação solar incidente em planos verticais e horizontais para o dia 22 de dezembro na latitude 30° Sul segundo FROTA & SCHIFFER (1995).....	93
Tabela 12. Comportamento térmico de alguns vidros segundo RIVERO (1986).....	99
Tabela 13. Fator solar para alguns tipos de superfícies transparentes segundo LAMBERTS et alii (1997).....	100
Tabela 14. Fator solar para alguns tipos de proteções solares segundo LAMBERTS et alii (1997).....	100
Tabela 15. Diferença entre os coeficientes de pressão do vento para casas em campo aberto.....	104
Tabela 16. Coeficiente de pressão do vento para loteamentos.....	104
Tabela 17. Coeficientes K e a.....	105
Tabela 18. Redução do fluxo de ar com a adoção de telas contra mosquitos.....	107
Tabela 19. Exemplos de paredes adequados às diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005).....	110
Tabela 20. Exemplos de coberturas adequados às diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005).....	110
Tabela 21. Transmitância Térmica, capacidade térmica e atraso térmico para uma edificação exemplo.....	111
Tabela 22. Cálculo das aberturas conforme Norma e da edificação exemplo.....	112
Tabela 23. Sombreamento das aberturas para a edificação exemplo.....	112
Tabela 24. Transmitância Térmica, atraso térmico e Fator de Calor Solar conforme a Norma e da edificação exemplo.....	113
Tabela 25. Composição da parede recomendada para a edificação do exemplo, conforme a Norma.....	113
Tabela 26. Transmitância térmica de paredes externas.....	116
Tabela 27. Capacidade térmica de paredes externas.....	116
Tabela 28. Áreas mínimas de aberturas para ventilação.....	117
Tabela 29. Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica.....	119
Tabela 30. Níveis de gradação de Selo Casa Azul.....	121
Tabela 31. Resumo categorias, critérios e classificação.....	121
Tabela 32. Resumo categorias, critérios e classificação (cont.).....	122
Tabela 33. Limites de avaliação e localidades para o Selo Casa Azul nível bronze.....	122
Tabela 34. Níveis de.....	125
Tabela 35. Classificação.....	125
Tabela 36.....	128

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABILUX (1996<sub>a</sub>). *Iluminação eficiente é uma das lutas da ABILUX*. Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. Jornal ABILUX, ano VI, nº 64, p 3.
- ABILUX (1996<sub>b</sub>). *Projetos arquitetônicos adequados reduzem o consumo de energia em até 60%*. Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. Jornal ABILUX, ano VI, nº 62, p 4.
- ABILUX (1995<sub>a</sub>). *Escola reduz consumo de energia com iluminação eficiente*. Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. Jornal ABILUX, ano V, nº 60, p 3.
- ABILUX (1995<sub>b</sub>). *Projeto garante segurança através da iluminação*. Associação Brasileira

- da Indústria de Iluminação. *Jornal ABILUX*, ano V, nº 56, p 2.
- ABILUX (1995c). *Conservar energia significa mais verbas para educação e saúde*. Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. *Jornal ABILUX*, ano V, nº 55, p 3.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projeto de Norma 02-135: Desempenho Térmico de Edificações*. Rio de Janeiro. 2004
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-15220-3:2005. Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-15575: Edifícios Habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho*. 2008
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. (1992). *ASHRAE 55 - Thermal environmental conditions for human occupancy*, Atlanta.
- ANDRADE, S. F. (1996). *Estudo de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, abril/96, 135 p.
- BANDALA, A. I. (1995). *Importance of the Mexican lighting systems in commerce and services*. In: Right Light Three, 3<sup>rd</sup> European Conference on Energy-Efficient Lighting. Proceedings. Volume I: presented papers. England, p 163-170.
- BRAGER, G.S. (1992). “Using laboratory-based models to predict comfort in office buildings”, In: *ASHRAE Journal*, v.34, n.4, pp. 46-49, April.
- BRASIL. (2001a) *Lei n. 10295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia*. Lex: Diário Oficial da União, Brasília. Disponível em: <[www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf](http://www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf)>. Acesso em: 17/03/03
- BRASIL (2001b). *Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências*. Lex: Diário Oficial da União, Brasília. Disponível em: <[www.mme.gov.br/ministerio/legislacao/decretos/Decreto%20n%204.059-2001.html](http://www.mme.gov.br/ministerio/legislacao/decretos/Decreto%20n%204.059-2001.html)>. Acesso em: 17/03/03
- BRASIL. Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior – MDIC. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. Portaria no 449, de 25 de novembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2010.
- BUSCH, J.F. (1992). “A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand”, *Energy and Buildings*, v. 18, pp. 235-249.
- CADDET (1995). *Saving energy with efficient lighting in commercial buildings*. Maxi brochure 01.CADDET Energy Efficiency - Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies. The Netherlands. 22 p.
- CAIXA. Boas práticas para habitação mais sustentável. Coordenadores Vanderley Moacyr John, Racine Tadeu Araújo Prado. São Paulo: Páginas & Letras – Editora e Gráfica, 2010.
- CARMODY, J.; SELKOWITZ, S. e HESHONG, L. Residential Windows: a guide to new technologies and energy performance. 1a Edição, NY, USA, 1996.
- CRAWLEY, PEDERSEN, LAWRIE, WINKELMANN (2000),. *EnergyPlus: an energy simulation program*. In: *ASHRAE Journal*, 2000, v. 42, pp 49-56.
- DE DEAR, R.J., AULICIEMS, A. (1985). “Validation of the Predicted Mean Vote model of thermal comfort in six Australian field studies”, In: *ASHRAE Transactions*, v.91(2B).
- DE DEAR, R.J., BRAGER, G.S., COOPER, D.J. (1997). *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference - Final Report*, In: *ASHRAE RP 884*, Atlanta.
-

- DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA (2002) Eficiência Energética nos Edifícios, E4. Lisboa: Ogilvry & Mather. 48 p
- EIA (1992). *Energy consumption series: lighting in commercial buildings*. Energy Information Administration. Washington, DC, 96 p.
- EIA (1994). *Energy end-use intensities in commercial buildings*. Energy Information Administration. U.S. Department of Energy. Washington. September .
- EPRI (1993). *Advanced lighting guidelines: 1993*. Electric Power Research Institute. California Energy Commission. U. S. Department of Energy. Washington.
- EVANS, M.; SCHILLER, S. (1988). *Diseno bioambiental y arquitectura solar*. Universidad de Buenos Aires, Serie Ediciones Previas, nº 9.
- FANGER, P. O. (1972). *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill, New York, USA.
- FANGER, P.O., TOFTUM, J. (2002);“Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates”, *Energy and Buildings*, v.34, nº 6, pp.533-536.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R.; (1995). *Manual de conforto térmico, 2ª edição*. Nobel, São Paulo, 243 p.
- GELLER, H. S. (1990). *Efficient electricity use: a development strategy for Brazil*. American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, DC, 164 p.
- GHISI, E. (1997<sub>a</sub>). *Uso final de energia elétrica em edificações: um panorama mundial*. Relatório interno. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Núcleo de Pesquisa em Construção, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, julho/97, 38 p.
- GHISI, E.; (1997<sub>b</sub>). *Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFSC. Florianópolis, agosto/97, 246 p.
- GHISI, E.; RODAS, P. A. G. (1997). *Transmitância térmica de elementos construtivos*. Relatório interno, LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, UFSC. Florianópolis, abril/97.
- GHISI, E.; LAMBERTS, R. (1996). *Desempenho térmico de edificações: cálculo da transmitância e da capacidade térmica de elementos e componentes*. Texto base para norma. Núcleo de Pesquisa em Construção. UFSC. Florianópolis, 19 p.
- GIVONI, B. (1992). *Comfort, climate analysis and building design guidelines*. In: *Energy and building*, vol 18, July/92, p 11-23.
- GOULDING, J. R.; LEWIS, J. O.; STEEMERS, T. C. (1993). *Energy conscious design: a primer for architects*. Batsford for the Commission of the European Communities. London, 135 p.
- HONG, T., CHOU, S. K., BONG, T. Y. (2000) Building simulation: an overview of developments and information sources. In: *Building and Environment*. Oxford: Pergamon, 2000. v. 35, pp. 247-361
- IAEEL (1992). *Big Business sees the light*. IAEEL International Association for Energy-Efficient Lighting, Newsletter 1/92. Issue nº 1, vol 1.  
[http://eff.nutek.se/IAEEL/IAEEL/news1/1992/ett1992/PrN\\_a\\_1\\_92.html](http://eff.nutek.se/IAEEL/IAEEL/news1/1992/ett1992/PrN_a_1_92.html).
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (1994). *ISO 7730 – Moderate thermal environments – determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*, Geneva.
- ISO 7730 (1984). *Moderate thermal environments – determination of the PMV e PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*. International Standard, 19 p.
- KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. V.
-

- (1980). *Manual of tropical housing and building. Part 1: climatic design*. Longman Group Limited, London, 320 p.
- KOENIGSBERGER, O. H., et al. (1970) *Climate and house design*. New York: United Nations.
- KOREAN NATIONAL TEAM (1996). *New lighting systems*. In: New lighting systems, Newsletter 1996. CADDET Energy Efficiency - Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies. The Netherlands, p 20.
- LAMBERTS, R. (1995). *Simulação energética de edificações usando o DOE 2.1E*. Núcleo de Pesquisa em Construção, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. (1997). *Eficiência energética na arquitetura*. Livro a ser publicado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- LBL (1989). *Proceedings of the ASEAN special sessions of the ASHRAE far east conference on air conditioning in hot climates*. Lawrence Berkeley Laboratory. United States Agency for International Development. American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, Inc. Berkeley. October.
- LEONELLI, P. A.; ARAÚJO, I. M. T; SILVA, H. V. (1995). *O uso racional de energia e as perspectivas da iluminação eficiente no país*. In: Eletricidade Moderna. Aranda Editora. Ano XXIII, nº 261, dezembro/95, p 110-116.
- MASCARENHAS, A.; NERY, J.F.; D'ALCANTARA, A (1988). *Conservação de Energia e Conforto Ambiental em Edificações Comerciais de Salvador*; Relatório COELBA/UFBA/PROCEL.
- MIN, G. F.; MILLS, E.; ZHANG, Q. (1995). *Energy-efficient lighting in China: problems and prospects*. In: Right Light Three, 3<sup>rd</sup> European Conference on Energy-Efficient Lighting. Proceedings. Volume I: presented papers. England, p 261-268.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (2003). *Balanço Energético Nacional*. Disponível em <<http://www.mme.gov.br>> Acesso em: 13 de maio de 2004.
- OLGYAY, V. (1973). *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. 4<sup>a</sup> ed. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- PARLAMENTO EUROPEU. *Diretriz para melhoria do rendimento econômico dos edifícios na Comunidade Européia*. In: Jornal Oficial das Comunidades Européias, s/d, 2002. 8 p.
- PARRIS, T., KATES, R. (2005). *What is Sustainable Development? Goals, Indicators, Values and Practices*. In: Environment: Science and Policy or Sustainable Development, v. 47, pp 8-21.  
Disponível em: <[http://sustsci.harvard.edu/ists/docs/whatisSD\\_env\\_kates\\_0504.pdf](http://sustsci.harvard.edu/ists/docs/whatisSD_env_kates_0504.pdf)>  
Acesso em: 03/06/2005;
- PEDRINI, A. (1997). *Desenvolvimento de metodologia para calibração do programa DOE 2.1E*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFSC. Florianópolis, junho/97, 173 p.
- PROCEL (1993). *Manual de conservação de energia elétrica em prédios públicos e comerciais*. PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. 3<sup>a</sup> edição, 20 p.
- RIVERO, R. (1986). *Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural*. 2<sup>a</sup> edição, DC Luzzatto Editores Ltda, 240 p.
- SANTAMOURIS, M. (1995). *Energy retrofitting of office buildings*. Vol 1: Energy efficiency and retrofit measures for offices. Series: Energy Conservation in Buildings. Editors: M. Santamouris & D. Asimakopoulos. University of Athens, Greece, 178 p.
- SCHILLER, G.E. (1990), "A comparison of measured and predicted comfort in office buildings", In: *ASHRAE Transactions*, v. 96, part. I.
-

- SIGNOR, R. (1996). *Análise de sensibilidade do consumo de energia elétrica devido a padrões construtivos de edifícios*. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, dezembro/96.
- SLIEPENBEEK, W.; VAN BROEKHOVEN, L. (1995). *Evaluation of stimev, the all-Dutch utility-sponsored lighting rebate programs*. In: Right Light Three, 3<sup>rd</sup> European Conference on Energy-Efficient Lighting. Proceedings. Volume I: presented papers. England, p 247-254.
- THE EUROPEAN COMMISSION (1994). *Daylighting in buildings*. The European Commission. Directorate - General for Energy (DGXVII). The THERMIE Programme Action. Dublin, 26 p.
-

## **10 ANEXOS**

**Anexo 1 – Projeto 02:135.07-001**  
**Anexo 2 – Projeto 02:135.07-001/2**  
**Anexo 3 – Projeto 02:135.07-001/3**

---

**Anexo 1 – Projeto 02:135.07-001**



**ABNT – Associação  
Brasileira de  
Normas Técnicas**

Sede:  
Rio de Janeiro  
Av. Treze de Maio, 13 28º andar  
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680  
Rio de Janeiro – RJ  
Tel.: PABX (21) 3974-2300  
Fax: (21) 2240-8249/2220-6436  
Endereço eletrônico:  
www.abnt.org.br

Copyright © 2004,  
ABNT–Associação Brasileira  
de Normas Técnicas  
Printed in Brazil/  
Impresso no Brasil  
Todos os direitos reservados

NOV 2004

**Projeto 02:135.07-001**

# **Desempenho térmico de edificações**

## **Parte 1: Definições, símbolos e unidades**

Origem: Projeto 02:135.07-001:2003

ABNT/CB-02- Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-02:135.07 - Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações

Thermal performance in buildings - Terminology, symbols and units

Descriptors: Thermal performance. Buildings.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Edificações.

7 páginas

### **Sumário**

#### **Prefácio**

- 1 Objetivo
- 2 Definições

#### **ANEXO**

- A Referências bibliográficas

#### **Prefácio**

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta norma, sob o título geral "Desempenho térmico de edificações", tem previsão de conter as seguintes partes:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Esta parte da NBR contém o anexo A, de caráter informativo.

#### **1 Objetivo**

Esta parte da NBR estabelece as definições e os correspondentes símbolos e unidades de termos relacionados com o desempenho térmico de edificações.

NOTA - O anexo A apresenta a fonte de algumas definições abordadas nesta Norma.

#### **2 Definições**

Para os efeitos desta parte da NBR aplicam-se as definições, os símbolos e as unidades indicadas nas tabelas 1, 2 e 3, conforme o campo de estudo.



Tabela 1 - Características térmicas de materiais, elementos e componentes construtivos.

Nº	Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
1	Fluxo de calor ou Taxa de fluxo de calor	Quociente da quantidade de calor que atravessa uma superfície durante um intervalo de tempo pela duração desse intervalo.	Q	W
2	Densidade de fluxo de calor ou Densidade de taxa de fluxo de calor	Quociente do fluxo de calor que atravessa uma superfície pela área dessa superfície (1).	q	W/m <sup>2</sup>
3	Condutividade térmica	Propriedade física de um material homogêneo e isótropo, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m <sup>2</sup> , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro (2).	$\lambda$	W/(m.K)
4	Resistência térmica de elementos e componentes	Quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário.	R	(m <sup>2</sup> .K)/W
5	Resistência superficial interna	Resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície interna de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção.	R <sub>si</sub>	(m <sup>2</sup> .K)/W
6	Resistência superficial externa	Resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície externa de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção.	R <sub>se</sub>	(m <sup>2</sup> .K)/W
7	Resistência térmica total	Somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa.	R <sub>T</sub>	(m <sup>2</sup> .K)/W
8	Transmitância térmica ou Coeficiente global de transferência de calor	Inverso da resistência térmica total.	U	W/(m <sup>2</sup> .K)
9	Capacidade térmica	Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema (3).	C	J/K
10	Calor específico ou Capacidade térmica específica	Quociente da capacidade térmica pela massa.	c	J/(kg.K)
11	Capacidade térmica de componentes	Quociente da capacidade térmica de um componente pela sua área.	C <sub>T</sub>	J/(m <sup>2</sup> .K)
12	Densidade de massa aparente	Quociente da massa pelo volume aparente de um corpo.	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
13	Difusividade térmica	Quociente da condutividade térmica de um material ( $\lambda$ ) pela sua capacidade de armazenar energia térmica ( $\rho c$ ).	$\alpha$	m <sup>2</sup> /s
14	Atraso térmico	Tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor (4).	$\varphi$	h

Tabela 1 (conclusão) - Características térmicas de materiais, elementos e componentes construtivos.

Nº	Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
15	Fator de ganho de calor solar de elementos opacos ou Fator solar de elementos opacos	Quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo.	$FS_o$	-
16	Fator de ganho de calor solar de elementos transparentes ou translúcidos ou Fator solar de elementos transparentes ou translúcidos	Quociente da taxa de radiação solar diretamente transmitida através de um componente transparente ou translúcido, sob determinado ângulo de incidência, mais a parcela absorvida e posteriormente retransmitida para o interior, pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo.	$FS_t$	-
17	Coefficiente de sombreamento	Quociente entre o fator solar do componente transparente ou translúcido estudado e o fator solar de um vidro plano incolor de 3 mm de espessura ( $FS_t = 0,87$ )	CS	-
18	Emitância	Taxa de emissão de radiação por unidade de área (5).	E	$W/m^2$
19	Irradiância	Taxa de radiação incidente sobre um corpo, por unidade de área da superfície (5).	G	$W/m^2$
20	Radiosidade	Taxa de emissão de radiação de uma superfície por unidade de área, incluindo a parcela refletida da radiação incidente (5).	J	$W/m^2$
21	Emissividade	Quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura (5).	$\varepsilon$	-
22	Absortância à radiação solar	Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (6).	$\alpha$	-
23	Absortância em ondas longas	Quociente da taxa de radiação de ondas longas que é absorvida por uma superfície pela taxa de radiação de ondas longas incidente sobre esta superfície (7).	$\alpha_{ol}$	-
24	Refletância à radiação solar	Quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.	$\rho$	-
25	Refletância em ondas longas	Quociente da taxa de radiação de ondas longas que é refletida por uma superfície pela taxa de radiação de ondas longas incidente sobre esta superfície.	$\rho_{ol}$	-
26	Transmitância à radiação solar	Quociente da taxa de radiação solar que atravessa um elemento pela taxa de radiação solar incidente sobre este mesmo elemento.	$\tau$	-

(1) Esta grandeza também pode ser expressa por unidade de comprimento. Neste caso, seu símbolo é  $q'$  e sua unidade  $W/m$ .

