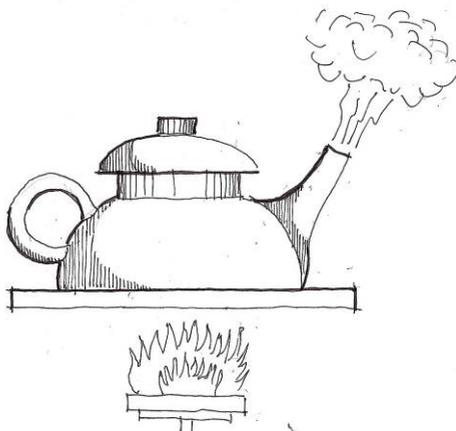


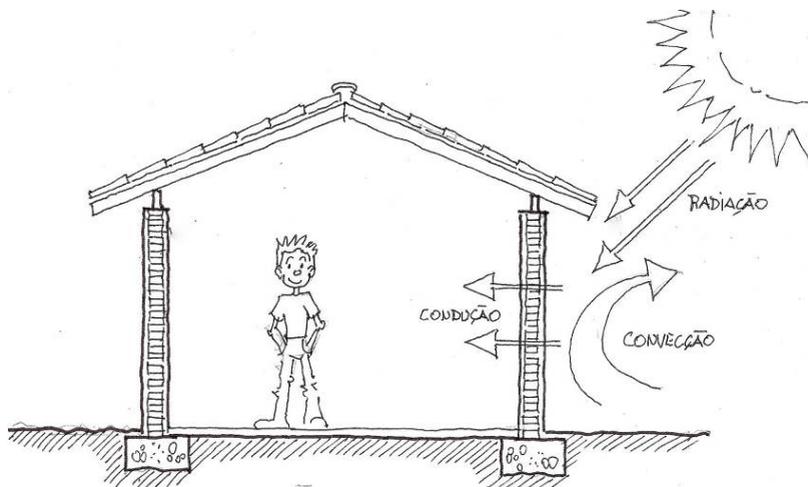
Destaca-se que as estratégias sumárias aqui apresentadas, serão melhor detalhadas, inclusive em termos quantitativos, nos capítulos seguintes.

## 1.4 Recomendações normativas para a escolha das vedações

Calor, é energia em trânsito. Assim, se colocarmos em contato objetos ou meios com diferentes temperaturas, o mais quente cede calor para o mais frio, até que ambos cheguem a uma temperatura igual, no que se convencionou chamar de equilíbrio térmico.

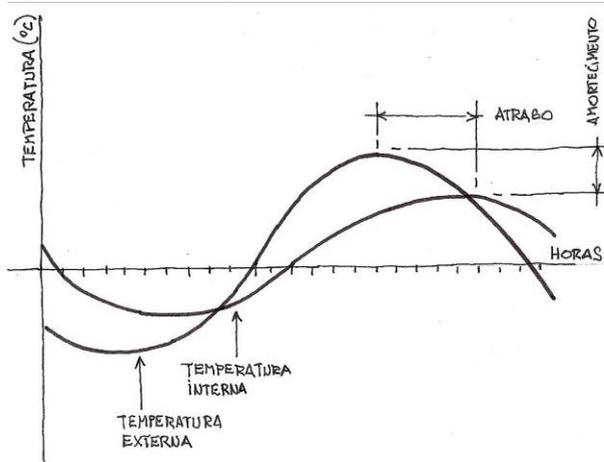


Existem processos de transferências de calor, dos quais destacamos as trocas térmicas secas, ou seja, quando não há uma mudança de estado físico,



sendo elas a convecção, a condução e a radiação. A convecção, é a troca térmica que ocorre entre um meio líquido ou gasoso e um sólido. No caso dos edifícios, a convecção fica explicitada quando suas vedações trocam calor com o ar. A condução, por sua vez, acontece quando dois sólidos de diferentes temperaturas estão unidos e trocando calor, sendo que, numa vedação composta de várias camadas de materiais distintos, essas camadas trocam calor por condução. A radiação, é a propagação do calor por meio de ondas eletromagnéticas e a edificação ganha calor por radiação da luz do sol. Logo, considerando que há uma diferença de temperatura entre o ambiente interior e a área externa do edifício, fica evidente a importância das vedações nesta troca de calor. Desse modo, os indicadores de mediação desta passagem de calor dizem respeito aos materiais constituintes, a espessura e a cor externa destas vedações.