(2) Quando existe transferência de calor por condução, convecção e radiação em materiais porosos recomenda-se usar o termo "condutividade térmica aparente".

(3) Para que esta grandeza seja completamente definida, é necessário que o tipo de transformação seja especificado.

(4) O atraso térmico depende da capacidade térmica do componente construtivo e da ordem em que as camadas estão dispostas.

(5) Todas as grandezas relativas às propriedades radiantes dos componentes devem fazer referência ao comprimento de onda da radiação e à sua direção de incidência ou de reflexão ou de emissão. Quando estas informações forem omitidas, tratam-se de propriedades totais hemisféricas.

(6) A radiação solar está concentrada na região do espectro eletromagnético compreendida entre comprimento de onda de  $0,2 \mu m$  e  $3,0 \mu m$ .

(7) Fontes de baixa temperatura emitem radiação térmica de onda longa com comprimento de onda compreendido entre  $3,0 \mu m$  e  $100,0 \mu m$ .

Tabela 2 - Características térmicas de ambientes.

Nº	Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
27	Transmitância em ondas longas	Quociente da taxa de radiação de ondas longas que é transmitida por um corpo pela taxa de radiação de ondas longas incidente sobre a superfície desse corpo.	$\tau_{ol}$	-
28	Transmitância à radiação visível	Quociente da taxa de radiação solar no espectro visível (0,38 a 0,72 $\mu\text{m}$ ) que atravessa um elemento transparente ou translúcido pela taxa de radiação solar no espectro visível incidente sobre este mesmo elemento.	$\tau_v$	-
29	Temperatura radiante plana	Temperatura uniforme do ambiente no qual o fluxo radiante incidente em um lado de um pequeno elemento plano é o mesmo que no ambiente real, geralmente não uniforme (1).	$T_{rp}$	$^{\circ}\text{C}$
30	Temperatura radiante média	Temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor do corpo humano por radiação é igual a troca de calor por radiação no ambiente real não uniforme.	$T_{rm}$	$^{\circ}\text{C}$
31	Assimetria de radiação	Diferença entre as temperaturas radiantas planas medidas em lados opostos de um pequeno elemento plano.	$\Delta T_{rp}$	$^{\circ}\text{C}$
32	Temperatura operativa	Temperatura uniforme de um ambiente com comportamento de corpo negro imaginário, no qual o ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme.	$T_o$	$^{\circ}\text{C}$
33	Temperatura efetiva	Temperatura operativa de um ambiente com 50% de umidade relativa que resulta na mesma troca total de calor do corpo humano que em um ambiente real.	$T_{ef}$	$^{\circ}\text{C}$
34	Temperatura neutra	Temperatura operativa para a qual o corpo humano encontra-se em neutralidade térmica.	$T_N$	$^{\circ}\text{C}$
35	Temperatura termodinâmica	Fração 1/273,15 de temperatura termodinâmica do ponto triplice da água.	$T$	K
36	Temperatura Celsius	Intervalo de temperatura unitário igual a 1K, numa escala de temperaturas em que o ponto 0 coincide com 273,15K.	$t$	$^{\circ}\text{C}$
37	Temperatura ar-sol	Temperatura fictícia que representa o efeito combinado da radiação solar incidente no fechamento e dos intercâmbios de energia por radiação e convecção entre a superfície e o meio envolvente.	$T_{ar-sol}$	$^{\circ}\text{C}$
38	Taxa de ventilação	Vazão de ar exterior que circula por um ambiente através de aberturas intencionais.	$V_{ar}$	$\text{m}^3/\text{s}$
39	Taxa de infiltração	Vazão de ar exterior que circula por um ambiente através de aberturas não intencionais.	$V_i$	$\text{m}^3/\text{s}$
40	Taxa de renovação de ar	Número de trocas de ar de um ambiente por unidade de tempo.	$N_v$	Renovações /hora

(1) A temperatura radiante plana é uma quantidade que descreve a radiação em uma direção.

**Tabela 3 - Grandezas do clima, do ambiente e da fisiologia humana relacionadas ao condicionamento térmico de edificações.**

Nº	Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
41	Conforto térmico	Satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente.	-	-
42	Neutralidade térmica	Estado físico no qual a densidade do fluxo de calor entre o corpo humano e o ambiente é igual à taxa metabólica do corpo, sendo mantida constante a temperatura do corpo.	-	-
43	Desconforto local	Aquecimento ou resfriamento de uma parte do corpo gerando insatisfação do indivíduo.	-	-
44	Taxa metabólica	Taxa de produção de energia do corpo (1).	TM	W/m <sup>2</sup>
45	Índice de resistência térmica de vestimentas	Resistência térmica da vestimenta à troca de calor sensível por condução, convecção e radiação entre a pele e a superfície externa da roupa (2).	I <sub>r</sub>	clo
46	Porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente	Porcentagem de pessoas em um ambiente que não se encontram termicamente satisfeitas (3).	PPI	%
47	Temperatura de bulbo seco	Temperatura do ar medida por um termômetro com dispositivo de proteção contra a influência da radiação térmica.	T <sub>BS</sub>	°C
48	Temperatura de bulbo úmido	Temperatura à qual a evaporação de água conduzirá uma massa de ar úmido, por meio de um processo isobárico de saturação adiabática. (Pode ser medida por um termômetro cujo bulbo está embutido em uma mecha embebida em água destilada, sobre o qual atua um exaustor de ar, tornando forçada a convecção entre a mecha e o ar).	T <sub>BU</sub>	°C
49	Temperatura de bulbo úmido natural	Temperatura à qual a evaporação de água conduzirá uma massa de ar úmido, por meio de um processo isobárico, não atingindo necessariamente a condição de saturação adiabática. (Pode ser medida por um termômetro cujo bulbo está embutido em uma mecha embebida em água destilada, o qual está sujeito à circulação de ar existente no ambiente).	T <sub>BU<sub>n</sub></sub>	°C
50	Umidade absoluta do ar	Quociente da massa de vapor d'água (em gramas) pela massa de ar seco (em quilogramas).	UA	g vapor/ kg ar seco
51	Umidade relativa do ar	Quociente da umidade absoluta do ar pela umidade absoluta do ar saturado para a mesma temperatura e pressão atmosférica.	UR	%
52	Zona bioclimática	Região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano.	-	-
53	Irradiância solar direta	Taxa de radiação solar direta incidente sobre uma superfície por unidade de área.	G <sub>dir</sub>	W/m <sup>2</sup>

Tabela 3 (conclusão) - Grandezas do clima, do ambiente e da fisiologia humana relacionadas ao condicionamento térmico de edificações.

Nº	Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
54	Irradiância solar difusa	Taxa de radiação solar incidente sobre uma superfície por unidade de área, no conjunto de todas as direções, exceto a de incidência direta (4).	$G_{dif}$	$W/m^2$
55	Irradiância solar total	Fluxo de radiação solar direto e difuso incidente sobre uma superfície unitária, a uma dada inclinação e orientação.	G	$W/m^2$
56	Admitância térmica	Taxa de fluxo de calor entre a superfície interna de um elemento ou componente construtivo e o ar, por unidade de variação de temperatura.		

(1) A Taxa metabólica, função da intensidade da atividade física desenvolvida pelo corpo humano, pode também ser expressa na unidade "met" (do inglês *metabolic unit*), que corresponde a  $58,2 W/m^2$ .

(2) É expresso em "clo", do inglês *clothing*, sendo que  $1 clo = 0,155 (m^2.K)/W$ .

(3) Esta grandeza também pode ser chamada de PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied.

//ANEXO

**Anexo A (informativo)**  
**Referências bibliográficas**

Nº da grandeza	Fonte
1, 2, 3, 9, 10, 32 e 33	ABNT (1992). <i>NBR 12538 – Grandezas e unidades de termodinâmica</i> . Associação Brasileira de Normas Técnicas.
26, 27, 28 e 30	ASHRAE (2001). <i>Ashrae Handbook – Fundamentals</i> . Capítulo 8 - <i>Physiological principles for comfort and health</i> . ISO 7726 (1998). <i>Thermal environments: Instruments and methods for measuring physical quantities</i> .
29	ISO 7730 (1994). <i>Moderate thermal environments: Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort</i> . ASHRAE (1997). <i>Ashrae Standard 55/1992 – Thermal environmental conditions for human occupancy</i> .
41 e 42	ASHRAE (1997). <i>Ashrae Standard – Thermal environmental conditions for human occupancy</i> .

**Anexo 2 – Projeto 02:135.07-001/2**



**ABNT – Associação  
Brasileira de  
Normas Técnicas**

Sede:  
Rio de Janeiro  
Av. Treze de Maio, 13 28º andar  
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680  
Rio de Janeiro – RJ  
Tel.: PABX (21) 3974-2300  
Fax: (21) 2240-8249/2220-6436  
Endereço eletrônico:  
www.abnt.org.br

Copyright © 2004,  
ABNT–Associação Brasileira  
de Normas Técnicas  
Printed in Brazil/  
Impresso no Brasil  
Todos os direitos reservados

NOV 2004

**Projeto 02:135.07-001/2**

# **Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**

Origem: Projeto 02:135.07-001/2:2003

ABNT/CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-02:135.07 - Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações

Thermal performance in buildings - Calculation methods of thermal transmittance, thermal capacity, thermal delay and solar heat factor of elements and components of buildings.

Descriptors: Thermal performance. Buildings.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Edificações.

21 páginas

## **SUMÁRIO**

Prefácio

**1** Objetivo

**2** Referências normativas

**3** Definições, símbolos e subscritos

**4** Fórmulas básicas

**5** Resistência térmica de um componente

**6** Capacidade térmica de um componente

**7** Atraso térmico de um componente

**8** Fator de calor solar

## **ANEXOS**

**A** Resistências térmicas superficiais

**B** Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, absorvância e emissividade de superfícies e cores, e propriedades térmicas de materiais

**C** Exemplos de cálculo

## **Prefácio**

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta norma, sob o título geral "Desempenho térmico de edificações", tem previsão de conter as seguintes partes:

Parte 1: Definições, símbolos e unidades;

Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;

Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;

Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Esta norma contém o anexo A, de caráter normativo, e os anexos B e C, de caráter informativo.

## **1 Objetivo**

Esta parte da NBR estabelece procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas - resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar - de elementos e componentes de edificações.



**Notas:**

1 O anexo A apresenta as resistências térmicas superficiais a serem consideradas na aplicação desta Norma.

2 O anexo B apresenta a resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, a absorvância e a emissividade de superfícies e cores e as propriedades térmicas (condutividade térmica, calor específico e densidade de massa aparente) de materiais.

3 O anexo C apresenta exemplos de cálculo das grandezas tratadas nesta Norma. No anexo D do projeto 02:135.07-001/3 apresentam-se a transmitância térmica, a capacidade térmica e o atraso térmico de vários exemplos de paredes e coberturas.

**2 Referências normativas**

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta parte da NBR. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

Projeto 02:135.07-001/1:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades.

Projeto 02:135.07-001/3:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Procedimentos para avaliação de habitações de interesse social.

ISO 6946:1996: Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation methods.

**3 Definições, símbolos e subscritos**

Para os efeitos desta parte da NBR, aplicam-se as definições, símbolos e abreviaturas do projeto 02:135.07-001/1 e os seguintes símbolos, unidades, subscritos e definições:

**3.1 Símbolos**

<b>Símbolo</b>	<b>Variável</b>	<b>Unidade</b>
A	Área	m <sup>2</sup>
R	Resistência térmica de um componente	(m <sup>2</sup> .K)/W
U	Transmitância térmica de um componente	W/(m <sup>2</sup> .K)
C <sub>T</sub>	Capacidade térmica de um componente	kJ/(m <sup>2</sup> .K)
φ	Atraso térmico de um componente	horas
FS <sub>o</sub>	Fator solar de elementos opacos	-
FS <sub>t</sub>	Fator solar de elementos transparentes ou translúcidos	-
CS	Coefficiente de sombreamento	-
c	Calor específico	kJ/(kg.K)
e	Espessura de uma camada	m
λ	Condutividade térmica do material	W/(m.K)
ρ	Densidade de massa aparente do material	kg/m <sup>3</sup>
ε	Emissividade hemisférica total	-

**3.2 Subscritos**

<b>Subscrito</b>	<b>Descrição</b>
ar	Referente a uma câmara de ar
n	Número total de seções ou camadas (a, b, c, ..., n-1, n.) de um elemento ou componente
s	Superfície
e	Exterior da edificação
i	Interior da edificação
t	Total, superfície a superfície
T	Total, ambiente a ambiente

**3.3 Definição de seções e camadas**

Denomina-se seção à uma parte de um componente tomada em toda a sua espessura (de uma face à outra) e que contenha apenas resistências térmicas em série.

Denomina-se camada à uma parte de um componente tomada paralelamente às suas faces e com espessura constante.

Nota: Desta forma, conforme 5.2.1, a figura 1 possui quatro seções (S<sub>a</sub>, S<sub>b</sub>, S<sub>c</sub> e S<sub>d</sub>). A seção S<sub>a</sub> é composta por uma única camada, a seção S<sub>b</sub> é composta por duas camadas, a seção S<sub>c</sub> também é composta por uma única camada (diferente daquela da seção S<sub>a</sub>) e a seção S<sub>d</sub> é composta por duas camadas.

**4 Fórmulas básicas****4.1 Resistência térmica****4.1.1 Camadas homogêneas**

Valores da resistência térmica, R, obtidos através de medições baseadas em ensaios normalizados, devem ser usados sempre que possível. Na ausência de valores medidos, conforme ISO 6946, recomenda-se que a resistência térmica, R, de uma camada homogênea de material sólido seja determinada pela expressão 1.

$$R = e/\lambda \quad \dots 1)$$

Os valores recomendados de condutividade térmica de alguns materiais de uso corrente são encontrados na tabela B.3.

#### 4.1.2 Câmara de ar

A resistência térmica de câmaras de ar ( $R_{ar}$ ) não ventiladas pode ser obtida na tabela B.1.

Para tijolos ou outros elementos com câmaras de ar circulares, deve-se transformar a área da circunferência em uma área equivalente a um quadrado com centros coincidentes.

Para coberturas, independentemente do número de águas, a altura equivalente da câmara de ar para cálculo é determinada dividindo-se por dois a altura da cumeeira.

#### 4.1.3 Superfícies

A resistência superficial externa ( $R_{se}$ ) e a superficial interna ( $R_{si}$ ) são obtidas na tabela A.1.

### 4.2 Transmitância térmica

A transmitância térmica de componentes, de ambiente a ambiente, é o inverso da resistência térmica total, conforme expressão 2.

$$U = 1/R_T \quad \dots 2)$$

### 4.3 Capacidade térmica de componentes

A capacidade térmica de componentes pode ser determinada pela expressão 3.

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad \dots 3)$$

Onde:

$\lambda_i$  é a condutividade térmica do material da camada  $i^a$ ;

$R_i$  é a resistência térmica da camada  $i^a$ ;

$e_i$  é a espessura da camada  $i^a$ .

$c_i$  é o calor específico do material da camada  $i^a$ ;

$\rho_i$  é a densidade de massa aparente do material da camada  $i^a$ .

## 5 Resistência térmica de um componente

### 5.1 Componentes com camadas homogêneas

A resistência térmica total de um componente plano constituído de camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor é determinada pelas expressões 4 e 5.

#### 5.1.1 Superfície a superfície ( $R_t$ )

A resistência térmica de superfície a superfície de um componente plano constituído de camadas homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pela expressão 4.

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn} \quad \dots 4)$$

Onde:

$R_{t1}, R_{t2}, \dots, R_{tn}$  são as resistências térmicas das  $n$  camadas homogêneas, determinadas pela expressão 1;

$R_{ar1}, R_{ar2}, \dots, R_{arn}$  são as resistências térmicas das  $n$  câmaras de ar, obtidas da tabela B.1.

#### 5.1.2 Ambiente a ambiente ( $R_T$ )

A resistência térmica de ambiente a ambiente é dada pela expressão 5.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad \dots 5)$$

Onde:

$R_t$  é a resistência térmica de superfície a superfície, determinada pela expressão 4;

$R_{se}$  e  $R_{si}$  são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas da tabela A.1.

### 5.2 Componentes com camadas homogêneas e não homogêneas

A resistência térmica total de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pelas expressões 6 e 7.

Nota: O procedimento de cálculo da resistência térmica de componentes apresentado nesta parte da NBR é diferente daquele apresentado pela ISO 6946, sendo que o apresentado nesta parte da NBR é mais rápido e simples e os resultados são equivalentes.

#### 5.2.1 Superfície a superfície ( $R_t$ )

A resistência térmica de superfície a superfície de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas (ver figura 1), perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pela expressão 6.

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad \dots 6)$$

Onde:

$R_a, R_b, \dots, R_n$  são as resistências térmicas de superfície à superfície para cada seção (a, b, ..., n), determinadas pela expressão 4;

$A_a, A_b, \dots, A_n$  são as áreas de cada seção.