Vale acrescentar a importância do princípio de inércia térmica, sendo ela a capacidade de se armazenar e liberar calor. Esta inércia térmica é o principal fator



de preservação do ambiente interior das oscilações da temperatura externa e, mais uma vez, delibera-se a importância das vedações externas, pois elas definem se a inércia térmica do edifício é alta (vedações pesadas), deixando o ambiente interior me-

nos sujeito às oscilações térmicas do exterior mantendo a temperatura interna constante, ou baixa (vedações leves), quando a temperatura externa fica mais sujeita às oscilações externas. Novamente convém salientar que o isolamento térmico acaba com a inércia térmica, pois se pressupõe o impedimento da passagem do calor pela vedação.

Assim, o primeiro indicador de balanço térmico dos edifícios a ser citado é a condutibilidade térmica dos materiais, que se trata da quantidade de calor que passa pelo material por um determinado tempo. Tendo como unidade W/m.K, quanto maior o seu número, mais calor passa pela vedação e quanto mais denso o material, maior a sua condutibilidade térmica. Como exemplo, pode ser citado o concreto armado, que tem densidade de 2400 Kg/m<sup>3</sup> e condutividade térmica de 1,75 W/m.K, alta se comparado com placas de gesso, que tem densidade entre 750 e 1000 Kg/m<sup>3</sup> e possui a condutividade térmica de 0,35 W/m.K.

A resistência térmica (R) da vedação, é a relação entre a sua espessura e a condutibilidade térmica dos materiais que a constitui. Sua unidade é o m<sup>2</sup>K/W e quanto maior o número de R, maior a resistência à passagem de calor. Outro indicador importante a ser citado, é a transmitância térmica (U), que é o inverso da resistência térmica, ou seja, definida pela equação 1 a seguir:

Equação 1 – Relação entre transmitância térmica e resistência térmica.

$$U = \frac{1}{R}$$

Onde:

U – Transmitância térmica (W/m<sup>2</sup>K)

R – Resistência térmica (m<sup>2</sup>K/W)

Desse modo, quanto menor a transmitância térmica da vedação, mais resistente ela é à passagem de calor de uma face para a outra. Convém salientar, que a cor externa da vedação pode contribuir para enfatizar ou minorar o ganho de calor, pois quanto mais escura esta cor, mais é absorvido o calor dos raios solares e quanto mais clara, maior é a reflexão deste calor. Nesse caso, o indicador quantitativo é a absortância à radiação solar ( $\alpha$ ), que é o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. Quanto maior esta absortância, mais absorvido o calor dos raios solares pela superfície, sendo que a cor preta tem absortância 0,97. Já para o branco, esta absortância é de 0,20.

Com efeito, a norma brasileira NBR 15220 (ABNT, 2005) separa o território brasileiro em oito regiões bioclimáticas, com recomendações quanto às vedações para cada uma delas. Vale acrescentar que o anexo 1 da parte 3 da NBR 15220



(ABNT, 2005) apresenta uma tabela com o enquadramento no zoneamento bioclimático de 330 cidades brasileiras em todos os estados da federação, conforme apresentado na tabela 1 a seguir:

FUNDAMENTOS DE CONFORTO AMBIENTAL PARA APLICAÇÃO NO PROJETO DE ARQUITETURA  
 Conforto térmico, acústica arquitetônica e luminotécnica

Tabela 1 – Zonas bioclimáticas de algumas cidades brasileiras segundo a NBR 15220. Adaptado da NBR 15220 (ABNT, 2005)

<b>Cidade/UF</b>	<b>Zona</b>	<b>Cidade/UF</b>	<b>Zona</b>	<b>Cidade/UF</b>	<b>Zona</b>
Cruzeiro do Sul/AC	8	Ibirité/MG	3	Barra do Itabapoana/RJ	5
Rio Branco/AC	8	Itabira/MG	2	Cabo Frio/RJ	8
Tarauacá/AC	8	Itajubá/MG	3	Campos/RJ	5
Água Branca/AL	5	Itamarandiba/MG	6	Carmo/RJ	3
Anadia/AL	8	Januária/MG	6	Cordeiro/RJ	3
Coruripe/AL	8	João Pinheiro/MG	3	Escola Agrícola/RJ	5
Maceió/AL	8	Juiz de Fora/MG	3	Ilha Guaíba/RJ	8
Palmeira dos Índios/AL	8	Lavras/MG	5	Itaperuna/RJ	5
Pão de Açúcar/AL	8	Leopoldina/MG	2	Macaé/RJ	5
Pilar/AL	8	Machado/MG	3	Niterói/RJ	5
Porto de Pedras/AL	8	Monte Alegre de Minas/MG	7	Nova Friburgo/RJ	2
Barcelos/AM	8	Monte Azul/MG	6	Petrópolis/RJ	3
Coari/AM	8	Montes Claros/MG	3	Pirai/RJ	3
Fonte Boa/AM	8	Muriae/MG	3	Resende/RJ	3
Humaitá/AM	8	Oliveira/MG	4	Rio de Janeiro/RJ	8
Iauretê/AM	8	Paracatu/MG	6	Rio D'Ouro/RJ	5
Itacoatiara/AM	8	Passa Quatro/MG	2	Teresópolis/RJ	2
Manaus/AM	8	Patos de Minas/MG	4	Vassouras/RJ	3
Parintins/AM	8	Pedra Azul/MG	5	Xerém/RJ	5
Taracú/AM	8	Pirapora/MG	4	Apodi/RN	8
Tefé/AM	8	Pitangui/MG	4	Ceará Mirim/RN	8
Macapá/AP	8	Poços de Calda/MG	1	Cruzeta/RN	7
Alagoinhas/BA	8	Pompeu/MG	3	Florânia/RN	7
Barra do Rio Grande/BA	6	Santos Dumont/MG	3	Macaíba/RN	8
Barreiras/BA	7	São Francisco/MG	6	Macau/RN	8
Bom Jesus da Lapa/BA	6	São João del-Rei/MG	2	Mossoró/RN	7
Caetitê/BA	6	São João Evangelista/MG	3	Natal/RN	8
Camaçari/BA	8	São Lourenço/MG	2	Nova Cruz/RN	8
Canavieiras/BA	8	Sete Lagoas/MG	4	Porto Velho/RO	8
Caravelas/BA	8	Teófilo Otoni/MG	5	Alegrete/RS	2
Carinhanha/BA	6	Três Corações/MG	2	Bagé/RS	2
Cipó/BA	8	Ubá/MG	3	Bom Jesus/RS	1
Correntina/BA	6	Uberaba/MG	3	Caxias do Sul/RS	1
Guaratinga/BA	8	Viçosa/MG	3	Cruz Alta/RS	2

FUNDAMENTOS DE CONFORTO AMBIENTAL PARA APLICAÇÃO NO PROJETO DE ARQUITETURA  
Conforto térmico, acústica arquitetônica e luminotécnica