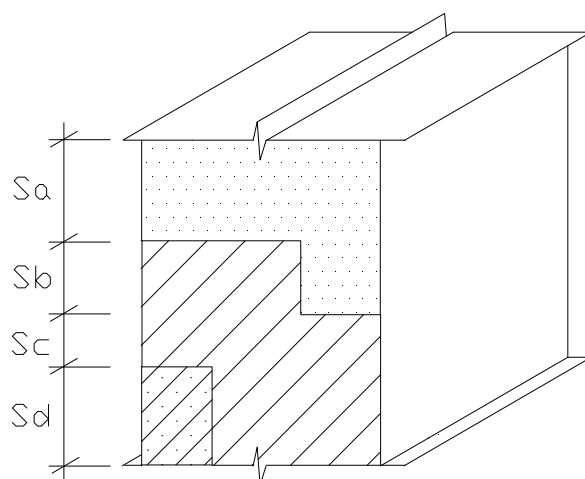


Figura 1 - Seções de um componente com camadas homogêneas e não homogêneas

### 5.2.2 Ambiente a ambiente ( $R_T$ )

A resistência térmica de ambiente a ambiente é dada pela expressão 7.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad \dots 7)$$

Onde:

$R_t$  é a resistência térmica de superfície a superfície, determinada pela expressão 6;

$R_{se}$  e  $R_{si}$  são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas da tabela A.1.

### 5.3 Componentes com câmara de ar ventilada

#### 5.3.1 Condições de ventilação para as câmaras de ar

São considerados dois tipos de ventilação para as câmaras de ar - pouco ou muito ventiladas - segundo sua posição. As relações são dadas na tabela 1.

Tabela 1 - Condições de ventilação para câmaras de ar

Posição da câmara de ar	Câmara de ar	
	Pouco ventilada	Muito ventilada
Vertical (paredes)	$S/L < 500$	$S/L \geq 500$
Horizontal (coberturas)	$S/A < 30$	$S/A \geq 30$

Onde:  
 S é a área total de abertura de ventilação, em  $\text{cm}^2$ ;  
 L é o comprimento da parede, em m;  
 A é a área da cobertura.

#### 5.3.2 Em condições de verão (ganho de calor)

A resistência térmica da câmara de ar ventilada deve ser igual a da câmara de ar não ventilada e obtida da tabela B.1.

#### 5.3.3 Em condições de inverno (perda de calor)

Distinguem-se dois casos:

- câmara pouco ventilada: a resistência térmica da câmara será igual à da câmara não ventilada e obtida da tabela B.1; e
- câmara muito ventilada: a camada externa à câmara não será considerada e a resistência térmica total (ambiente a ambiente) deve ser calculada pela expressão 8.

$$R_T = 2.R_{si} + R_t \quad \dots 8)$$

Onde:

$R_t$  é a resistência térmica da camada interna do componente construtivo. No caso de coberturas, é a resistência térmica do componente localizado entre a câmara de ar e o ambiente interno – forro;  
 $R_{si}$  é a resistência superficial interna obtida da tabela A.1 do anexo A.

Nota: No caso de coberturas, a câmara de ar existente entre o telhado e o forro pode ser chamada de ático.

### 5.3.4 Considerações quanto à ventilação de áticos

A ventilação do ático em regiões quentes é desejável e recomendável. Isto aumenta a resistência térmica da câmara de ar e, conseqüentemente, reduz a transmitância térmica e os ganhos de calor.

Porém, alerta-se que em regiões com estação fria (inverno) a ventilação do ático provoca perdas de calor pela cobertura, o que não é desejável.

## 6 Capacidade térmica de um componente

### 6.1 Componentes com camadas homogêneas

A capacidade térmica de um componente plano constituído de camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor é determinada pela expressão 3, conforme 4.3.

### 6.2 Componentes com camadas homogêneas e não homogêneas

A capacidade térmica de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas (ver figura 1), perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pela expressão 9.

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}} \quad \dots 9)$$

Onde:

$C_{Ta}, C_{Tb}, \dots, C_{Tn}$  são as capacidades térmicas do componente para cada seção (a, b, ..., n), determinadas pela expressão 3;  
 $A_a, A_b, \dots, A_n$  são as áreas de cada seção.

### 6.3 Componentes com câmaras de ar

Como o ar apresenta uma densidade de massa aparente muito baixa ( $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ), a sua capacidade térmica, em componentes com câmaras de ar, pode ser desprezada.

## 7 Atraso térmico de um componente

### 7.1 Caso de elemento homogêneo

Em uma placa homogênea (constituída por um único material), com espessura “e” e submetida a um regime térmico variável e senoidal com período de 24 horas, o atraso térmico pode ser estimado pela expressão 10 ou pela 11.

$$\varphi = 1,382 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c}{3,6 \cdot \lambda}} \quad \dots 10)$$

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{R_t \cdot C_T} \quad \dots 11)$$

Onde:

$\varphi$  é o atraso térmico;  
 $e$  é a espessura da placa;  
 $\lambda$  é a condutividade térmica do material;  
 $\rho$  é a densidade de massa aparente do material;  
 $c$  é o calor específico do material;  
 $R_t$  é a resistência térmica de superfície a superfície do componente;  
 $C_T$  é a capacidade térmica do componente.

### 7.2 Caso de elemento heterogêneo

No caso de um componente formado por diferentes materiais superpostos em “n” camadas paralelas às faces (perpendiculares ao fluxo de calor), o atraso térmico varia conforme a ordem das camadas.

Para calor específico quando em (kJ/(Kg.K)), o atraso térmico é determinado através da expressão 12.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} \quad \dots 12)$$

Onde:

$R_t$  é a resistência térmica de superfície a superfície do componente;

$B_1$  é dado pela expressão 13;

$B_2$  é dado pela expressão 14.

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} \quad \dots 13)$$

Onde:

$B_0$  é dado pela expressão 15.

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left( R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right) \quad \dots 14)$$

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}} \quad \dots 15)$$

Onde:

$C_T$  é a capacidade térmica total do componente;

$C_{\text{Text}}$  é a capacidade térmica da camada externa do componente.

Notas:

1 Nas equações acima, o índice "ext" se refere à última camada do componente, junto à face externa.

2 Considerar  $B_2$  nulo caso seja negativo.

## 8 Fator de ganho de calor solar de elementos opacos

O fator de ganho de calor solar de elementos opacos (ou apenas fator solar de elementos opacos) é dado pela expressão 16.

$$FS_o = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se} \quad \dots 16)$$

Onde:

$FS_o$  é o fator solar de elementos opacos em percentagem;

$U$  é a transmitância térmica do componente;

$\alpha$  é a absorptância à radiação solar – função da cor, dada pela tabela B.2;

$R_{se}$  é a resistência superficial externa, dada pela tabela A.1.

Como  $R_{se}$  é admitido constante e igual a 0,04, a expressão 16 pode ser reescrita na forma da expressão 17.

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha \quad \dots 17)$$

Quando deve-se respeitar um limite de fator solar para uma determinada região, pode-se determinar o máximo valor de  $\alpha$  em função do fator solar e da transmitância térmica, conforme mostra a expressão 18.

$$\alpha \leq FS_o / (4 \cdot U) \quad \dots 18)$$

A tabela B.2 apresenta a absorptância ( $\alpha$ ) e a emissividade ( $\epsilon$ ) de algumas superfícies e cores.

## 9 Fator de ganho de calor solar de elementos transparentes ou translúcidos

O fator de ganho de calor solar de elementos transparentes ou translúcidos (ou apenas fator solar de elementos transparentes ou translúcidos) é dado pela expressão 19.

$$FS_t = U \cdot \alpha \cdot R_{se} + \tau \quad \dots 19)$$

Onde:

$FS_t$  é o fator solar de elementos transparentes ou translúcidos;

$U$  é a transmitância térmica do componente;

$\alpha$  é a absorptância à radiação solar – função da cor, dada pela tabela B.2;

$R_{se}$  é a resistência superficial externa, dada pela tabela A.1;

$\tau$  é a transmitância à radiação solar.

**Anexo A (normativo)****Resistências térmicas superficiais**

A resistência térmica superficial varia de acordo com vários fatores, tais como: emissividade, velocidade do ar sobre a superfície e temperaturas da superfície, do ar e superfícies próximas.

A tabela A.1 apresenta valores médios recomendados.

**Tabela A.1 - Resistência térmica superficial interna e externa.**

$R_{si}$ ( $m^2.K/W$ )			$R_{se}$ ( $m^2.K/W$ )		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	— ↑	— ↓	⇒	— ↑	— ↓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

## Anexo B (informativo)

## Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, absorvância e emissividade de superfícies e cores e propriedades térmicas de materiais

## B.1 Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas

Os valores da resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas apresentados na tabela B.1 são válidos para uma temperatura média da camada entre 0°C e 20°C e com uma diferença de temperatura entre as superfícies limitantes menor do que 15°C.

**Tabela B.1 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura.**

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica $R_{ar}$ $m^2 \cdot K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇔	⇑	⇓
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Notas:  
 1  $\varepsilon$  é a emissividade hemisférica total.  
 2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.  
 3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.  
 4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

**Tabela B.2 - Absorvância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade ( $\varepsilon$ ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)**

Tipo de superfície	$\alpha$	$\varepsilon$	
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05	
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12	
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25	
Caiçação nova	0,12 / 0,15	0,90	
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95	
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95	
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95	
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95	
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98	
Vidro incolor	0,06 / 0,25	0,84	
Vidro colorido	0,40 / 0,80	0,84	
Vidro metalizado	0,35 / 0,80	0,15 / 0,84	
Pintura:	Branca	0,20	0,90
	Amarela	0,30	0,90
	Verde clara	0,40	0,90
	"Alumínio"	0,40	0,50
	Verde escura	0,70	0,90
	Vermelha	0,74	0,90
	Preta	0,97	0,90

## B.2 Propriedades térmicas de materiais

A tabela B.3, de caráter não restritivo, apresenta a condutividade térmica ( $\lambda$ ) e o calor específico (c) para diversos materiais de construção em função de sua densidade de massa aparente ( $\rho$ ). Estes valores são apenas indicativos, devendo-se utilizar, sempre que possível, valores medidos em laboratório.

**Tabela B.3 - Densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico (c) de materiais**

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
<b>Argamassas</b>			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
<b>Cerâmica</b>			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
<b>Fibro-cimento</b>			
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
<b>Concreto (com agregados de pedra)</b>			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00
<b>Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (<math>\rho</math> dos inertes ~750 kg/m<sup>3</sup>)</b>			
com finos	1400-1600	0,52	1,00
	1200-1400	0,44	1,00
sem finos	1000-1200	0,35	1,00
<b>Concreto com argila expandida</b>			
dosagem de cimento > 300 kg/m <sup>3</sup> , $\rho$ dos inertes > 350 kg/m <sup>3</sup>	1600-1800	1,05	1,00
	1400-1600	0,85	1,00
	1200-1400	0,70	1,00
	1000-1200	0,46	1,00
dosagem de cimento < 250 kg/m <sup>3</sup> , $\rho$ dos inertes < 350 kg/m <sup>3</sup>	800-1000	0,33	1,00
	600-800	0,25	1,00
	< 600	0,20	1,00
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida fabricado em obra	600-800	0,31	1,00
	400-600	0,24	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00
	500-600	0,20	1,00
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00
<b>Gesso</b>			
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)			
dosagem gesso:agregado = 1:1	700-900	0,30	0,84
dosagem gesso:agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84
<b>Granulados</b>			
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1500	0,30	2,09
areia (10% de umidade)	1500	0,93	
areia (20% de umidade)	1500	1,33	
areia saturada	2500	1,88	
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84



Tabela B.3 (continuação) - Densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) de materiais

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	$c$ (kJ/(kg.K))
<b>Impermeabilizantes</b>			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
<b>Isolantes térmicos</b>			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno estrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
<b>Madeiras e derivados</b>			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim Santa Fé)	200	0,12	
<b>Metais</b>			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38
<b>Pedras (incluindo junta de assentamento)</b>			
granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcários/mármore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84
<b>Plásticos</b>			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0,40	
polimetacrílicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	
<b>Vidro</b>			
vidro comum	2500	1,00	0,84

### Anexo C (informativo) Exemplos de cálculo

#### C.1 Exemplo 1: Parede de tijolos maciços rebocados em ambas as faces (ver figura C.1)

Dados:

Dimensões do tijolo = 5 cm x 9 cm x 19 cm

$\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3$

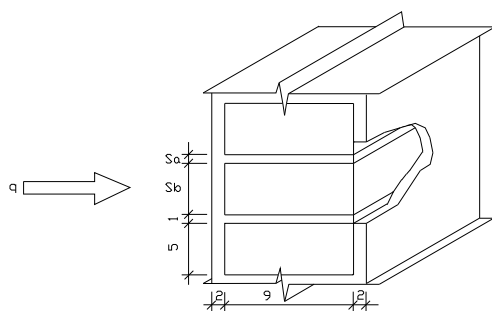
$\lambda_{\text{cerâmica}} = 0,90 \text{ W/(m.K)}$  (ver tabela B.3)

$C_{\text{cerâmica}} = 0,92 \text{ kJ/(kg.K)}$  (ver tabela B.3)

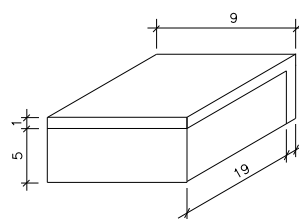
$\rho_{\text{argamassa}} = \rho_{\text{reboco}} = 2000 \text{ kg/m}^3$

$\lambda_{\text{argamassa}} = \lambda_{\text{reboco}} = 1,15 \text{ W/(m.K)}$  (ver tabela B.3)

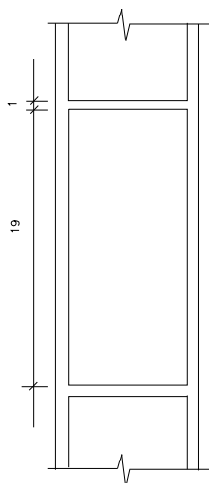
$C_{\text{argamassa}} = C_{\text{reboco}} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$  (ver tabela B.3)



Vista em perspectiva



Elemento isolado



Vista superior

Figura C.1 - Parede de tijolos maciços rebocados em ambas as faces

#### a) resistência térmica da parede:

Seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,19 + 0,01 \times 0,06 = 0,0025 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,02}{1,15} = \frac{0,13}{1,15} = 0,1130 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção B (reboco + tijolo + reboco):

$$A_b = 0,05 \times 0,19 = 0,0095 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,09}{0,90} + \frac{0,02}{1,15} = 0,1348 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Portanto, a resistência térmica da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0,0025 + 0,0095}{\frac{0,0025}{0,1130} + \frac{0,0095}{0,1348}} = \frac{0,0120}{0,0926} = 0,1296 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**b) resistência térmica total:**

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,1296 + 0,04 = 0,2996 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**c) transmitância térmica:**

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,2996} = 3,34 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**d) capacidade térmica da parede:**

Seção A (reboco+argamassa+reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,19 + 0,01 \times 0,06 = 0,0025 \text{ m}^2$$

$$C_{Ta} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}}$$

Como  $\rho_{\text{reboco}} = \rho_{\text{argamassa}} = 2000 \text{ kg/m}^3$  e  $c_{\text{reboco}} = c_{\text{argamassa}} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ , tem-se:

$$C_{Ta} = 0,13 \times 1,00 \times 2000 = 260 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Seção B (reboco + tijolo + reboco):

$$A_b = 0,05 \times 0,19 = 0,0095 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}}$$

$$C_{Tb} = 0,02 \times 1,00 \times 2000 + 0,09 \times 0,92 \times 1600 + 0,02 \times 1,00 \times 2000 = 212 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Portanto, a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{A_a + A_b}{\frac{C_{Ta}}{A_a} + \frac{C_{Tb}}{A_b}} = 220 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**e) atraso térmico:**

$$R_t = 0,1296 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}} = 220 - 0,02 \cdot 1,00 \cdot 2000 = 180$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{180}{0,1296} = 313,9$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left( R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(1,15 \cdot 2000 \cdot 1,00)_{ext}}{0,1296} \right) \cdot \left( \frac{0,02}{1,15} - \frac{0,1296 - \left( \frac{0,02}{1,15} \right)}{10} \right) = 22,4$$

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \cdot 0,1296 \cdot \sqrt{313,9 + 22,4} = 3,3 \text{ horas}$$

**f) fator solar:**

$$FS_o = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se} = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot 0,04 = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

Utilizando cor externa branca ( $\alpha = 0,3$ ), tem-se:

$$FS_o = 4 \cdot 3,34 \cdot 0,3 = 4,0\%$$

Pode-se verificar, também, a absorvância máxima permitida em função do limite máximo permitido de fator solar para a zona bioclimática onde será executada a parede. Por exemplo, se para uma determinada região  $FS_o < 5,5\%$ , teremos:

$$\alpha \leq FS_o / (4 \cdot U) \leq 5,5 / (100 \cdot 3,34) \leq 0,4$$

**C.2 Exemplo 2: Parede com blocos de concreto colados, sem reboco (ver figura C.2)**

Dados:

Dimensões do bloco = 39 cm x 19 cm x 9 cm

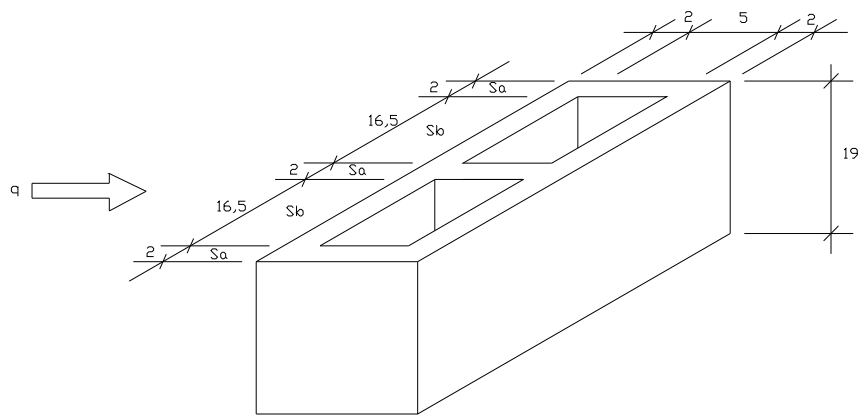
$$\rho_{\text{concreto}} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{concreto}} = 1,75 \text{ W/(m.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

$$c_{\text{concreto}} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

Nota: despreza-se a cola.