Ilhéus/BA	8	Aquidauana/MS	5	Encruzilhada do Sul/RS	2
Irecê/BA	6	Campo Grande/MS	6	Iraí/RS	3
Itaperaba/BA	8	Corumbá/MS	8	Passo Fundo/RS	2
Itiruçu/BA	5	Coxim/MS	6	Pelotas/RS	2
Ituaçu/BA	6	Dourados/MS	3	Porto Alegre/RS	3
Jacobina/BA	8	Ivinhema/MS	5	Rio Grande/RS	3
Lençóis/BA	8	Paranaíba/MS	6	Santa Maria/RS	2
Monte Santo/BA	6	Ponta Porã/MS	3	Santa Vitória do Palmar/RS	2
Morro do Chapéu/BA	5	Três Lagoas/MS	6	São Francisco de Paula/RS	1
Paratinga/BA	7	Cáceres/MT	8	São Luiz Gonzaga/RS	2
Paulo Afonso/BA	7	Cidade Vera/MT	5	Torres/RS	3
Remanso/BA	7	Cuiabá/MT	7	Uruguaiana/RS	2
Salvador/BA	8	Diamantino/MT	7	Araranguá/SC	2
Sta. Rita de Cássia/BA	6	Meruri/MT	6	Camboriú/SC	3
São Francisco do Conde/BA	8	Presidente Murtinho/MT	3	Chapecó/SC	3
São Gonçalo dos Campos/BA	7	Altamira/PA	8	Florianópolis/SC	3
Senhor do Bonfim/BA	8	Alto Tapajós/PA	8	Indaial/SC	3
Serrinha/BA	5	Belém/PA	8	Lages/SC	1
Vitória da Conquista/BA	5	Belterra/PA	8	Laguna/SC	2
Barbalha/CE	7	Conceição do Araguaia/PA	8	Porto União/SC	2
Campos Sales/CE	7	Itaituba/PA	8	São Francisco do Sul/SC	5
Crateús/CE	7	Marabá/PA	8	São Joaquim/SC	1
Fortaleza/CE	8	Monte Alegre/PA	8	Urussanga/SC	2
Guaramiranga/CE	5	Óbidos/PA	8	Valões/SC	2
Iguatu/CE	7	Porto de Mós/PA	8	Xanxerê/SC	2
Jaguaruana/CE	8	Santarém/PA	8	Aracaju/SE	8
Mondibim/CE	8	São Félix do Xingu/PA	8	Itabaianinha/SE	8
Morada Nova/CE	7	Soure/PA	8	Propriá/SE	8
Quixadá/CE	7	Tiríós/PA	8	Andradina/SP	6
Quixeremobim/CE	7	Traçateua/PA	8	Araçatuba/SP	5
Sobral/CE	7	Tucuruí/PA	8	Avaré/SP	3
Tauá/CE	7	Arco Verde/PB	7	Bandeirantes/SP	3
Brasília/DF	4	Areia/PB	8	Bariri/SP	3
Cachoeira do Itapemirim/ES	8	Bananeiras/PB	8	Barra Bonita/SP	3
Conceição da Bar-	8	Campina Gran-	8	Campinas/SP	3

FUNDAMENTOS DE CONFORTO AMBIENTAL PARA APLICAÇÃO NO PROJETO DE ARQUITETURA  
Conforto térmico, acústica arquitetônica e luminotécnica

ra/ES		de/PB			
Linhares/ES	8	Guarabira/PB	8	Campos do Jordão/SP	1
São Mateus/ES	8	João Pessoa/PB	8	Casa Grande/SP	2
Vitória/ES	8	Monteiro/PB	6	Catanduva/SP	6
Aragarças/GO	6	São Gonçalo/PB	7	Franca/SP	4
Catalão/GO	6	Umbuzeiro/PB	8	Graminha/SP	3
Formosa/GO	6	Barreiro/PE	8	Ibitinga/SP	3
Goiânia/GO	6	Cabrobró/PE	7	Iguape/SP	5
Goiás/GO	7	Correntes/PE	8	Itapeva/SP	2
Ipameri/GO	4	Fernando de Noronha/PE	8	Jaú/SP	4
Luziânia/GO	4	Floresta/PE	7	Juquiá/SP	5
Pirenópolis/GO	6	Guaranhuns/PE	5	Jurumirim/SP	3
Posse/GO	6	Goiana/PE	8	Limeira/SP	4
Rio Verde/GO	6	Nazaré da Mata/PE	8	Limoeiro/SP	4
Barra da Corda/MA	7	Pesqueira/PE	8	Mococa/SP	4
Breves/MA	8	Petrolina/PE	7	Mogi Guaçu/SP	3
Carolina/MA	7	Recife/PE	8	Paraguaçu Paulista/SP	6
Caxias/MA	7	São Cactano/PE	8	Pindamonhangaba/SP	3
Coroatá/MA	8	Surubim/PE	8	Pindorama/SP	6
Grajaú/MA	7	Tapera/PE	8	Piracicaba/SP	2
Imperatriz/MA	7	Triunfo/PE	6	Presidente Prudente/SP	6
São Bento/MA	8	Bom Jesus do Piauí/PI	7	Ribeirão das Antas/SP	3
São Luiz/MA	8	Florianópolis/PI	7	Ribeirão Preto/SP	4
Turiaçu/MA	8	Parnaíba/PI	8	Salto Grande/SP	3
Zé Doca/MA	8	Paulistana/PI	7	Santos/SP	5
Aimorés/MG	5	Picos/PI	7	São Carlos/SP	4
Araçuaí/MG	5	Tersina/PI	7	São Paulo/SP	3
Araxá/MG	5	Campo Mourão/PR	3	São Simão/SP	4
Bambuí/MG	3	Castro/PR	1	Sorocaba/SP	3
Barbacena/MG	3	Curitiba/PR	1	Tietê/SP	3
Belo Horizonte/MG	3	Foz do Iguaçu/PR	3	Tremembé/SP	3
Caparaó/MG	3	Guaíra/PR	3	Ubatuba/SP	3
Capinópolis/MG	6	Guarapuava/PR	1	Viracopos/SP	4
Caratinga/MG	6	Ivaí/PR	2	Votuporanga/SP	6
Cataguazes/MG	5	Jacarezinho/PR	3	Paraná/TO	6
Conceição do Mato Dentro/MG	3	Jaguariaíva/PR	2	Peixe/TO	7
Coronel Pacheco/MG	3	Londrina/PR	3	Porto Nacional/TO	7
Curvelo/MG	3	Maringá/PR	1	Taguatinga/TO	7
Diamantina/MG	3	Palmas/PR	1	-	-
Espinosa/MG	6	Paranaguá/PR	3	-	-
Frutal/MG	6	Ponta Grossa/PR	2	-	-

Governador Valadares/MG	3	Rio Negro/PR	2	-	-
Grão Mogol/MG	2	Angra dos Reis/RJ	8	-	-

Em adição, o anexo D da parte 3 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005) apresenta tabelas com as propriedades térmicas, inclusive a transmitância, das vedações verticais e coberturas mais utilizadas na construção civil nacional. Ainda assim, na parte 2 da norma existe um procedimento de cálculo de transmitância térmica das vedações, que pode ser usado para sua determinação de acordo com as propriedades dos materiais que as constitui. Também, a norma brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013) apresenta recomendações para as vedações verticais externas dos edifícios. Nas tabelas 2 e 3, a seguir, citam-se as transmitâncias térmicas de algumas tipologias de vedações verticais, coberturas e as absorvâncias aos raios solares de cores e acabamentos.

Tabela 2 – Transmitância térmica de vedações verticais e coberturas. Adaptado da NBR 15220 (ABNT, 2005) e JOHN e PRADO (2010).

<b>Tipo de vedações verticais e horizontais</b>	<b>Transmitância térmica (W/m<sup>2</sup>K)</b>
Concreto maciço com espessura de 5cm sem revestimento	5,04
Concreto maciço com espessura de 10cm sem revestimento	4,40
Tijolo de barro maciço aparente sem revestimento com 10 cm de espessura na vedação	3,70
Tijolo de barro maciço revestido com reboco de 2,5cm em ambas as faces e espessura final da vedação de 15cm (meio tijolo)	3,13
Tijolo de barro maciço revestido com reboco de 2,5cm em ambas as faces e espessura final da vedação de 25cm (um tijolo)	2,25
Tijolo cerâmico de 6 furos revestido com reboco de 2,5cm em ambas as faces e espessura final da vedação de 15cm	2,48
Bloco de concreto (14x19x29cm) sem revestimento interno e revestido com reboco de 2,5cm na face externa e espessura final da vedação de 16,5cm	2,95
Bloco de concreto (14x19x29cm) revestido em ambas as faces com reboco de 2,5cm e espessura final da vedação de 19cm	2,76
Bloco de concreto (14x19x29cm) com revestimento interno	2,70