Para a câmara de ar,  $R_{ar} = 0,16 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$  (ver tabela B.1, superfície de alta emissividade, espessura da câmara de ar = 5,0 cm, fluxo horizontal).



Vista em perspectiva

Figura C.2 - Parede com blocos de concreto colados, sem reboco

**a) resistência térmica da parede:**

Seção A (concreto):

$$A_a = 0,02 \times 0,19 = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} = \frac{0,09}{1,75} = 0,0514 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção B (concreto + câmara de ar + concreto):

$$A_b = 0,165 \times 0,19 = 0,03135 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} = \frac{0,02}{1,75} + 0,16 + \frac{0,02}{1,75} = 0,1829 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{\frac{3 \times A_a}{R_a} + \frac{2 \times A_b}{R_b}}{\frac{3 \times 0,0038}{0,0514} + \frac{2 \times 0,03135}{0,1829}} = \frac{0,0741}{0,5646} = 0,1312 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**b) resistência térmica total:**

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}} = 0,13 + 0,1312 + 0,04 = 0,3012 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**c) transmitância térmica:**

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,3012} = 3,32 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**d) capacidade térmica da parede:**

Seção A (concreto):

$$A_a = 0,02 \times 0,19 = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$C_{\text{Ta}} = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{concreto}} = 0,09 \times 1,00 \times 2400 = 216 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Seção B (concreto + câmara de ar + concreto):

$$A_b = 0,165 \times 0,19 = 0,03135 \text{ m}^2$$

$$C_{\text{Tb}} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{concreto}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{ar}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{concreto}}$$

Desprezando a capacidade térmica da câmara de ar, tem-se:

$$C_{\text{Tb}} = 0,02 \times 1,00 \times 2400 + 0 + 0,02 \times 1,00 \times 2400 = 96 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Portanto, a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{\frac{3 \times A_a}{C_{\text{Ta}}} + \frac{2 \times A_b}{C_{\text{Tb}}}}{\frac{3 \times 0,0038}{216} + \frac{2 \times 0,03135}{96}} = 105 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**e) atraso térmico:**

$$R_t = 0,1312 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}} = 105 - 0,02 \cdot 1,00 \cdot 2400 = 57$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{57}{0,1312} = 98,2$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left( R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$



$$R_{\text{tijolo}} = \frac{4xA_1 + 3xA_2}{\frac{4xA_1}{R_1} + \frac{3xA_2}{R_2}} = \frac{4 \times 0,0032 + 3 \times 0,0128}{\frac{4 \times 0,0032}{0,1111} + \frac{3 \times 0,0128}{0,3644}} = \frac{0,0512}{0,2206} = 0,2321 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**b) resistência térmica da parede (R<sub>t</sub>):**

Seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,32 + 0,01 \times 0,17 = 0,0049 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,10}{1,15} + \frac{0,02}{1,15} = \frac{0,14}{1,15} = 0,1217 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção B (reboco + tijolo + reboco):

$$A_b = 0,16 \times 0,32 = 0,0512 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + R_{\text{tijolo}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + 0,2321 + \frac{0,02}{1,15} = 0,2669 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0,0049 + 0,0512}{\frac{0,0049}{0,1217} + \frac{0,0512}{0,2669}} = \frac{0,0561}{0,2321} = 0,2417 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

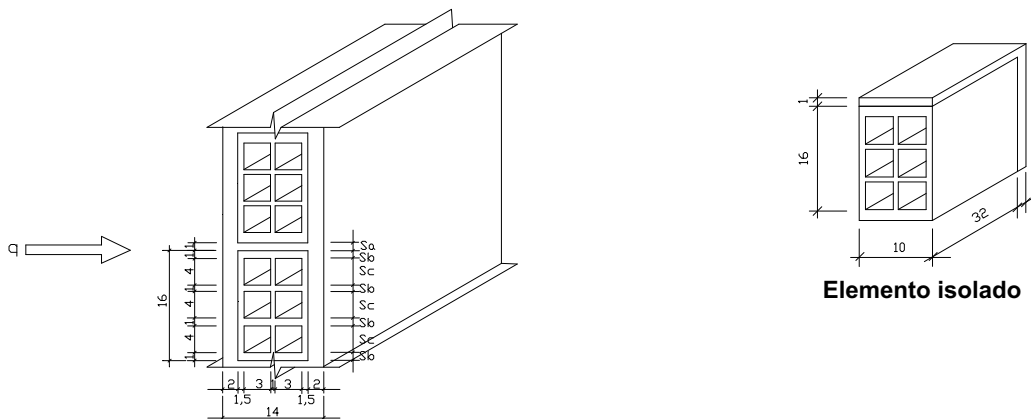
**c) resistência térmica total:**

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}} = 0,13 + 0,2417 + 0,04 = 0,4117 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

**d) transmitância térmica:**

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,4117} = 2,43 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Segunda forma (ver figura C.4):



**Vista em perspectiva**  
**Figura C.4- Parede de tijolos cerâmicos de seis furos rebocados em ambas as faces**

**a) resistência térmica da parede:**

Seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,32 + 0,01 \times 0,17 = 0,0049 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,10}{1,15} + \frac{0,02}{1,15} = \frac{0,14}{1,15} = 0,1217 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção B (reboco + tijolo + reboco):

$$A_b = 0,01 \times 0,32 = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,10}{0,90} + \frac{0,02}{1,15} = 0,1459 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção C (reboco + tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo + reboco):

$$A_c = 0,04 \times 0,32 = 0,0128 \text{ m}^2$$

$$R_c = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}}$$

$$R_c = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,015}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,015}{0,90} + \frac{0,02}{1,15} = 0,3992 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + 4x A_b + 3x A_c}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{4x A_b}{R_b} + \frac{3x A_c}{R_c}} = \frac{0,0049 + 4x0,0032 + 3x0,0128}{\frac{0,0049}{0,1217} + \frac{4x0,0032}{0,1459} + \frac{3x0,0128}{0,3992}} = \frac{0,0561}{0,2242} = 0,2502 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

**b) resistência térmica total:**

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,2502 + 0,04 = 0,4202 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

**c) transmitância térmica:**

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,4202} = 2,38 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

**Notas:**

1 A transmitância térmica calculada pelas duas diferentes formas no exemplo 3 mostra uma pequena diferença (2%) entre os valores, indicando que a forma como o problema pode ser resolvido não é única e que os resultados serão equivalentes.

2 Esta diferença se deve ao fato de estar se admitindo regime estacionário e unidimensional de transmissão de calor.

3 Pode-se dar preferência ao primeiro processo, quando diferentes paredes forem construídas com o mesmo tijolo e ocorrer variação nas espessuras das argamassas de assentamento e de reboco.

**d) capacidade térmica da parede:**

Seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,32 + 0,01 \times 0,17 = 0,0049 \text{ m}^2$$

$$C_{Ta} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e.c.\rho)_{\text{reboco}} + (e.c.\rho)_{\text{argamassa}} + (e.c.\rho)_{\text{reboco}}$$

Como  $\rho_{\text{reboco}} = \rho_{\text{argamassa}} = 2000 \text{ kg/m}^3$  e  $c_{\text{reboco}} = c_{\text{argamassa}} = 1,00 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ , tem-se:

$$C_{Ta} = 0,14 \times 1,00 \times 2000 = 280 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Seção B (reboco + tijolo + reboco):

$$A_b = 0,01 \times 0,32 = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e.c.\rho)_{\text{reboco}} + (e.c.\rho)_{\text{cerâmica}} + (e.c.\rho)_{\text{reboco}}$$

$$C_{Tb} = 0,02 \times 1,00 \times 2000 + 0,10 \times 0,92 \times 1600 + 0,02 \times 1,00 \times 2000 = 227 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Seção C (reboco + tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo + reboco):

$$A_c = 0,04 \times 0,32 = 0,0128 \text{ m}^2$$

$$C_{Tc} = \sum_{i=1}^7 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

$$C_{Tc} = (e.c.\rho)_{\text{reboco}} + (e.c.\rho)_{\text{cerâmica}} + (e.c.\rho)_{\text{ar}} + (e.c.\rho)_{\text{cerâmica}} + (e.c.\rho)_{\text{ar}} + (e.c.\rho)_{\text{cerâmica}} + (e.c.\rho)_{\text{reboco}}$$

$$C_{Tc} = 0,04 \times 1,00 \times 2000 + 0,04 \times 0,92 \times 1600 = 139 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Portanto, a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{A_a + 4x A_b + 3x A_c}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{4x A_b}{C_{Tb}} + \frac{3x A_c}{C_{Tc}}} = 160 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$$

**e) atraso térmico:**

$$R_t = 0,2502 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}} = 160 - 0,02 \cdot 1,00 \cdot 2000 = 120$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{120}{0,2502} = 108,4$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left( R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(1,15 \cdot 2000 \cdot 1,00)_{\text{ext}}}{0,2502} \right) \cdot \left( \frac{0,02}{1,15} - \frac{0,2502 - (0,02/1,15)}{10} \right) = -11,1$$

$B_2$  é desconsiderado pois resultou em valor negativo.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \cdot 0,2502 \cdot \sqrt{108,4} = 3,6 \text{ horas}$$

**f) fator solar:**

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

Utilizando cor externa branca ( $\alpha = 0,3$ ), tem-se:

$$FS_o = 4,2,38,0,3 = 2,9\%$$

Com  $\alpha = 0,5$ , tem-se:

$$FS_o = 4,2,38,0,5 = 4,8\%$$

#### C.4 Exemplo 4: Parede dupla com placas de concreto e câmara de ar não ventilada (ver figura C.5)

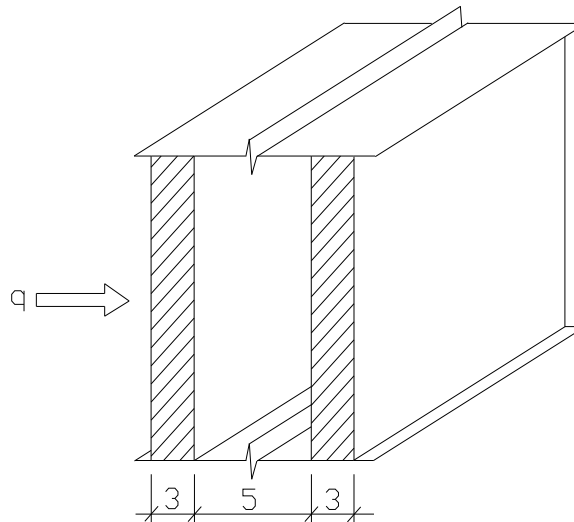
Dados:

$$\rho_{\text{concreto}} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{concreto}} = 1,75 \text{ W/(m.K)} \quad (\text{ver tabela B.3})$$

$$c_{\text{concreto}} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)} \quad (\text{ver tabela B.3})$$

Para a câmara de ar,  $R_{\text{ar}} = 0,16 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$  (tabela B.1, superfície de alta emissividade, espessura da câmara de ar = 5,0 cm, fluxo horizontal).



Vista em perspectiva

Figura C.5 - Parede dupla com placas de concreto e câmara de ar não ventilada

a) resistência térmica da parede:

$$R_t = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} = \frac{0,03}{1,75} + 0,16 + \frac{0,03}{1,75} = 0,1943 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

b) resistência térmica total:

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}} = 0,13 + 0,1943 + 0,04 = 0,3643 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

c) transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,3643} = 2,74 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

d) capacidade térmica da parede:

$$C_T = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{concreto}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{ar}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{concreto}}$$

$$C_T = 0,03 \times 1,00 \times 2400 + 0 + 0,03 \times 1,00 \times 2400 = 144 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$$

e) atraso térmico:

$$R_t = 0,1943 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}} = 144 - 0,03 \cdot 1,00 \cdot 2400 = 72$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{72}{0,1943} = 83,7$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left( R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(1,75 \cdot 2400 \cdot 1,00)_{\text{ext}}}{0,1943} \right) \cdot \left( \frac{0,03}{1,75} - \frac{0,1943 - \left( \frac{0,03}{1,75} \right)}{10} \right) = -2,5$$

$B_2$  é desconsiderado, pois resultou em valor negativo.



$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \cdot 0,1943 \cdot \sqrt{83,7} = 2,5 \text{ horas}$$

**f) fator solar:**

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

Utilizando cor externa branca ( $\alpha = 0,3$ ), tem-se:

$$FS_o = 4 \cdot 2,74 \cdot 0,3 = 3,3\%$$

Com  $\alpha = 0,5$ , tem-se:

$$FS_o = 4 \cdot 2,74 \cdot 0,5 = 5,5\%$$

**C.5 Exemplo 5: Telhado inclinado de chapas de fibro-cimento com forro de pinus e câmara de ar ventilada** (ver figura C.6)

Dados:

comprimento do telhado = 7 m

abertura de ventilação de 5 cm por 7 m em cada beiral

Fibro-cimento:

$$\rho_{\text{fibro-cimento}} = 1700 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{fibro-cimento}} = 0,65 \text{ W/(m.K)} \quad (\text{ver tabela B.3})$$

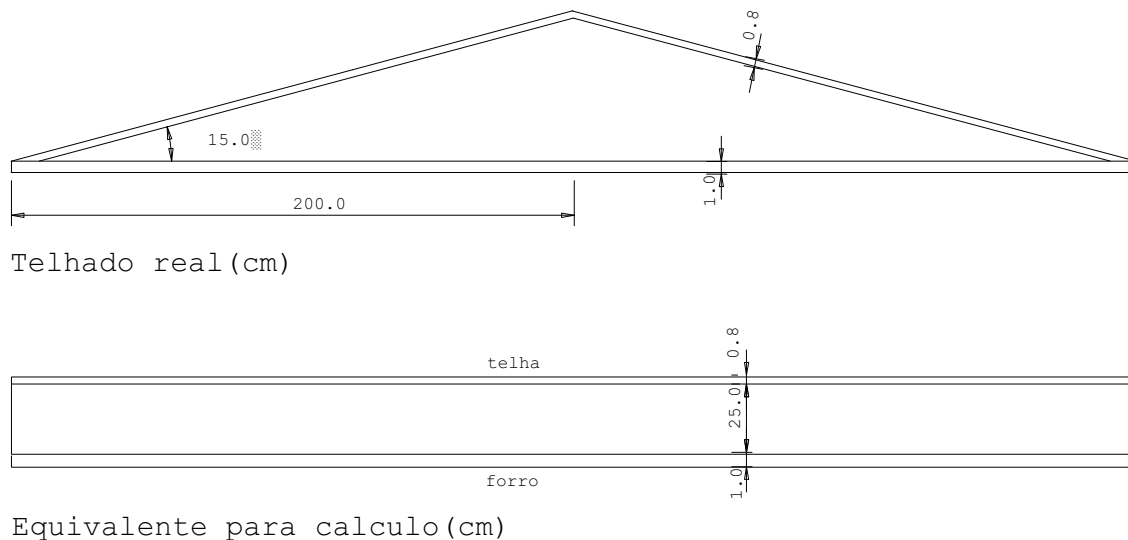
$$c_{\text{fibro-cimento}} = 0,84 \text{ kJ/(kg.K)} \quad (\text{ver tabela B.3})$$

Pinus:

$$\rho_{\text{pinus}} = 500 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{pinus}} = 0,15 \text{ W/(m.K)} \quad (\text{ver tabela B.3})$$

$$c_{\text{pinus}} = 1,34 \text{ kJ/(kg.K)} \quad (\text{ver tabela B.3})$$



**Figura C.6 - Telhado inclinado de chapas de fibro-cimento com forro de pinus e câmara de ar ventilada**

Verificação das condições de ventilação da câmara de ar:

$$S = 2 (700 \times 5) = 7000 \text{ cm}^2$$

$$A = 4 \times 7 = 28 \text{ m}^2$$

$$\frac{S}{A} = \frac{7000}{28} = 250 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

$S/A \gg 30$  logo, a câmara é muito ventilada (ver 5.3.1 - tabela 1).

**a) no verão (ver 5.3.2):**

Para a câmara da ar,  $R_{ar} = 0,21 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$  (tabela B.1, superfície de alta emissividade, espessura da câmara de ar = 25,0 cm > 5,0 cm, direção do fluxo descendente).

Resistência térmica:

$$R_t = \frac{e_{\text{fibro-cimento}}}{\lambda_{\text{fibro-cimento}}} + R_{ar} + \frac{e_{\text{pinus}}}{\lambda_{\text{pinus}}} = \frac{0,008}{0,65} + 0,21 + \frac{0,01}{0,15} = 0,2890 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Resistência térmica total:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,17 + 0,2890 + 0,04 = 0,4990 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,4990} = 2,00 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**b) no inverno (ver 5.3.3):**

Resistência térmica total:

$$R_T = 2.R_{si} + R_{pinus} = 2.0,10 + \frac{e_{pinus}}{\lambda_{pinus}} = 0,20 + \frac{0,01}{0,15} = 0,2667 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,2667} = 3,75 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

**c) capacidade térmica da cobertura:**

$$C_T = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e.c.\rho)_{\text{fibro-cimento}} + (e.c.\rho)_{\text{ar}} + (e.c.\rho)_{\text{pinus}}$$

$$C_T = 0,008 \times 0,84 \times 1700 + 0 + 0,01 \times 1,34 \times 500 = 18 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$$

**d) atraso térmico para o verão:**

$$R_t = 0,2890 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}} = 18 - 0,008 \cdot 0,84 \cdot 1700 = 6,6$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{6,6}{0,2890} = 5,1$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left( R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(0,65 \cdot 1700 \cdot 0,84)_{\text{ext}}}{0,2890} \right) \cdot \left( \frac{0,008}{0,65} - \frac{0,2890 - (0,008/0,65)}{10} \right) = -10,1$$

 $B_2$  é desconsiderado, pois resultou em valor negativo.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \cdot 0,2890 \cdot \sqrt{5,1} = 0,9 \text{ horas}$$

**e) fator de calor solar para o verão:**

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

Utilizando cor externa branca ( $\alpha = 0,3$ ), tem-se:

$$FS_o = 4 \cdot 2,00 \cdot 0,3 = 2,4\%$$

Com  $\alpha = 0,5$ , tem-se:

$$FS_o = 4 \cdot 2,00 \cdot 0,5 = 4,0\%$$

Notas:

- 1 O atraso térmico e o fator solar são determinados apenas para o verão em virtude de ser a condição predominante no Brasil.
- 2 A transmitância térmica é determinada também para o inverno apenas para efeito didático.
- 3 As duas notas anteriores também se aplicam ao exemplo seguinte (C.6).