FUNDAMENTOS DE CONFORTO AMBIENTAL PARA APLICAÇÃO NO PROJETO DE ARQUITETURA  
Conforto térmico, acústica arquitetônica e luminotécnica

de 2cm de gesso e revestido com reboco de 2,5cm na face externa e espessura final da vedação de 18,5cm	
Laje maciça de concreto armado com 10cm de espessura	3,73
Laje pré-moldada com elementos cerâmicos com 12cm de espessura	3,33
Telha de fibrocimento sem forro	4,60
Telha de fibrocimento com camada de ar e forro de madeira	2,02
Telha de fibrocimento com camada de ar e forro de gesso	1,94
Telha de fibrocimento com camada de ar e forro de PVC	1,76
Telha de fibrocimento com camada de ar e laje maciça de concreto armado com 10cm de espessura	2,06
Telha de fibrocimento com camada de ar e laje pré-moldada com elementos cerâmicos com 12cm de espessura	1,93
Telha cerâmica sem forro	4,55
Telha cerâmica com camada de ar e forro de madeira	2,02
Telha cerâmica com camada de ar e forro de gesso	1,93
Telha cerâmica com camada de ar e forro de PVC	1,75
Telha cerâmica com camada de ar e laje maciça de concreto armado com 10cm de espessura	2,05
Telha cerâmica com camada de ar e laje pré-moldada com elementos cerâmicos com 12cm de espessura	1,92

Tabela 3 – Absortância de algumas cores e acabamentos. Adaptado da NBR 15220 (ABNT, 2005).

Cor	Absortância
Branco	0,20
Preto	0,97
Vermelho	0,74
Amarelo	0,30
Verde escuro	0,70
Verde claro	0,40
Concreto aparente	0,65 a 0,80
Chapa de alumínio nova e brilhante	0,05
Tijolo aparente	0,65 a 0,80
Telha de barro	0,75 a 0,80
Revestimento asfáltico	0,85 a 0,98

Quanto às recomendações normativas, as zonas bioclimáticas 1 e 2 dizem respeito às áreas frias de nosso país, constantes particularmente na região sul e cidades localizadas em grandes altitudes na região sudeste. Para estas zonas bioclimáticas a norma NBR 15575 (ABNT, 2013) indica que as

paredes devem ter transmitância máxima de  $2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$  com absorvância igual ou menor de  $0,60$ .

Ainda segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), para as outras zonas bioclimáticas, com destaque para a zona 8 que abrange toda a região amazônica e o litoral da região nordeste do Brasil, a transmitância térmica máxima deve ser de  $3,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ , com absorvância máxima de  $0,60$ . No entanto, a transmitância térmica máxima deve ser  $2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ , se a absorvância for superior a  $0,60$ .

No que diz respeito às coberturas, é determinado pela NBR 15575 (ABNT, 2013) que nas zonas bioclimáticas 1 a 7 a transmitância térmica máxima deve ser de  $2,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Para a zona 8, no entanto, delibera-se que esta transmitância máxima de  $2,30 \text{ W/m}^2\text{K}$  deve ser multiplicada pelo Fator de Ventilação (FV), que é a possibilidade do ático (espaço entre a cobertura e o forro) ser ventilado. Este FV, é determinado pela seguinte equação:

Equação 2 – Cálculo do Fator de Ventilação (FV). Fonte NBR 15575 (ABNT, 2013).