**C.6 Exemplo 6: Telhado inclinado de chapas de fibro-cimento com forro de pinus, lâminas de alumínio polido e câmara de ar ventilada (ver figura C.7)**

Dados:

comprimento do telhado = 7 m

abertura de ventilação de 5 cm por 7 m em cada beiral

Fibro-cimento:

$$\rho_{\text{fibro-cimento}} = 1700 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{fibro-cimento}} = 0,65 \text{ W/(m.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

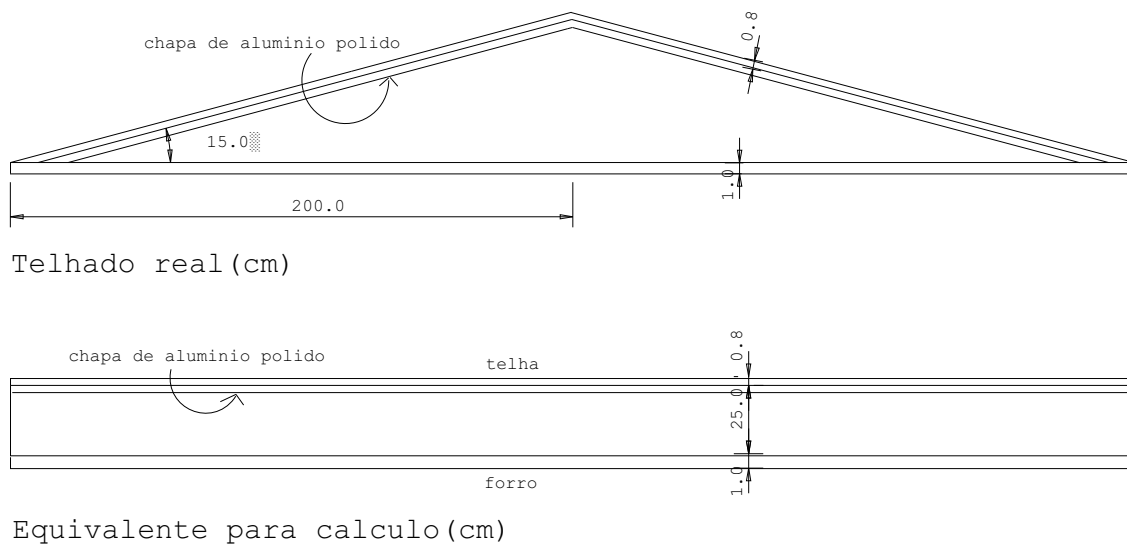
$$c_{\text{fibro-cimento}} = 0,84 \text{ kJ/(kg.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

Pinus:

$$\rho_{\text{pinus}} = 500 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{\text{pinus}} = 0,15 \text{ W/(m.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$

$$c_{\text{pinus}} = 1,34 \text{ kJ/(kg.K)} \text{ (ver tabela B.3)}$$



**Figura C.7 - Telhado inclinado de chapas de fibro-cimento com forro de pinus, lâminas de alumínio polido e câmara de ar ventilada**

Verificação das condições de ventilação da câmara de ar:

$$S = 2 (700 \times 5) = 7000 \text{ cm}^2$$

$$A = 4 \times 7 = 28 \text{ m}^2$$

$$\frac{S}{A} = \frac{7000}{28} = 250 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

$S/A \gg 30$  logo, a câmara é muito ventilada (ver 5.3.1 - tabela 1).

**a) no verão (ver 5.3.2):**

Para a câmara da ar,  $R_{ar} = 0,61 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$  (tabela B.1, superfície de baixa emissividade, espessura da câmara de ar = 25,0 cm > 5,0 cm, direção do fluxo descendente).

Resistência térmica:

$$R_t = \frac{e_{\text{fibro-cimento}}}{\lambda_{\text{fibro-cimento}}} + R_{ar} + \frac{e_{\text{pinus}}}{\lambda_{\text{pinus}}} = \frac{0,008}{0,65} + 0,61 + \frac{0,01}{0,15} = 0,6890 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Resistência térmica total:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,17 + 0,6890 + 0,04 = 0,8990 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,8990} = 1,11 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**b) no inverno (ver 5.3.3):**

Resistência térmica total:

$$R_T = 2 \cdot R_{si} + R_{\text{pinus}} = 2 \cdot 0,10 + \frac{e_{\text{pinus}}}{\lambda_{\text{pinus}}} = 0,20 + \frac{0,01}{0,15} = 0,2667 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,2667} = 3,75 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**c) capacidade térmica da cobertura:**

$$C_T = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{fibro-cimento}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{pinus}}$$

$$C_T = 0,008 \times 0,84 \times 1700 + 0 + 0,01 \times 1,34 \times 500 = 18 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**d) atraso térmico para o verão:**

$$R_t = 0,6890 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}} = 18 - 0,008 \cdot 0,84 \cdot 1700 = 6,6$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{6,6}{0,6890} = 2,2$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left( R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(0,65 \cdot 1700 \cdot 0,84)_{ext}}{0,6890} \right) \cdot \left( \frac{0,008}{0,65} - \frac{0,6890 - (0,008 / 0,65)}{10} \right) = -15,3$$

$B_2$  é desconsiderado, pois resultou em valor negativo.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_1 \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \cdot 0,6890 \cdot \sqrt{2,2} = 1,4 \text{ horas}$$

**e) fator solar para o verão:**

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha$$

Utilizando cor externa branca ( $\alpha = 0,3$ ), tem-se:

$$FS_o = 4 \cdot 1,11 \cdot 0,3 = 1,3\%$$

Com  $\alpha = 0,5$ , tem-se:

$$FS_o = 4 \cdot 1,11 \cdot 0,5 = 2,2\%$$

Com  $\alpha = 0,8$ , tem-se:

$$FS_o = 4 \cdot 1,11 \cdot 0,8 = 3,6\%$$

**Anexo 3 – Projeto 02:135.07-001/3**



**ABNT – Associação  
Brasileira de  
Normas Técnicas**

Sede:  
Rio de Janeiro  
Av. Treze de Maio, 13 28º andar  
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680  
Rio de Janeiro – RJ  
Tel.: PABX (21) 3974-2300  
Fax: (21) 2220-8249/2220-6436  
Endereço eletrônico:  
www.abnt.org.br

Copyright © 2004,  
ABNT–Associação Brasileira  
de Normas Técnicas  
Printed in Brazil/  
Impresso no Brasil  
Todos os direitos reservados

NOV 2004

**Projeto 02:135.07-001/3**

# **Desempenho térmico de edificações**

## **Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**

Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003

ABNT/CB-02- Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-02:135.07 – Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações

Thermal performance in buildings – Brazilian Bioclimatic Zones and Building Guidelines for Low-Cost Houses.

Descriptors: Thermal performance. Buildings.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Edificações

23 páginas

### **Sumário**

Prefácio

Introdução

1 Objetivos e campo de aplicação

2 Referências normativas

3 Definições

4 Zoneamento bioclimático brasileiro

5 Parâmetros e condições de contorno

6 Diretrizes construtivas para cada Zona Bioclimática Brasileira

7 Estratégias de condicionamento térmico

### **ANEXOS**

A Relação das 330 cidades cujos climas foram classificados

B Zoneamento Bioclimático do Brasil

C Recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local

D Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de algumas paredes e coberturas

### **Prefácio**

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT /CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta norma, sob o título geral “Desempenho térmico de edificações”, tem previsão de conter as seguintes partes:

Parte 1: Definições, símbolos e unidades;

Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;

Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;

Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Esta parte da NBR contém os anexos A e B, de caráter normativo, e os anexos C e D, de caráter informativo.

### **Introdução**

A avaliação de desempenho térmico de uma edificação pode ser feita tanto na fase de projeto, quanto após a construção. Em relação à edificação construída, a avaliação pode ser feita através de medições *in-loco* de variáveis representativas do desempenho, enquanto que na fase de projeto esta avaliação pode ser feita por meio de simulação computacional ou através da verificação do cumprimento de diretrizes construtivas.

Esta parte da NBR apresenta recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social aplicáveis na fase de projeto. Ao mesmo tempo em que estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, são feitas recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados.

Propôs-se, então, a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

Adaptou-se uma Carta Bioclimática a partir da sugerida por Givoni ("Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines". Energy and Building, 18 (1), 11-23, 1992), detalhada no anexo B.

Esta Norma não trata dos procedimentos para avaliação do desempenho térmico de edificações, os quais podem ser elaborados através de cálculos, de medições *in loco* ou de simulações computacionais.

### **1 Objetivos e campo de aplicação**

**1.1** Esta parte da NBR estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro abrangendo um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social.

**1.2** Esta parte da NBR estabelece recomendações e diretrizes construtivas, sem caráter normativo, para adequação climática de habitações unifamiliares de interesse social, com até três pavimentos.

### **2 Referências normativas**

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta parte da NBR. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das mesmas. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

Projeto 02:135.07-001/1:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades.

Projeto 02:135.07-001/2:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.

Projeto 02:135.07-001/4:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida.

Projeto 02:135.07-001/5:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade pelo método fluximétrico.

ASHRAE: 1996 - Algorithms for Building Heat Transfer Subroutines.

### **3 Definições**

Para os efeitos desta parte da NBR, aplicam-se as definições, símbolos e unidades dos projetos 02:135.07-001/1, 02:135.07-001/2, 02:135.07-001/4 e 02:135.07-001/5.

### **4 Zoneamento bioclimático brasileiro**

O zoneamento bioclimático brasileiro compreende oito diferentes zonas, conforme indica a figura 1.

O anexo A apresenta a relação de 330 cidades cujos climas foram classificados e o anexo B apresenta a metodologia adotada na determinação do zoneamento.

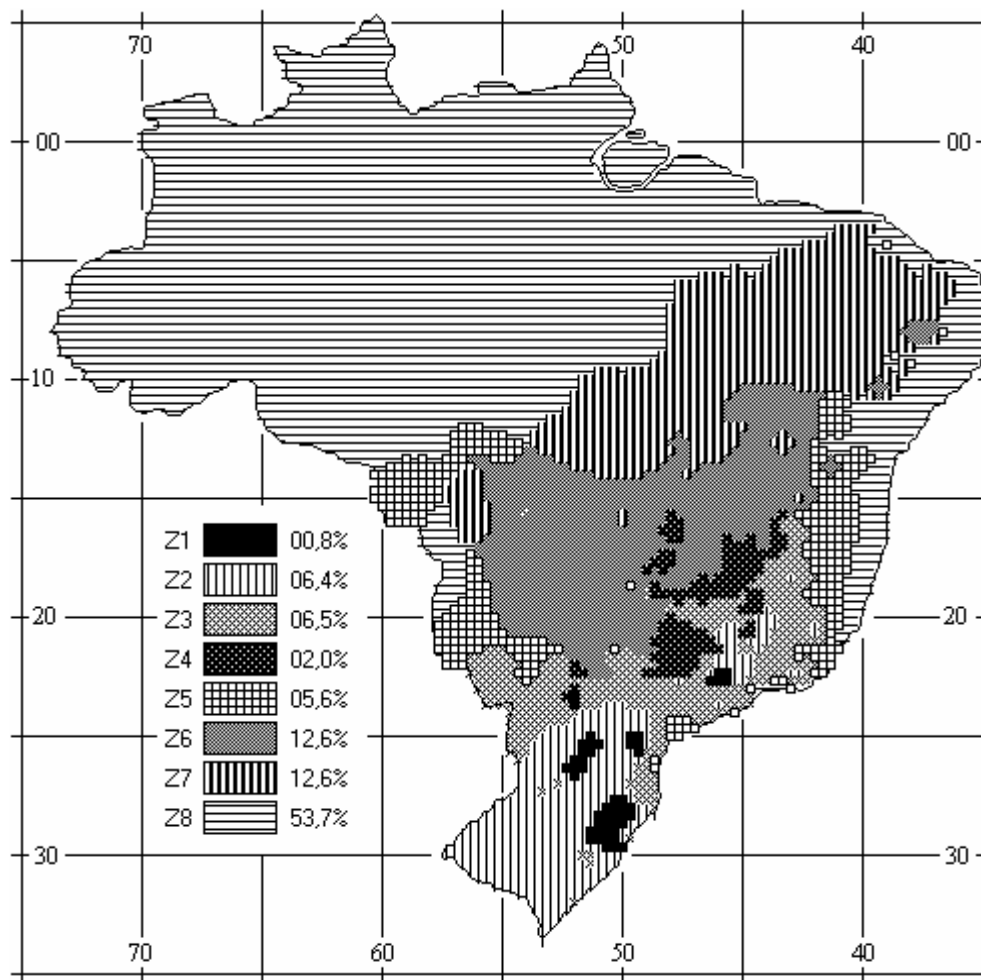


Figura 1 - Zoneamento bioclimático brasileiro.

### 5 Parâmetros e condições de contorno

Para a formulação das diretrizes construtivas - para cada Zona Bioclimática Brasileira (seção 6) - e para o estabelecimento das estratégias de condicionamento térmico passivo (seção 7), foram considerados os parâmetros e condições de contorno seguintes:

- tamanho das aberturas para ventilação;
- proteção das aberturas;
- vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura)<sup>1</sup>; e
- estratégias de condicionamento térmico passivo.

As informações constantes das seções 6 e 7, a seguir, não têm caráter normativo mas apenas orientativo.

### 6 Diretrizes construtivas para cada Zona Bioclimática

Diretrizes construtivas relativas a aberturas, paredes e coberturas para cada zona bioclimática são apresentadas de 6.1 a 6.8. Limites indicativos são apresentados no anexo C.

#### 6.1 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 1

Na zona bioclimática 1 (ver figuras 2 e 3) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 1, 2 e 3.

<sup>1</sup> Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar (ver 02:135.07-001/2)



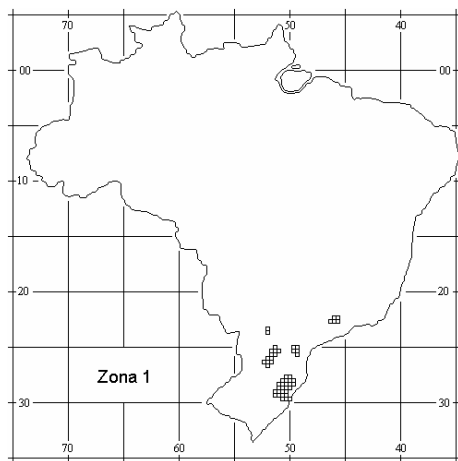


Figura 2 - Zona Bioclimática 1

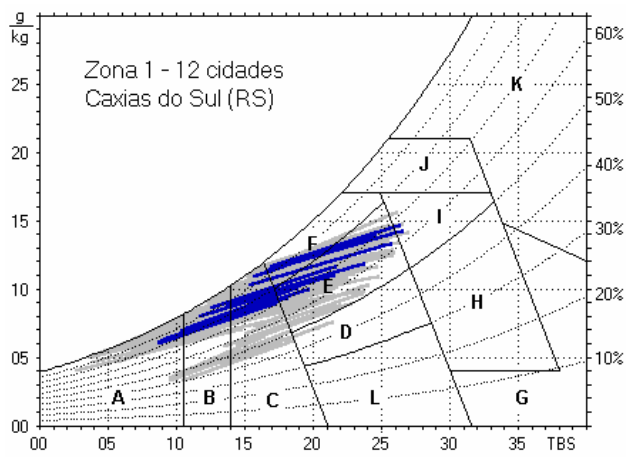


Figura 3 - Carta Bioclimática com as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Caxias do Sul, RS

Tabela 1 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 1

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Permitir sol durante o período frio

Tabela 2 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 1

Vedações externas
Parede: Leve
Cobertura: Leve isolada

Tabela 3 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 1

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Inverno	<p>B) Aquecimento solar da edificação            C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)</p> <p>Nota:            O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano.            Os códigos B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).</p>

## 6.2 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 2

Na zona bioclimática 2 (ver figuras 4 e 5) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 4, 5 e 6.

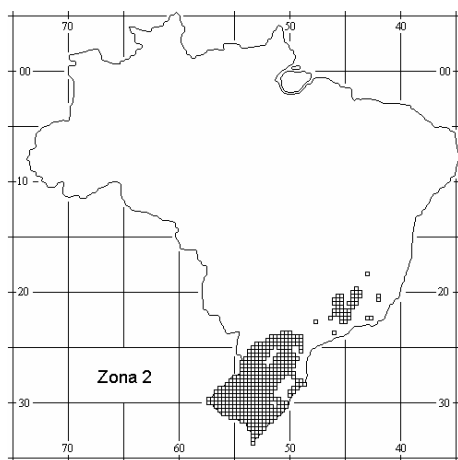


Figura 4 - Zona Bioclimática 2

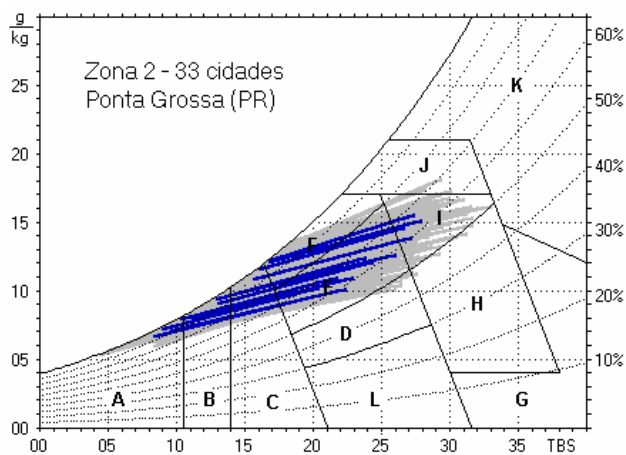


Figura 5 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Ponta Grossa, PR

**Tabela 4 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 2**

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Permitir sol durante o inverno

**Tabela 5 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 2**

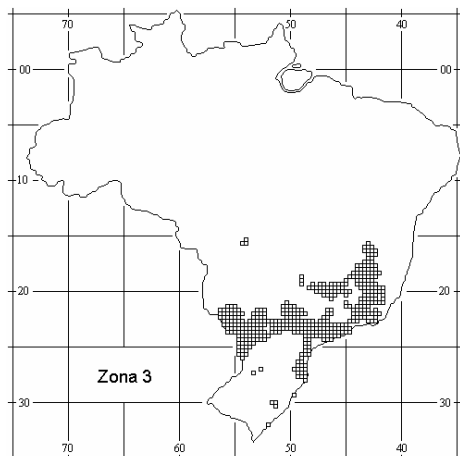
Vedações externas
Parede: Leve
Cobertura: Leve isolada

**Tabela 6 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 2**

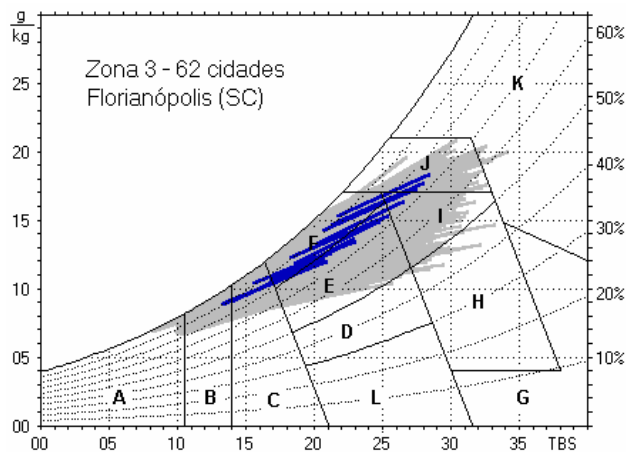
Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Nota: O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano. Os códigos J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).	

**6.3 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 3**

Na zona bioclimática 3 (ver figuras 6 e 7) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 7, 8 e 9.



**Figura 6 - Zona Bioclimática 3**



**Figura 7 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Florianópolis, SC**

**Tabela 7 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 3**

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Permitir sol durante o inverno

**Tabela 8 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 3**

Vedações externas
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve isolada

**Tabela 9 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 3**

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Nota: Os códigos J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).	

#### 6.4 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 4

Na zona bioclimática 4 (ver figuras 8 e 9) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 10, 11 e 12.

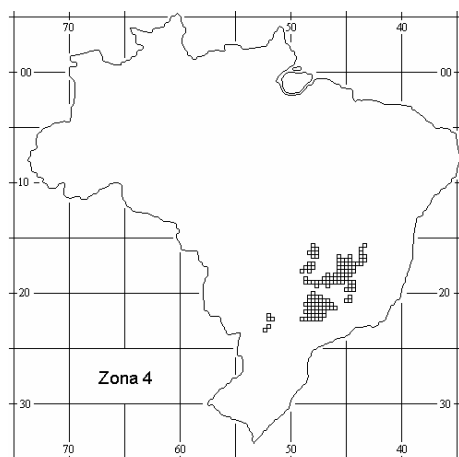


Figura 8 - Zona Bioclimática 4

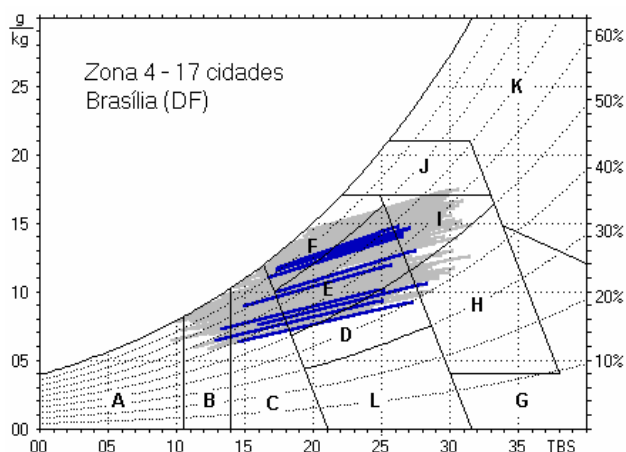


Figura 9 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Brasília, DF

Tabela 10 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 4

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Sombrear aberturas

Tabela 11 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 4

<b>Vedações externas</b>
Parede: Pesada
Cobertura: Leve isolada

Tabela 12 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 4

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)

Nota:  
Os códigos H, J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).

#### 6.5 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 5

Na zona bioclimática 5 (ver figuras 10 e 11) devem ser atendidas as diretrizes construtivas apresentadas nas tabelas 13, 14 e 15.

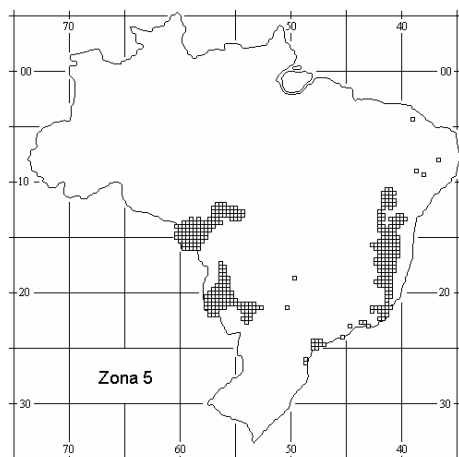


Figura 10 - Zona Bioclimática 5

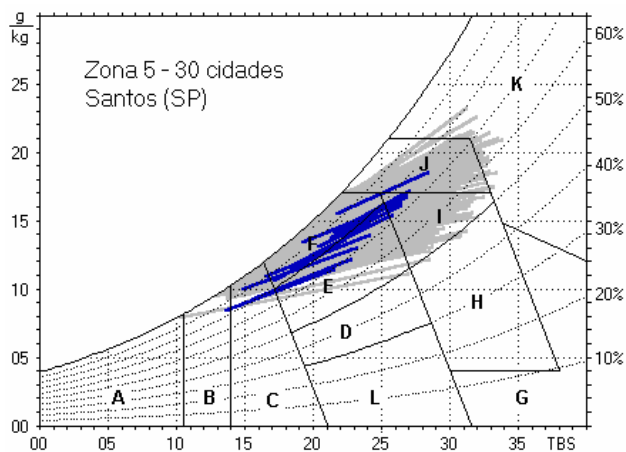


Figura 11 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Santos, SP

**Tabela 13 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 5**

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Sombrear aberturas

**Tabela 14 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 5**

Vedações externas
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve isolada

**Tabela 15 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 5**

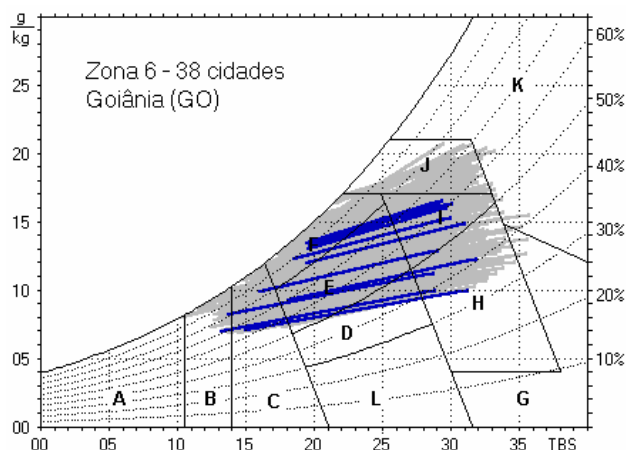
Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Nota: Os códigos J e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).	

**6.6 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 6**

Na zona bioclimática 6 (ver figuras 12 e 13) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 16, 17 e 18.



**Figura 12 - Zona Bioclimática 6**



**Figura 13 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Goiânia, GO**

**Tabela 16 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 6**

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Sombrear aberturas

**Tabela 17 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 6**

Vedações externas
Parede: Pesada
Cobertura: Leve isolada

**Tabela 18 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 6**

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Inverno	C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Nota: Os códigos H, J e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).	

### 6.7 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 7

Na zona bioclimática 7 (ver figuras 14 e 15) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 19, 20 e 21.

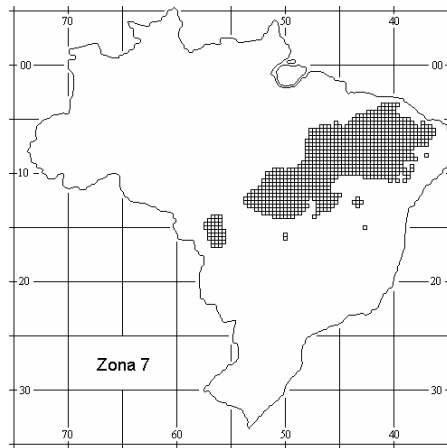


Figura 14 - Zona Bioclimática 7

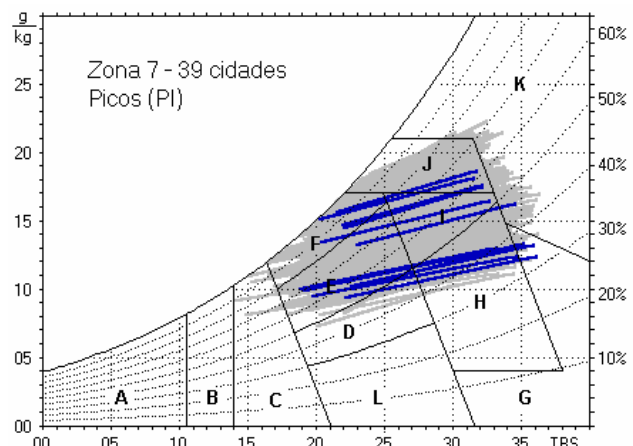


Figura 15 - Carta Bioclimática apresentando as normas climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Picos, PI

Tabela 19 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 7

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Pequenas	Sombrear aberturas

Tabela 20 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 7

Vedações externas
Parede: Pesada
Cobertura: Pesada

Tabela 21 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 7

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)

Nota:

Os códigos H e J são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).

### 6.8 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 8

Na zona bioclimática 8 (ver figuras 16 e 17) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 22, 23 e 24.

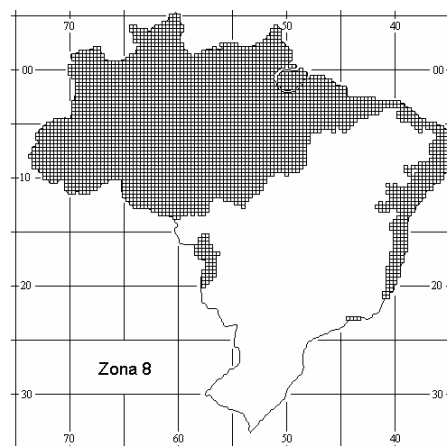


Figura 16 - Zona Bioclimática 8

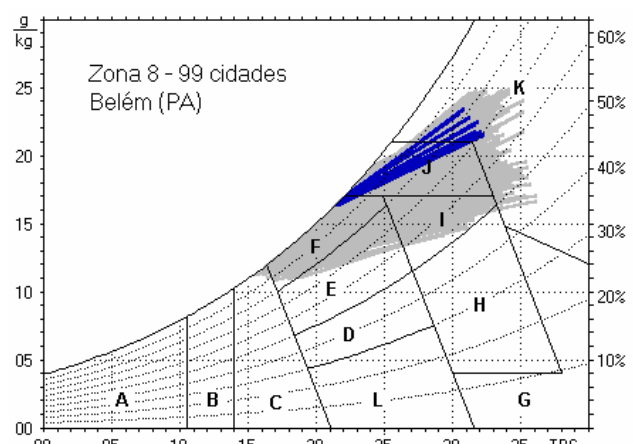


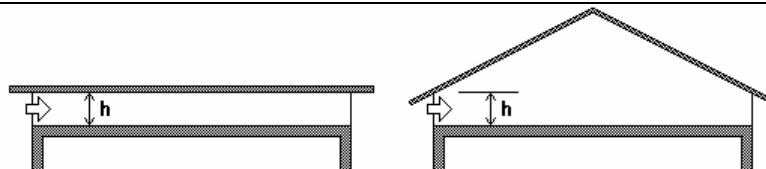
Figura 17 - Carta Bioclimática apresentando as normas climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Belém, PA

Tabela 22 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 8

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Grandes	Sombrear aberturas

**Tabela 23 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 8**

Vedações externas
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve refletora
Notas: 1 Coberturas com telha de barro sem forro, embora não atendam aos critérios das tabelas 23 e C.2, poderão ser aceitas na Zona 8, desde que as telhas não sejam pintadas ou esmaltadas. 2 Na Zona 8, também serão aceitas coberturas com transmitâncias térmicas acima dos valores tabelados, desde que atendam às seguintes exigências: a) conttenham aberturas para ventilação em, no mínimo, dois beirais opostos; e b) as aberturas para ventilação ocupem toda a extensão das fachadas respectivas. Nestes casos, em função da altura total para ventilação (ver figura 18), os limites aceitáveis da transmitância térmica poderão ser multiplicados pelo fator (FT) indicado pela expressão 1.



**Figura 18 - Abertura (h) em beirais, para ventilação do ático**

$$FT = 1,17 - 1,07 \cdot h^{-1,04} \quad (1)$$

Onde:

FT igual ao fator de correção da transmitância aceitável para as coberturas da zona 8 (adimensional);  
 h igual à altura da abertura em dois beirais opostos, em centímetros.

Nota:

Para coberturas sem forro ou com áticos não ventilados, FT = 1.

**Tabela 24 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 8**

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada permanente  Nota: O condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes. O código J é o mesmo adotado na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).

**7 Estratégias de condicionamento térmico**

A tabela 25 apresenta o detalhamento das diferentes estratégias de condicionamento térmico passivo.

**Tabela 25 - Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico**

Estratégia	Detalhamento
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
D	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades).
E	Caracteriza a zona de conforto térmico.
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
G e H	Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.

**Tabela 25 (conclusão) - Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico.**

Estratégia	Detalhamento
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.
K	O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.
L	Nas situações em que a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura do ar estiver entre 21°C e 30°C, a umidificação do ar proporcionará sensações térmicas mais agradáveis. Essa estratégia pode ser obtida através da utilização de recipientes com água e do controle da ventilação, pois esta é indesejável por eliminar o vapor proveniente de plantas e atividades domésticas.

//ANEXO

**Anexo A (normativo)**  
**Relação das 330 cidades cujos climas foram classificados**

**A.1 Notas sobre as colunas**

A primeira coluna (UF) indica a Unidade Federativa a que a cidade pertence e a quarta coluna (Zona) indica a Zona Bioclimática na qual a cidade está inserida. Os estados e as cidades são apresentados em ordem alfabética. A terceira coluna apresenta as estratégias bioclimáticas recomendadas, de acordo com a metodologia utilizada.