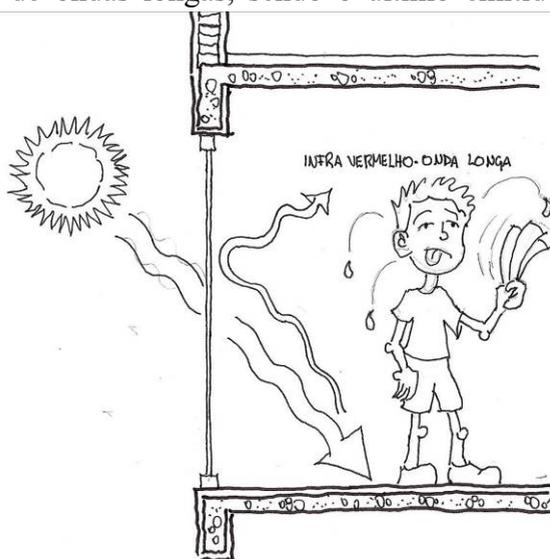
$$FV = 1,17 - 1,07 \cdot h - 1,04$$

Onde:

h – Altura das aberturas (centímetros).

Obs. Considerar sempre quando igual ou maior a 6cm. Quando o ático não for ventilado ou quando não houver forro, considerar o  $FV = 1$ .

As vedações compostas de grandes painéis envidraçados distinguem-se das vedações opacas no balanço térmico dos edifícios, sendo dignas de uma análise particular. A luz do sol é composta de Ultravioleta (UV), parte visível e Infravermelho (IV), definidos pelo comprimento de onda do espectro dessa luz. Particularmente, o Infravermelho, que representa a parcela da luz onde o calor é mais forte, é dividido em Infravermelho de ondas próximas e o de ondas longas, sendo o último emitido pelos corpos aquecidos e não passa pelo vidro. Quando as vedações de vidro são completamente lacradas, sem possibilidade de abertura, os espaços interiores aquecidos pela parcela dos raios do sol que entra nos ambientes emitem Infravermelho de onda longa, que não retorna pelo vidro ao exterior e faz com que a temperatura interna suba vertiginosamente. Este processo é conhecido como efeito estufa.



Igualmente, é conveniente citar o Fator Solar (FS) dos vidros, que é a parcela de raios solares incidentes que passa para a outra face, tanto direta como indiretamente. Para vidros comuns este Fator Solar é de 87%, ou seja, grande parte do calor da luz do sol que incide nos envidraçados passa para o interior

dos edifícios, o que, em grandes superfícies envidraçadas, causa um aquecimento abissal dos ambientes internos. Isto pode ser remediado, ou usando elementos de controle da entrada de raios solares nos interiores, como brises soleils, por exemplo, ou o uso de vidros reflexivos, também chamados vidros energeticamente eficientes. Fruto de desenvolvimento tecnológico da indústria vidraceira, os vidros reflexivos são revestidos com uma superfície metalizada invisível a olho nu, mas que diminuem sobremaneira a transmissão do calor dos raios solares para os interiores, ou seja, diminuem o Fator Solar para até 25%.

Outro problema a ser resolvido com o uso vedações envidraçadas, é a alta transmitância térmica do vidro, que no comum é de  $5,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Também aí, o desenvolvimento da tecnologia dos vidros contribui para minorar esta adversidade, pois existem vidros duplos ou insulados, com transmitância térmica de  $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Por fim, resta acrescentar que este desenvolvimento da tecnologia do vidro propiciou uma maior facilidade e diversidade para a utilização das vedações envidraçadas na arquitetura. Porém, ainda é uma tecnologia dispendiosa.

## **1.5 Ventilação**

O vento é a movimentação do ar no globo terrestre que acontece quando existe uma diferença de pressão, pois há o deslocamento de áreas de maior pressão para as de menor pressão. As diferenças de temperatura, bem como a movimentação de rotação do nosso planeta, são os grandes responsáveis pela ocorrência dos ventos.

No século XIX o hidrógrafo irlandês Francis Beaufort criou uma escala de quantificação dos fluxos de ar (vento), de