UF	Cidade	Estrat.	Zona
AC	Cruzeiro do Sul	FJK	8
AC	Rio Branco	FIJK	8
AC	Tarauacá	FJK	8
AL	Água Branca	CFI	5
AL	Anadia	FIJ	8
AL	Coruripe	FIJ	8
AL	Maceió	FIJ	8
AL	Palmeira dos Índios	FIJ	8
AL	Pão de Açúcar	FIJK	8
AL	Pilar	FIJ	8
AL	Porto de Pedras	FIJ	8
AM	Barcelos	FJK	8
AM	Coari	FJK	8
AM	Fonte Boa	FJK	8
AM	Humaitá	FIJK	8
AM	laurete	FJK	8
AM	Itacoatiara	FJK	8
AM	Manaus	FJK	8
AM	Parintins	JK	8
AM	Taracua	FJK	8
AM	Tefé	FJK	8
AM	Uaupes	FJK	8
AP	Macapá	FJK	8
BA	Alagoinhas	FIJ	8
BA	Barra do Rio Grande	CDFHI	6
BA	Barreiras	DFHIJ	7
BA	Bom Jesus da Lapa	CDFHI	6
BA	Caetité	CDFI	6
BA	Camaçari	FIJ	8
BA	Canavieiras	FIJ	8
BA	Caravelas	FIJ	8
BA	Carinhanha	CDFHI	6
BA	Cipó	FIJK	8
BA	Correntina	CFHIJ	6
BA	Guaratinga	FIJ	8
BA	Ibipetuba	CFHIJ	6
BA	Ilhéus	FIJ	8
BA	Irecê	CDFHI	6
BA	Itaberaba	FI	8
BA	Itiruçu	CFI	5
BA	Ituaçu	CDFHI	6
BA	Jacobina	FI	8
BA	Lençóis	FIJ	8
BA	Monte Santo	CFHI	6
BA	Morro do Chapéu	CFI	5
BA	Paratinga	FHIJK	7
BA	Paulo Afonso	FHIJK	7
BA	Remanso	DFHI	7
BA	Salvador (Ondina)	FIJ	8
BA	Santa Rita de Cássia	CFHIJ	6
BA	São Francisco do Conde	FIJ	8
BA	São Gonçalo dos Campos	FIJ	8
BA	Senhor do Bonfim	FHI	7
BA	Serrinha	FIJ	8
BA	Vitória da Conquista	CFI	5

UF	Cidade	Estrat.	Zona
CE	Barbalha	DFHIJ	7
CE	Campos Sales	DFHIJ	7
CE	Crateús	DFHIJ	7
CE	Fortaleza	FIJ	8
CE	Guaramiranga	CFI	5
CE	Iguatu	DFHIJ	7
CE	Jaguaruana	FIJK	8
CE	Mondibim	FIJ	8
CE	Morada Nova	FHIJK	7
CE	Quixadá	FHIJK	7
CE	Quixeramobim	FHIJK	7
CE	Sobral	FHIJK	7
CE	Tauá	DFHIJ	7
DF	Brasília	BCDFI	4
ES	Cachoeiro de Itapemirim	FIJK	8
ES	Conceição da Barra	FIJ	8
ES	Linhares	FIJ	8
ES	São Mateus	FIJ	8
ES	Vitória	FIJ	8
GO	Aragarças	CFHIJ	6
GO	Catalão	CDFHI	6
GO	Formosa	CDFHI	6
GO	Goiânia	CDFHI	6
GO	Goiás	FHIJ	7
GO	Ipamerí	BCDFI	4
GO	Luziânia	BCDFI	4
GO	Pirenópolis	CDFHI	6
GO	Posse	CDFHI	6
GO	Rio Verde	CDFHI	6
MA	Barra do Corda	FHIJK	7
MA	Carolina	FHIJ	7
MA	Caxias	FHIJK	7
MA	Coroatá	FIJK	8
MA	Grajaú	FHIJK	7
MA	Imperatriz	FHIJK	7
MA	São Bento	FIJK	8
MA	São Luiz	JK	8
MA	Turiaçu	FIJ	8
MA	Zé Doca	FIJK	8
MG	Aimorés	CFIJK	5
MG	Araçuaí	CFIJ	5
MG	Araxá	BCFI	3
MG	Bambuí	BCFIJ	3
MG	Barbacena	BCFI	3
MG	Belo Horizonte	BCFI	3
MG	Caparaó	ABCFI	2
MG	Capinópolis	CFIJ	5
MG	Caratinga	BCFI	3
MG	Cataguases	CFIJ	5
MG	Conceição do Mato Dentro	BCFI	3
MG	Coronel Pacheco	BCFIJ	3
MG	Curvelo	BCFIJ	3
MG	Diamantina	BCFI	3
MG	Espinosa	CDFHI	6
MG	Frutal	CFHIJ	6



## Continuação

UF	Cidade	Estrat.	Zona
MG	Governador Valadares	CFIJ	5
MG	Grão Mogol	BCFI	3
MG	Ibirité	ABCFI	2
MG	Itabira	BCFI	3
MG	Itajubá	ABCFI	2
MG	Itamarandiba	BCFI	3
MG	Januária	CFHIJ	6
MG	João Pinheiro	CDFHI	6
MG	Juiz de Fora	BCFI	3
MG	Lavras	BCFI	3
MG	Leopoldina	CFIJ	5
MG	Machado	ABCFI	2
MG	Monte Alegre de Minas	BCFIJ	3
MG	Monte Azul	DFHI	7
MG	Montes Claros	CDFHI	6
MG	Muriae	BCFIJ	3
MG	Oliveira	BCDFI	4
MG	Paracatu	CFHIJ	6
MG	Passa Quatro	ABCFI	2
MG	Patos de Minas	BCDFI	4
MG	Pedra Azul	CFI	5
MG	Pirapora	BCFHI	4
MG	Pitangui	BCFHI	4
MG	Poços de Calda	ABCF	1
MG	Pompeu	BCFIJ	3
MG	Santos Dumont	BCFI	3
MG	São Francisco	CFHIJ	6
MG	São João Del Rei	ABCFI	2
MG	São João Evangelista	BCFIJ	3
MG	São Lourenço	ABCFI	2
MG	Sete Lagoas	BCDFI	4
MG	Teófilo Otoni	CFIJ	5
MG	Três Corações	ABCFI	2
MG	Ubá	BCFIJ	3
MG	Uberaba	BCFIJ	3
MG	Viçosa	BCFIJ	3
MS	Aquidauana	CFIJK	5
MS	Campo Grande	CFHIJ	6
MS	Corumbá	FIJK	8
MS	Coxim	CFHIJ	6
MS	Dourados	BCFIJ	3
MS	Ivinhema	CFIJK	5
MS	Paranaíba	CFHIJ	6
MS	Ponta Porã	BCFI	3
MS	Três Lagoas	CFHIJ	6
MT	Cáceres	FIJK	8
MT	Cidade Vera	CFIJK	5
MT	Cuiabá	FHIJK	7
MT	Diamantino	FHIJK	7
MT	Meruri	CFHIJ	6
MT	Presidente Murtinho	BCFIJ	3
PA	Altamira	FJK	8
PA	Alto Tapajós	FJK	8
PA	Belém	FJK	8
PA	Belterra	FJK	8

UF	Cidade	Estrat.	Zona
PA	Breves	FJK	8
PA	Conceição do Araguaia	FIJK	8
PA	Itaituba	FJK	8
PA	Marabá	FJK	8
PA	Monte Alegre	FIJ	8
PA	Óbidos	FJK	8
PA	Porto de Moz	FJK	8
PA	Santarém (Taperinha)	FJK	8
PA	São Félix do Xingú	FIJK	8
PA	Soure	JK	8
PA	Tiriós	FIJ	8
PA	Tracuateua	FIJK	8
PA	Tucuruí	FJK	8
PB	Areia	FIJ	8
PB	Bananeiras	FIJ	8
PB	Campina Grande	FIJ	8
PB	Guarabira	FIJK	8
PB	João Pessoa	FIJ	8
PB	Monteiro	CFHI	6
PB	São Gonçalo	FHIJK	7
PB	Umbuzeiro	FI	8
PE	Arco Verde	FHI	7
PE	Barreiros	FJK	8
PE	Cabrobó	DFHI	7
PE	Correntes	FIJ	8
PE	Fernando de Noronha	FIJ	8
PE	Floresta	FHIK	7
PE	Garanhuns	CFI	5
PE	Goiana	FIJ	8
PE	Nazaré da Mata	FIJ	8
PE	Pesqueira	FI	8
PE	Petrolina	DFHI	7
PE	Recife	FIJ	8
PE	São Caetano	FIJ	8
PE	Surubim	FIJ	8
PE	Tapera	FIJ	8
PE	Triunfo	CFHI	6
PI	Bom Jesus do Piauí	DFHIJ	7
PI	Floriano	FHIJK	7
PI	Parnaíba	FIJ	8
PI	Paulistana	DFHIJ	7
PI	Picos	DFHIJ	7
PI	Teresina	FHIJK	7
PR	Campo Mourão	BCFI	3
PR	Castro	ABCF	1
PR	Curitiba	ABCF	1
PR	Foz do Iguaçu	BCFIJ	3
PR	Guaira	BCFIJ	3
PR	Guarapuava	ABCF	1
PR	Ivaí	ABCFI	2
PR	Jacarezinho	BCFIJ	3
PR	Jaguariaiva	ABCFI	2
PR	Londrina	BCFI	3
PR	Maringá	ABCD	1
PR	Palmas	ABCF	1

## Continuação

UF	Cidade	Estrat.	Zona
PR	Paranaguá	BCFIJ	3
PR	Ponta Grossa	ABCFI	2
PR	Rio Negro	ABCFI	2
RJ	Angra dos Reis	FIJ	8
RJ	Barra do Itabapoana	CFIJ	5
RJ	Cabo Frio	FIJ	8
RJ	Campos	CFIJ	5
RJ	Carmo	BCFIJ	3
RJ	Cordeiro	BCFIJ	3
RJ	Escola Agrícola	CFIJ	5
RJ	Ilha Guaíba	FIJ	8
RJ	Itaperuna	CFIJ	5
RJ	Macaé	CFIJ	5
RJ	Niterói	CFIJ	5
RJ	Nova Friburgo	ABCFI	2
RJ	Petrópolis	BCF	3
RJ	Piraí	BCFIJ	3
RJ	Rezende	BCFIJ	3
RJ	Rio de Janeiro	FIJ	8
RJ	Rio Douro	CFIJ	5
RJ	Teresópolis	ABCFI	2
RJ	Vassouras	BCFIJ	3
RJ	Xerém	CFIJ	5
RN	Apodí	FIJK	8
RN	Ceará Mirim	FIJ	8
RN	Cruzeta	FHIJK	7
RN	Florânia	FHIJ	7
RN	Macaíba	FIJ	8
RN	Macau	FIJ	8
RN	Mossoró	FHIJK	7
RN	Natal	FIJ	8
RN	Nova Cruz	FIJ	8
RO	Porto Velho	FIJK	8
RS	Alegrete	ABCFI	2
RS	Bagé	ABCFI	2
RS	Bom Jesus	ABCF	1
RS	Caxias do Sul	ABCF	1
RS	Cruz Alta	ABCFI	2
RS	Encruzilhada do Sul	ABCFI	2
RS	Iraí	BCFIJ	3
RS	Passo Fundo	ABCFI	2
RS	Pelotas	ABCFI	2
RS	Porto Alegre	BCFI	3
RS	Rio Grande	BCFI	3
RS	Santa Maria	ABCFI	2
RS	Santa Vitória do Palmar	ABCFI	2
RS	São Francisco de Paula	ABCF	1
RS	São Luiz Gonzaga	ABCFI	2
RS	Torres	BCFI	3
RS	Uruguaiana	ABCFI	2
SC	Araranguá	ABCFI	2
SC	Camboriú	BCFIJ	3
SC	Chapecó	BCFI	3
SC	Florianópolis	BCFIJ	3
SC	Indaial	BCFIJ	3

UF	Cidade	Estrat.	Zona
SC	Lages	ABCF	1
SC	Laguna	ABCFI	2
SC	Porto União	ABCFI	2
SC	São Francisco do Sul	CFIJ	5
SC	São Joaquim	ABCF	1
SC	Urussanga	ABCFI	2
SC	Valões	ABCFI	2
SC	Xanxerê	ABCFI	2
SE	Aracajú	FIJ	8
SE	Itabaianinha	FIJ	8
SE	Propriá	FIJK	8
SP	Andradina	CFHIJ	6
SP	Araçatuba	CFIJK	5
SP	Avaré	BCFIJ	3
SP	Bandeirantes	BCFI	3
SP	Bariri	BCFI	3
SP	Barra Bonita	BCFI	3
SP	Campinas	BCFI	3
SP	Campos do Jordão	ABCF	1
SP	Casa Grande	ABCFI	2
SP	Catanduva	CFHIJ	6
SP	Franca	BCDF	4
SP	Graminha	BCFI	3
SP	Ibitinga	BCFIJ	3
SP	Iguape	CFIJ	5
SP	Itapeva	ABCFI	2
SP	Jau	BCDFI	4
SP	Juquiá	CFIJ	5
SP	Jurumirim	BCFI	3
SP	Limeira	BCDFI	4
SP	Limoeiro	BCDFI	4
SP	Mococa	BCDFI	4
SP	Mogi Guaçu (Campininha)	BCFIJ	3
SP	Paraguaçu Paulista	CDFI	6
SP	Pindamonhangaba	BCFIJ	3
SP	Pindorama	CDFHI	6
SP	Piracicaba	ABCFI	2
SP	Presidente Prudente	CDFHI	6
SP	Ribeirão das Antas	BCFI	3
SP	Ribeirão Preto	BCDFI	4
SP	Salto Grande	BCFIJ	3
SP	Santos	CFIJ	5
SP	São Carlos	BCDFI	4
SP	São Paulo	BCFI	3
SP	São Simão	BCDFI	4
SP	Sorocaba	BCFI	3
SP	Tietê	BCFI	3
SP	Tremembé	BCFI	3
SP	Ubatuba	BCFIJ	3
SP	Viracopos	BCDFI	4
SP	Votuporanga	CDFHI	6
TO	Paraná	CFHIJ	6
TO	Peixe	FHIJK	7
TO	Porto Nacional	FHIJK	7
TO	Taguatinga	DFHIJ	7

## Anexo B (normativo) Zoneamento Bioclimático do Brasil

### B.1 Conceituação

O território brasileiro foi dividido em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima.

Para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas, objetivando otimizar o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

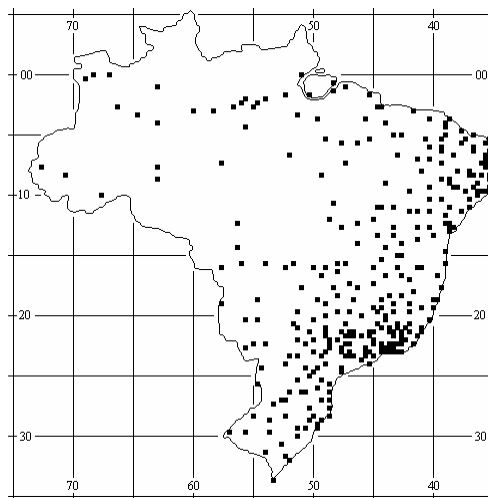
### B.2 Base de dados climáticos

**B.2.1** O território brasileiro foi dividido em 6500 células, cada uma das quais foi caracterizada pela posição geográfica e pelas seguintes variáveis climáticas:

- a) Médias mensais das temperaturas máximas;
- b) Médias mensais das temperaturas mínimas; e
- c) Médias mensais das umidades relativas do ar.

**B.2.2** Para 330 células (ver figura B.1) contou-se com:

- a) dados das Normais Climatológicas medidos desde 1961 a 1990 em 206 cidades;
- b) dados das Normais Climatológicas e outras fontes medidos desde 1931 a 1960 em 124 cidades;
- c) para as demais células o clima foi estimado, por interpolação, através dos passos B.2.2.1 e B.2.2.2.



**Figura B.1 – Localização das células com dados medidos**

#### B.2.2.1 Médias mensais de temperaturas máximas e mínimas

Os valores de cada célula foram considerados como médias ponderadas entre quatro células vizinhas (acima, abaixo, à esquerda e à direita). Na ponderação, as células com dados medidos tiveram peso quatro e as demais, peso um.

#### B.2.2.2 Médias mensais de umidades relativas

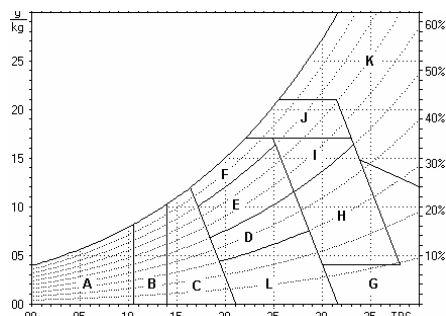
Através dos algoritmos das relações psicrométricas ("Algorithms for Building Heat Transfer Subroutines", ASHRAE, 1996), foram primeiramente calculadas as umidades absolutas (gramas de vapor d'água/quilo de ar seco) das cidades com clima medido.

Em seguida, estas umidades foram interpoladas pelo mesmo procedimento adotado para as temperaturas.

Finalmente, para cada célula, foram obtidas as umidades relativas correspondentes às temperaturas médias mensais.

### B.3 Método para a classificação bioclimática

Adotou-se uma Carta Bioclimática (ver figura B.2) adaptada a partir da sugerida por Givoni ("Comfort, climate analysis and building design guidelines". Energy and Building, vol.18, July/92).



**Figura B.2 – Carta bioclimática adaptada**

As zonas da carta correspondem às seguintes estratégias:

A – Zona de aquecimento artificial (calefação)	G + H – Zona de resfriamento evaporativo
B – Zona de aquecimento solar da edificação	H + I – Zona de massa térmica de refrigeração
C – Zona de massa térmica para aquecimento	I + J – Zona de ventilação
D – Zona de Conforto Térmico (baixa umidade)	K – Zona de refrigeração artificial
E – Zona de Conforto Térmico	L – Zona de umidificação do ar
F – Zona de desumidificação (renovação do ar)	

Sobre esta carta, foram registrados e classificados os climas de cada ponto do território brasileiro. Para cada mês do ano, os dados mensais de temperatura e umidade do ar foram representados por uma reta (ver figura B.3), obtida da seguinte maneira:

Dados de entrada:

- a) **Tmin** igual à temperatura média das mínimas;
- b) **Tmax** igual à temperatura média das máximas;
- c) **UR** igual à média mensal da umidade relativa.

Cálculo da temperatura média mensal e seqüência

$$Tmed = (Tmin + Tmax) / 2$$

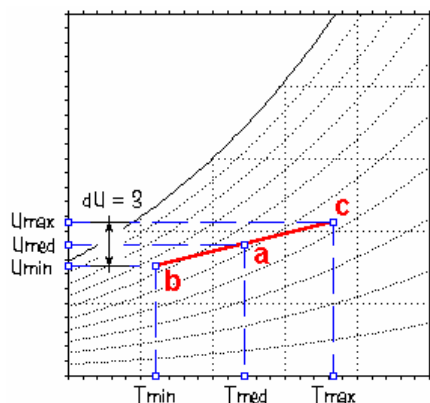


Figura B.3 – Determinação da linha abc

Marcar o ponto “a”, na interseção entre **Tmed** e **UR**.

A umidade absoluta correspondente ao ponto “a” será considerada como a média mensal da umidade absoluta (**Umed**, em g. de vapor / kg de ar seco).

Calcular **Umin** (umidade absoluta correspondente a **Tmin**) pela seguinte expressão:

$$Umin = Umed - 1,5 \text{ (gr. Vapor / kg ar seco)}$$

Calcular **Umax** (umidade absoluta correspondente a **Tmax**) pela seguinte expressão:

$$Umax = Umed + 1,5 \text{ (gr. Vapor / kg ar seco)}$$

Nota: A variação média da umidade absoluta do ar, adotada nas expressões acima, é sugerida por Lamberts, Dutra e Pereira (“Eficiência Energética na Arquitetura”, 1997, página 144).

Localizar o ponto “b” na interseção entre as retas que passam por **Tmin** e por **Umin**

Localizar o ponto “c” na interseção entre as retas que passam por **Tmax** e por **Umax**

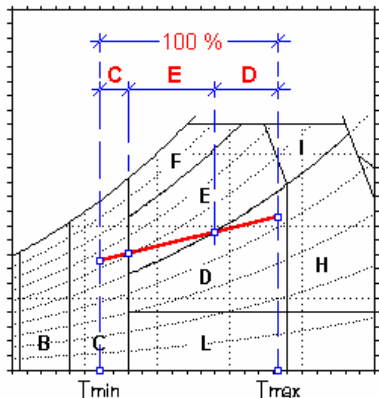


Figura B.4 – Percentagem de cada estratégia

A reta “bc” representa todas as horas de um dia médio do mês considerado. Calcula-se, então, a percentagem destas horas que corresponda a cada uma das estratégias indicadas na carta bioclimática.

No exemplo indicado na figura B.4 , as horas mais frias do dia estão na região C da carta (massa térmica para aquecimento), enquanto as mais quentes estão na região D. Como a reta inteira equivale a 100% do tempo, os segmentos C, E e D indicam, respectivamente, as percentagens das horas correspondentes a cada uma destas estratégias. Esta operação é repetida para os 12 meses, calculando-se, assim, as percentagens de cada estratégia acumuladas ao longo de um ano.

### B.4 Um caso particular

A figura B.5 mostra uma condição climática sob a qual a aplicação do procedimento indicado implicaria em localizar o ponto “b” acima da curva de saturação do ar.

Nestes casos, fazendo corresponder o ponto “b” a uma umidade relativa  $\leq 100\%$ , adota-se uma amplitude maior que 3 para a umidade absoluta ( $dU > 3$  gr vapor / kg ar seco).

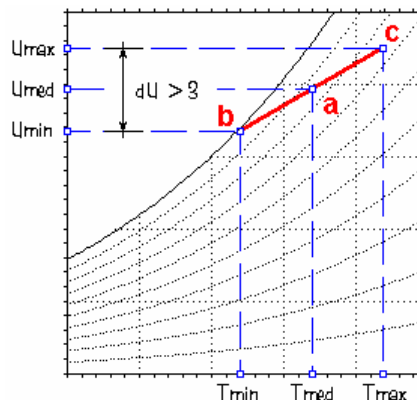


Figura B.5 – Ponto acima da curva de saturação do ar

A carta indicada na figura B.6 apresenta o clima de Brasília, com as respectivas percentagens das horas/ano correspondentes a cada estratégia. Valores menores que 1% são desprezados. Em seguida, são selecionadas as cinco principais estratégias, exceto a da região "E" (conforto térmico). No caso de Brasília, restariam as seguintes:

F – 16,2 %  
 D – 10,6 %  
 C – 12,7 %  
 I – 3,7 %  
 B – 1,5 %

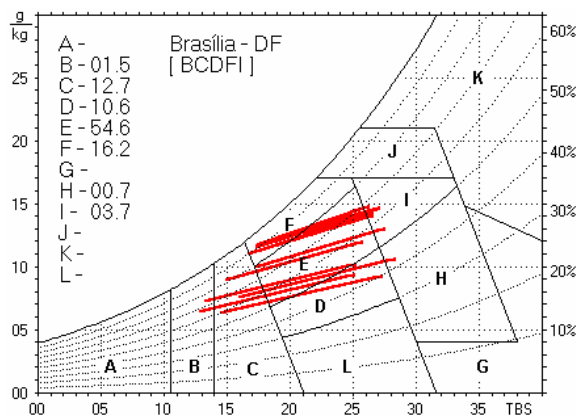


Figura B.6 – Estratégias bioclimáticas para Brasília

Reunidas em ordem alfabética, estas letras definem o código "BCDFI" para o clima analisado. Este código permitirá a classificação de cada tipo de clima, em uma das oito Zonas Bioclimáticas, através dos critérios apresentados na tabela B.1

Tabela B.1 - Critérios para classificação bioclimática

Classificação							Zona	Nº Cidades
A	B	C	D	H	I	J		
Sim					Não	Não	1	12
Sim							2	33
	Sim		Não	Não			3	62
	Sim						4	17
		Sim	Não	Não			5	30
		Sim					6	38
				Sim			7	39
			Não				8	99

Legenda: Sim = presença obrigatória  
 Não = presença proibida

NOTAS:  
 1 As estratégias não assinaladas com **sim** ou **não** podem estar no código do clima, mas sua presença não é obrigatória.  
 2 Percorrer a tabela de cima para baixo, adotando a primeira zona cujos critérios coincidam com o código.

### B.5 Exemplo de aplicação

Como já foi visto, o clima de Brasília é identificado pelas letras BCDFI. Percorre-se, então, a tabela, de cima para baixo, procurando a primeira Zona cujos critérios aceitem esta seqüência:

Zona 1: **A** é obrigatório e **I** e **J** são proibidos. Portanto, Brasília não faz parte desta Zona Bioclimática, pois não tem A e tem I.

Zona 2: **A** é obrigatório. Brasília não faz parte desta Zona Bioclimática, pois não tem A.

Zona 3: **B** é obrigatório e **D** e **H** são proibidos. Brasília tem D, portanto não faz parte desta Zona Bioclimática.

Zona 4: **B** é obrigatório. Como Brasília tem B, sua Zona Bioclimática é a 4.

**Anexo C** (informativo)**Recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local**

A tabela C.1 apresenta diretrizes construtivas relativas às aberturas para ventilação e a tabela C.2, diretrizes construtivas relativas à transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar para paredes externas e coberturas.

**Tabela C.1 - Aberturas para ventilação**

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

**Tabela C.2 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa**

Vedações externas		Transmitância térmica - U W/m <sup>2</sup> .K	Atraso térmico - $\varphi$ Horas	Fator solar - FS <sub>o</sub> %
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\varphi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Leve refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\varphi \geq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$

**NOTAS**

1 Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar (ver 02:135.07-001/2)

2 s aberturas efetivas para ventilação são dadas em percentagem da área de piso em ambientes de longa permanência (cozinha, dormitório, sala de estar).

3 No caso de coberturas (este termo deve ser entendido como o conjunto telhado mais ático mais forro), a transmitância térmica deve ser verificada para fluxo descendente.

4 O termo "ático" refere-se à câmara de ar existente entre o telhado e o forro.

**Anexo D** (informativo)**Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de algumas paredes e coberturas****Tabela D.1 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados nos componentes da tabela D.3**

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Cerâmica	1600	0,90	0,92
Argamassa de emboço ou assentamento	2000	1,15	1,00
Concreto	2400	1,75	1,00

**Tabela D.2 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados nos componentes da tabela D.4**

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Cerâmica	2000	1,05	0,92
Fibro-cimento	1900	0,95	0,84
Madeira	600	0,14	2,30
Concreto	2200	1,75	1,00
Lâmina de alumínio polido ( $\epsilon < 0,2$ )	2700	230	0,88
Lã de vidro	50	0,045	0,70

**Tabela D.3 - Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes**

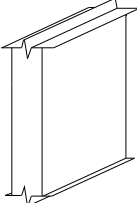
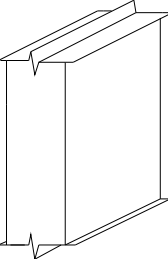
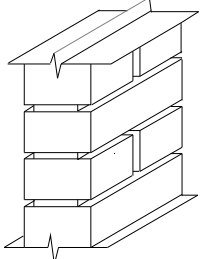
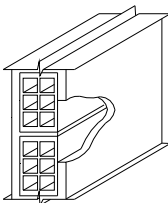
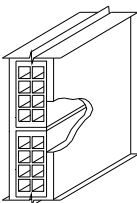
Parede	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	$\phi$ [horas]
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 5,0 cm	5,04	120	1,3
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10,0 cm	4,40	240	2,7
	Parede de tijolos maciços aparentes Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura total da parede: 10,0 cm	3,70	149	2,4
	Parede de tijolos 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,48	159	3,3
	Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,49	158	3,3

Tabela D.3 (continuação) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

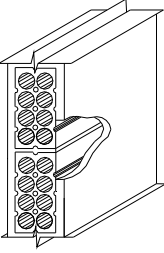
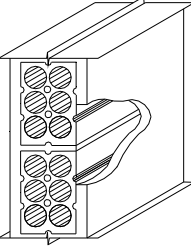
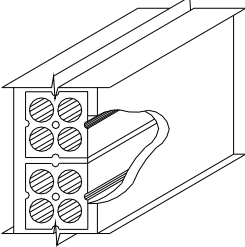
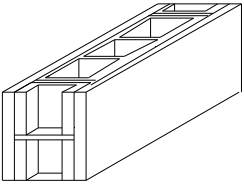
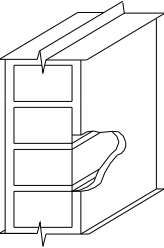
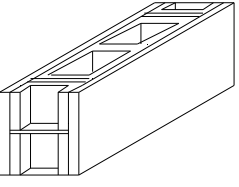
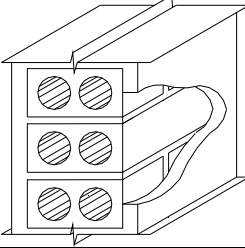
Parede	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,24	167	3,7
	Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,28	168	3,7
	Parede com 4 furos circulares Dimensões do tijolo: 9,5x9,5x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,5 cm	2,49	186	3,7
	Parede de blocos cerâmicos de 3 furos Dimensões do bloco: 13,0x28,0x18,5 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 18,0 cm	2,43	192	3,8
	Parede de tijolos maciços, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	3,13	255	3,8
	Parede de blocos cerâmicos de 2 furos Dimensões do bloco: 14,0x29,5x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm	2,45	203	4,0
	Parede de tijolos com 2 furos circulares Dimensões do tijolo: 12,5x6,3x22,5 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 17,5 cm	2,43	220	4,2



Tabela D.3 (continuação) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

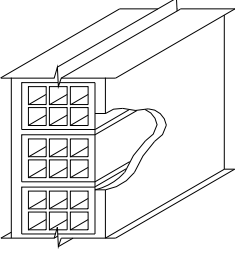
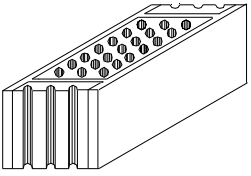
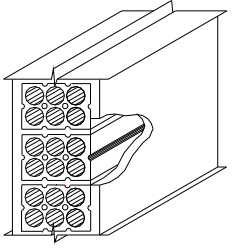
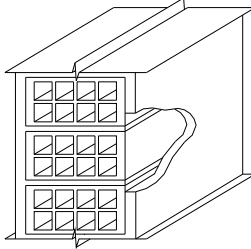
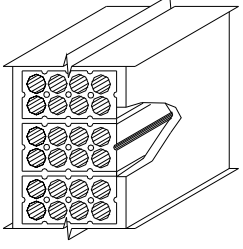
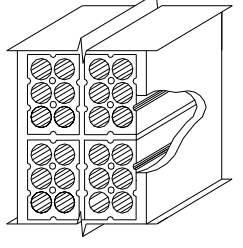
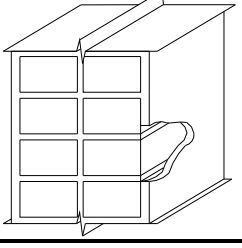
Parede	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos de 6 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm	2,02	192	4,5
	Parede de tijolos de 21 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 17,0 cm	2,31	227	4,5
	Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 20,0 cm	1,92	202	4,8
	Parede de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 24,0 cm	1,80	231	5,5
	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 25,0 cm	1,61	232	5,9
	Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm	1,52	248	6,5
	Parede dupla de tijolos maciços, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm	2,30	430	6,6

Tabela D.3 (conclusão) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

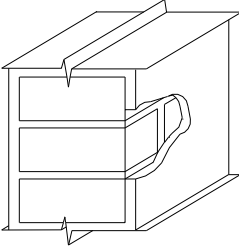
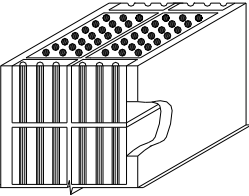
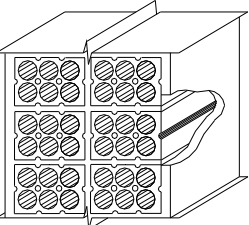
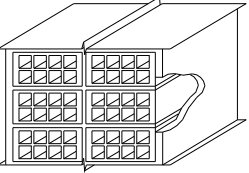
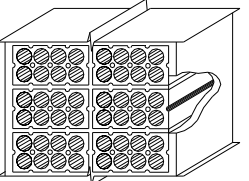
Parede	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos maciços, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 27,0 cm	2,25	445	6,8
	Parede dupla de tijolos de 21 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 30,0 cm	1,54	368	8,1
	Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 36,0 cm	1,21	312	8,6
	Parede dupla de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 44,0 cm	1,12	364	9,9
	Parede dupla de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 46,0 cm	0,98	368	10,8

Tabela D.4 – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas.

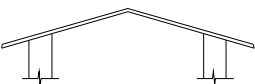
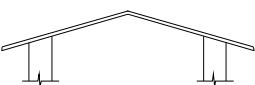
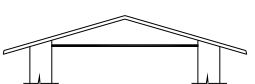
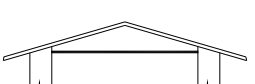
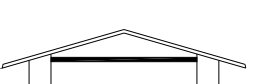
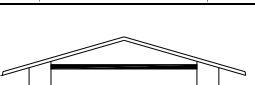
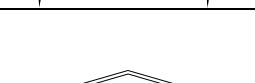

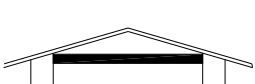
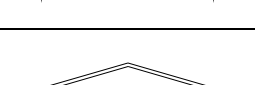
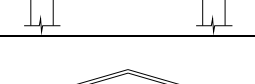

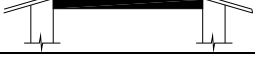
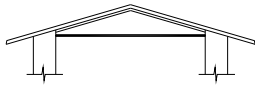
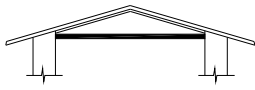
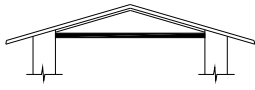
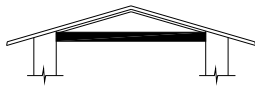
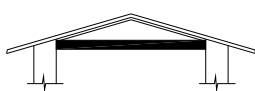
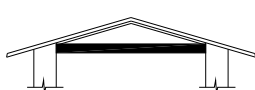
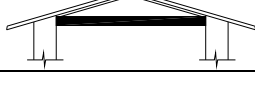
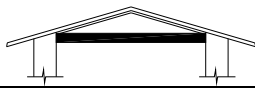
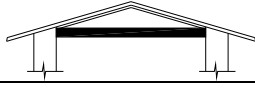
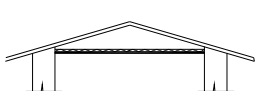
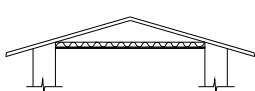
Cobertura	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	φ [horas]
	Cobertura de telha de barro sem forro Espessura da telha: 1,0 cm	4,55	18	0,3
	Cobertura de telha de fibro-cimento sem forro Espessura da telha: 0,7 cm	4,60	11	0,2
	Cobertura de telha de barro com forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	2,00	32	1,3
	Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de madeira Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	2,00	25	1,3
	Cobertura de telha de barro com forro de concreto Espessura da telha: 1,0 cm Espessura do concreto: 3,0 cm	2,24	84	2,6
	Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de concreto Espessura da telha: 0,7 cm Espessura do concreto: 3,0 cm	2,25	77	2,6
	Cobertura de telha de barro com forro de laje mista Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da laje: 12,0 cm R <sub>t(laje)</sub> = 0,0900 (m <sup>2</sup> .K/W) C <sub>T(laje)</sub> = 95 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	1,92	113	3,6
	Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de laje mista Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da laje: 12,0 cm R <sub>t(laje)</sub> = 0,0900 (m <sup>2</sup> .K/W) C <sub>T(laje)</sub> = 95 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	1,93	106	3,6
	Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,84	458	8,0
	Cobertura de telha de fibro-cimento com laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,99	451	7,9
	Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,75	568	9,3
	Cobertura de telha de fibro-cimento com laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,75	561	9,2
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	1,11	32	2,0

Tabela D.4 (conclusão) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas.

Cobertura	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	φ [horas]
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e forro de madeira Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	1,16	25	2,0
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de concreto Espessura da telha: 1,0 cm Espessura do concreto: 3,0 cm	1,18	84	4,2
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e forro de concreto Espessura da telha: 0,7 cm Espessura do concreto: 3,0 cm	1,18	77	4,2
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de laje mista Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da laje: 12,0 cm R <sub>t(laje)</sub> = 0,0900 (m <sup>2</sup> .K/W) C <sub>T(laje)</sub> = 95 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	1,09	113	5,4
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e forro de laje mista Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da laje: 12,0 cm R <sub>t(laje)</sub> = 0,0900 (m <sup>2</sup> .K/W) C <sub>T(laje)</sub> = 95 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	1,09	106	5,4
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,06	458	11,8
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,06	451	11,8
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,03	568	13,4
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,03	561	13,4
	Cobertura de telha de barro com 2,5 cm de lã de vidro sobre o forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	0,95	33	2,3
	Cobertura de telha de barro com 5,0 cm de lã de vidro sobre o forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	0,62	34	3,1

## NOTAS:

1 As transmitâncias térmicas e os atrasos térmicos das coberturas são calculados para condições de verão (fluxo térmico descendente).

2 Deve-se atentar que, apesar da semelhança entre a transmitância térmica da cobertura com telhas de barro e aquela com telhas de fibrocimento, o desempenho térmico proporcionado por estas duas coberturas é significativamente diferente pois as telhas de barro são porosas e permitem a absorção de água (de chuva ou de condensação). Este fenômeno contribui para a redução do fluxo de calor para o interior da edificação, pois parte deste calor será dissipado no aquecimento e evaporação da água contida nos poros da telha. Desta forma, sugere-se a utilização de telhas de barro em seu estado natural, ou seja, isentas de quaisquer tratamentos que impeçam a absorção de água.